ISSN 2181-7200

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ТАЪЛИМ, ФАН ВА ИННОВАЦИЯЛАР ВАЗИРЛИГИ

ФАРҒОНА ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

И Л М И Й – Т Е Х Н И К А ЖУРНАЛИ

2026. СПЕЦ. ВЫПУСК № 11

НАУЧНО–ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC –TECHNICAL JOURNAL

ФАРҒОНА – 2026

ИЛМИЙ-ТЕХНИКА ЖУРНАЛИ ТАҲРИРИЯТИ

1997 йилдан буён нашр этилади.
Йилига 6 марта чоп қилинади.

ЎзР Олий аттестация комиссияси Раёсатининг 2013 йил 30 декабрдаги №201/3 қарори билан журнал ОАК нинг илмий нашрлари рўйхатига киритилган

Бош муҳаррир Р.Р. ТОЖИЕВ

Таҳрир ҳайъати:

Физика-математика фанлари:

1. Вайткус Ю.Ю., академик, ф.-м.ф.д., проф. –Вильнюс, Литва ДУ
2. Тарасенко С.А., ф.-м.ф.д., проф. –С-Пб. ФТИ, РФА
3. Мўминов Р.А., академик, ф.-м.ф.д., проф. – Ўз ФА ФТИ
4. Сиддиков Б.М., Prof. of Mathem. – Ferris State University, USA
5. Нуритдинов И., ф.-м.ф.д., проф. – Ўз ФА ЯФИ
6. Юлдашев Н.Х., ф.-м.ф.д., проф. – ФДТУ

Механика:

1. Алиматов Б.А., т.ф.д., проф. – ФДТУ
2. Сиваченко Л.А., академик, т.ф.д., проф. – Бел.-Рос. Университет, Белорусия
3. Тожиев Р.Ж., т.ф.д., проф. – ФДТУ
4. Тўхтақўзиев А., т.ф.д., проф. – Ўз ФА МЭИ
5. Файзиматов Ш.Н., т.ф.д., проф. – ФДТУ
6. Валиев Г.Н., т.ф.д., проф. – ФДТУ

Қурилиш:

1. Аббасов Ё.С., т.ф.д., проф. – ФДТУ
2. Акромов Х.А., т.ф.д., проф. – Тош АҚИ
3. Одилхажаев А.Э., т.ф.д., проф. – Тош ТЙТМИ
4. Раззаков С.Ж., т.ф.д., проф. – НамМҚИ
5. Шинкова Н.Б. т.ф.д.проф. – Москва Арх. Инст., Россия

Энергетика, электротехника

1. Арипов Н.М., т.ф.д., проф. – Тошкент ТЙТМИ
2. Хайриддинов Б.Э., т.ф.д., проф. – Қарши ДУ
3. Касымахунова А.М.,т.ф.д., проф. – ФДТУ
4. Эргашев С.Ф., т.ф.д., проф. – ФДТУ

Кимёвий технология ва экология

1. Салиханова Д.С., т.ф.д. проф. – Ўз ФА УНКИ
2. Ибрагимов А.А., к.ф.д., проф. – ФДУ
3. Ибрагимов О.О., қ.х.ф.д. проф. – ФДТУ
4. Омонов Т.С., ф.-м.ф.д., проф. – Альберта Универ, Канада
5. Хамдамова Ш.Ш., т.ф.д. – ФДТУ
6. Хамрокулов З.А., т.ф.д. – ФДТУ

Электрон қурилмалар ва ахборот технологиялари:

1. Расулов А.М., ф.-м.ф.д., проф. – ФДТУ
2. Акбаров Д.Е., ф.-м.ф.д., проф. – ҚДУ
3. Нишонов А.Х., т.ф.д., проф. – ТАТУ

Ижтимоий-иқтисодий фанлар

1. Ертаев К.Е., и.ф.д, проф. – Тараз ДУ, Қозоғистон
2. Икромов М.А., и.ф.д., проф. – Тош ИУ
3. Искандарова Ш.М., ф.ф.д., проф. – ФДУ
4. Исманов И.Н., и.ф.д., проф. – ФДТУ
5. Жахонгиров И.Ж., и.ф.д. – ФДТУ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издаётся с 1997 года.
Выходит 6 раз в год.

Постановлением Президиума Высшей аттестационной комиссии РУз №201/3 от 30 декабря 2013 г. журнал включен в список научных изданий ВАК.

Главный редактор Р.Р. ТОЖИЕВ

Редакционная коллегия:

Ё.С. Аббасов, Б.А. Алиматов, Х.А. Акромов, Н.М. Арипов, Д.Е. Акбаров, Ю.Ю. Вайткус, Г.Н. Валиев, К.Е. Ертаев, И.Ж. Жахонгиров, А.А. Ибрагимов, О.О. Ибрагимов, М.А. Икрамов, Ш.М. Искандарова, И.Н. Исманов, А.М. Касымахунова, Р.А. Муминов, И. Нуритдинов, А.Х. Нишонов, А.Э. Одилхажаев, Т.С. Омонов, А.М. Расулов, С.Ж. Раззаков, Б. Сиддиков, Л.А. Сиваченко, Д.С. Салиханова, С.А. Тарасенко, Р.Ж. Тожиев, А А. Тухтакузиев, Ш.Н. Файзиматов, Б.Э. Хайриддинов, Ш.Ш. Хамдамова, З.А. Хамрокулов, Н.Б. Шинкова, С.Ф. Эргашев, Н.Х. Юлдашев (ответственный редактор)

SCIENTIFIC – TECHNICAL JOURNAL

It has been published since 1997.
It is issued 6 times a year.

By Resolution №. 201/3 of the Presidium of the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan dated December 30, 2013, the journal was included in the list of scientific publications of the HAC.

Editor-in-chief R.R. TOJIEV

Editorial board members:

Yo.S. Abbasov, B.A. Alimatov, X.A. Akromov, N.M. Aripov, D.Ye. Akbarov, Yu.Yu. Vaitkus, G.N. Valiev, K.E. Ertaev, I.J. Jaxongirov A.A. Ibragimov, O.O. Ibragimov, M.A. Ikramov, Sh.M. Iskandarova, I.N. Ismanov, A.M. Kasimahunova, R.A. Muminov, I. Nuritdinov, A.X. Nishonov, A.O. Odilxajaev, T.S. Omonov, A.M. Rasulov, S.J. Razzakov, B. Siddikov, L.A. Sivachenko, D.S. Salikhanova, S.A. Tarasenko, R.J. Tojiev, A.A. Tuxtakuziev, Sh.N. Fayzimatov, B.E. Hayriddinov, Sh.Sh. Xamdamova, Z.A. Xamroqulov, N.B. Shinkova, S.F. Ergashev, N.Kh. Yuldashev (Executive Editor)

МУНДАРИЖА

ФУНДАМЕНТАЛ ФАНЛАР

Rasulov R.G‘., Axmadjonova O.S. $W_2^{(7,6)}$ fazosida hosilali optimal kvadratur formula 12
Xamdamova D.R. Chiziqli tenglamalar sistemasining umumiy yechimlari va ularning mavjudlik shartlari 20

МЕХАНИКА

Valiyev G.N. Gardishsiz o‘ramalarda tabiiy ipak iplarining o'ram turg‘unligini oshirish 24
Haydarov X.B., Axunjonov A.S. Frezerlash jarayonida nano-moylash-sovitish suyuqliklarining kesish kuchi va asbob yeyilishiga ta’sirini eksperimental tadqiq qilish 30
Qobulov M. Terminal va ombor faoliyatini tashkil etishda logistika yondashuvi 35
Soliyev X.X., Qosimov A.Sh. Shahar chorrahalarida transport oqimini sun’iy intellekt asosida adaptiv boshqarish modellari va algoritmlarini tahlil qilish 39
Aslonov N.R., Chariyev X.Sh., Ashurov O.F., Axunov J.A. Avtomobillarni amaliy boshqarishda haydovchilarning ko‘nikmalarini shakllantirish 43
Boboyev N.K. Ikki bosqichli rekristallanish asosida uglerodli va asbobsozlik po‘latlarining strukturaviy holati hamda mexanik xossalarini optimallashtirish 47
Haydarov X.B. Metallarni elektrokimyoviy ishlov berishda parametrlarni optimallashtirish va sirt sifatiga ta'siri 51
Oripov J.I., Valiyev G.N. Tandalash mashinasining ish unumdorligini baraban parametrlariga bog'liq holda optimallashtirish 55
Qirg‘izboyeva M.M. Texnologik mashinalarda maydalagich bolg‘asi va jag‘ining optimal shaklini aniqlashda yuqori tartibli hosilalardan foydalanish 59

ҚУРИЛИШ

Mirzajanov M.A., Mamatov X.A., Sultonov H.Sh. Ko‘pikligips blok buyumlarni ishlab chiqarishda fosfor o‘g‘itlari va ohak chiqindilaridan foydalanish tahlili 63
Nabiyev M., Xalimov A.O. Energiya samaradorligini baholashda ko‘p kvartirali uylarning asosiy muammolari va ularning tahlili 69
Nabiyev M., Xalimov A.O. Farg‘ona shahridagi mavjud ko‘p kvartirali turar joy binolarining energiya samaradorligi va seysmik konstruktiv ishonchliligini baholash: eksperimental tadqiqot ... 74
Abdulxayev Z.E. Abdujalilova Sh.S., Inomjonov I.I. Qurg‘oqchil hududlarda yer osti suvlari monitoringi va boshqaruvini real vaqt rejimida amalga oshirish uchun sun’iy intellect, geografik axborot tizimi va axborot modeli integratsiyalashgan tizimi 79
Solijonov F.S., Xolmirzayev Q.R. Bazalt kompozit armaturalar bilan jihozlangan va kombinatsiyalashtirib armaturalangan beton konstruksiyalarining normal va qiya kesimlardagi muhkamligini tekshirish 84
Solijonov F.S., Xolmirzayev Q.R. Bazaltplastik kompozit armaturali beton to‘sinlar 90
Raxmonkulova S.Z., Xabibullayev O. Shaxar gaz tarmoqlarini loyihalash 95
Yakubov Sh.Sh., Abdujabborova M.R. Masofadan zondlash ma’lumotlari asosida eroziyaga uchragan yerlarni monitoring qilish metodikasi 100
Eshnazarov D.B., Rasulov A.Y. GAT va zamonaviy geodezik asboblar yordamida ekologik-meliorativ ma’lumotlar bazasini yaratish 104

ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Abdusamatov X.A. Elektr ta'minotini o'chirish bo'yicha elektr liniyalaridagi zararlarni aniqlash ... 111
To‘xtasinov S.X., Qo‘shmatova Sh.M. Nasos stansiyalarda energiya samarador texnalogiyalarni joriy orqali elektr energiya tejamkorligiga erishish 116
Muhammadjonova I.A. Konvektiv qurilma modelini takomillashtirish orqali paxta quritish jarayonining samaradorligini oshirish 119

МУНДАРИЖА

Атауллаев Н.О., Низомова Д.Ф. Электр двигателларда учрайдиган асосий носозликлар таҳлили 124
Шавазов А.А., Ишанова Д.А., Тухтаев Б.Б. Неъматжанов Х.Ш. Suv sarfi o‘zgaruvchan bo‘lgan nasos stantsiyasining gidravlik rejimlarini tahlil qilish va optimallashtirish 129
Jo‘rayev J.A., Ahmadjonova Sh.Sh. Sanoat korxonalarida energiya sarfini normallashtirish va solishtirma ko‘rsatkichlarni aniqlash 137

ЭЛЕКТРОН ҚУРИЛМАЛАР ВА АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Iskandarova S.N., Begimqulova P.A., Sotvoldiyev D.M., Raxmanova Sh.K. Eski o'zbek-fors leksikasini tasniflash tizimida sintetik ma'lumotlarni augmentatsiya qilish va shovqin mustahkamligi metodlarining tahlili 144
Mamirov D.R. Dron yordamida dalalarni tasvirga olib, sun'iy intellekt orqali o'simliklarning stress holati, suvsizlik va zararkunandalar bilan kasallanganligini aniqlash algoritmi 152
Iskandarova S.N., Begimqulova P.A., Sotvoldiyev D.M., Raxmanova Sh.K. Semantik matniy o'xshashlik (STS) modeli yordamida eski arab grafikasidagi o'zbek-fors leksikasining lotin grafikasidagi tarjima sifatini baholash 157
Sa’dullayeva M.L. Katta hajmli ma’lumotlarni optimallashtirishda gradient va metaevristik algoritmlar samaradorligining qiyosiy tahlili 166
Kamolova M.F. Saralash algoritmlarini interaktiv vizualizatsiya qilish dasturini ishlab chiqish va uning ta’lim jarayonidagi samaradorligi 172
Otaqulov O.H., Xusanbayeva X.X. Dizayn qarorlarini qabul qilishda explainable artificial intelligence (xai) texnologiyalarining o‘rni 179
G‘aybullayeva M.X., Qo‘ldoshev L.S. Sun’iy intellekt usullariga asoslangan intellektual ekologik monitoring tizimida axborot tahlili 183
Xamroyev U.N., Sharipov Sh.Sh., Nizomova N.T. “Trafficsmart —tirbandlikni prognoz qilish va alternativ marshrut tavsiyasi” mobil ilovadan foydalanish texnologiyasi 188

КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯ ВА ЭКОЛОГИЯ

Jabborov T.K., Kurbanov N.M., Jabborov I.T., Siddikov M.Z., Bozorov S.A. Konvektiv quritish jarayonida mevalarning fizik-kimyoviy xossalarini o‘zgarishi va zamonaviy quritish qurilmalarining samaradorligini kompleks baholash 192
Қучқаров М.А., Маматалиев А.А., Кушоков Ж.М., Кахаров Э.М., Примкулов Б.Ш. Аммиакли селитра суюқланмаси ва гулиоб фосфорит уни асосида NP-ўғитлар 196
Auesbaev A.U. Qayta ishlash jarayonlari samaradorligini oshirish uchun ASTM D6729 usuli asosida gidrotozalangan naftaning uglevodorod tarkibini tadqiq qilish 201
Jabborov T.K., Kurbanov N.M., Jabborov I.T., Siddikov M.Z., Bozorov S.A. Quritish jarayonlarida issiqlik tarqalishi va namlik diffuziyasi xossalari asosida oziq-ovqat mahsulotlari xavfsizligini prognozlashning ilmiy modeli 212
Ziyadullayev M.E., Nurmonov S.E., Ikramov A., Kaxarov E.M. G‘aniyev P.X. Benzaldegid va uning ayrim R-almashgan hosilalarini sikloalkinillash asosida atsetilen spirtlari sintezi 218
Жаббарбергенов М.Ж., Маденов Б.Д., Кахаров Э.М., Маматалиев А.А., Намазов Ш.С. Вермикулит қўшимчали модификацияланган аммиакли селитра 223
Aloydinov M.G‘. Urug‘lik chigitni tuksizlantirish texnika va texnologiyalari bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar tahlili 227
Tuychiyeva D.M. Eksperimentni rejalashtirish va bug‘doy donining fizik-kimyoviy hamda nonboplik xossalarini aniqlash usullari 231

ИЖТИМОИЙ-ИҚТИСОДИЙ ФАНЛАР

Боймирзаев А.Р. Атом электр станциялари учун мониторинг ва бошқарув тизимларини лойиҳалашни ташкил этиш ва бошқариш 236
Raxmonazarov P.Y., Urinbayeva D.X. Iqtisodiy-ekologik tizimlarning barqaror rivojlanishiga ta’sir etuvchi omillarning nazariy-metodologik asoslari 242
Zokirova Z.T., Usmonov G. Til ta‘limining raqamli transformatsiyasi: ingliz tilini o‘qitishning pedagogik jihatlari 245

МУНДАРИЖА

Rustamova M.M., Mirzafarov A. To‘qimachilik sanoatida iqtisodiy salohiyatni smart-boshqarish: metodologiya va amaliyot 249
Otaxonova Z.M. Xalq pedagogikasi talabalarda vatanparvarlik tuyg‘usini rivojlantirishning samarali vositasi sifatida 254

ҚИСҚА ХАБАРЛАР

Sultonov N.A., Mirzajonov Z. Tellur bilan legirlangan kremniyda sig‘im spektral tahlilini o‘rganish: eksperimental natijalar va tahlil 259
Орипов А. Қуёш параболоцилиндрик коллекторларида иссиқлик жараёнларини моделлаштириш 262
Daliyev B.S. Singular integral tenglamalarni yechish uchun sun'iy intellekt va optimal kvadratura formulalar 264
Sultonov N.A., Mirzajonov Z. Selen bilan legirlangan kremniyning fotolyuminessensiya spektrlari: eksperimental natijalar va tahlil 267
Isakjanov M.S. Eng sodda kasrlarni ajratish algoritmlari va ularning isbotlari 269
Botirov A.A., Sharibayev N.Y. Ultratovush ta’sirida pilladan ipak ajratish jarayonining nazariy asoslari va matematik modellashtirilishi 272
Jalilova G.X. Qoziqli-parrakli titkilovchi-taqsimlovchi baraban parametrlarining regeneratsiya samaradorligiga ta’siri 274
Isaboyev T.M. Nexia 3 avtomobilini tom qismini tayyorlash texnologiyasi 276
Botirov A.A., Sharibayev N.Y. Kamera va sun’iy intellekt asosida ultratovushli pilla chuvish jarayonini boshqarish uchun mexatronik tizim konstruksiyasini ishlab chiqish va eksperimental tadqiqi 278
Turdiyev M., Dehqonova S. Tikuvchilik korxonalarida zamonaviy texnologiya va uskunalar 280
Boymatova K.A., Nizamova B.B. Tavsiya etilgan ustki kiyim tikish texnologik jarayon ketma ketligini ishlab chiqish 283
Omonov M.T., Bobojonov H.T., Saloxiddinov J.Z., Shog‘ofurov Sh.Sh., Aripova Sh.R., Urishev M.M. Ip sifatiga ta’sir etuvchi omillarni turli texnologik jarayonlar asosida tahlil qilish 286
Mamatqulova S.R., Nabidjanova N.N. Tikuv-trikotaj korxonalarida mehnatni me’yorlashtirish tizimini takomillashtirish 289
Mamatqulova S.R., Nabidjanova N.N., Qozoqboyeva Sh.B. Maxsus kiyim ishlab chiqarish tadqiqi 291
Mirzajanov M.A., Mamatov X.A., Sultonov H.Sh. Fosfor o‘g‘itlari va ohak chiqindisi asosida ko‘pikligips bloklar ishlab chiqarishning hozirgi davr rivojining tahlili va muammolari 295
Usmonova N.A., Komilov A.K. Muhandislik kommunikatsiyalarini loyihalashda BIM texnologiyalari 297
Nusratullayev J.X., Raxmonov A.Y. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari asosida suv resurslarini boshqarishning avtomatlashtirilgan va intellektual tizimini ishlab chiqish 299
Abduqodirov U.N. Yoshlarning bandligi, kasbiy malakasi va iqtisodiy faoliyatida ma'naviy qadriyatlarning roli 303
Xodjaeva G.D. Ta'lim jarayonida raqamli transformatsiya va innovatsion texnologiyalar asosida yoshlar ma'naviyatini rivojlantirish 306
Mamurov A.A., Anvarov F.A. Bo‘lajak tasviriy san’at o‘qituvchilarining kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirishda amaliy san’at ta’limining pedagogik ahamiyati 309
Fozilov I.R. Nazariy fizikani o'qitishda raqamli texnologiyalarning roli 311
Mamurov A.A. Oliy ta’lim muassasalarida amaliy san’atni o‘qitishning ijtimoiy-iqtisodiy samaradorligi 313
Yusupov A.A. Jismoniy mashqlar: muntazam jismoniy mashqlarning 6ta foydasi 315
Eminov A.E. Yengil atletika. yadro uloqtirish texnikasini o'rgatishni zamonaviy usullari 317
Hasanboev X.X., Toshpo‘latova B.R. XV asrning birinchi yarmidagi Temuriylar davri arxitekturasi 319
Муаллифлар диққатига ! 321

СОДЕРЖАНИЕ

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ НАУКИ

Расулов Р.Г., Ахмаджонова О.С. Оптимальная квадратурная формула с производными в пространстве $W_2^{(7,6)}$ 12

Хамдамова Д.Р. Общие решения систем линейных уравнений и условия их существования 20

МЕХАНИКА

Валиев Г.Н. Повышение устойчивости намотки нитей натурального шёлка на бесфланцевой мотальной паковке 24

Хайдаров Х.Б., Ахунжонов А.С. Экспериментальное исследование влияния нано-смазочно-охлаждающих жидкостей на силу резания и износ инструмента в процессе фрезерования 30

Кобулов М. Логистический подход к организации деятельности терминала и склада 35

Солиев Х.Х., Косимов А.Ш. Анализ моделей и алгоритмов адаптивного управления транспортными потоками на основе искусственного интеллекта на городских перекрёстках 39

Аслонов Н.Р., Чариев Х.Ш., Ашуров О.Ф., Ахунов Ж.А. Формирование профессиональных навыков водителей в процессе практического управления транспортными средствами 43

Бобоев Н.К. Оптимизация структурного состояния и механических свойств углеродистых и инструментальных сталей на основе двухстадийной рекристаллизации 47

Хайдаров Х.Б. Оптимизация параметров электрохимической обработки металлов и их влияние на качество поверхности 51

Орипов Д.И., Валиев Г.Н. Оптимизация производительности сортировочной машины в зависимости от параметров барабана 55

Киргизбоева М.М. Использование производных высшего порядка при определении оптимальной формы шлифовального молотка и губок в технологических станках 59

СТРОИТЕЛЬСТВО

Мирзаджанов М.А., Маматов Х.А., Султанов Х.Ш. Анализ применения отходов производства фосфорных удобрений и извести в технологии изготовления пеногипсовых блоков 63

Набиев М., Халимов А.О. Анализ основных проблем многоквартирных жилых домов при оценке их энергетической эффективности 69

Набиев М., Халимов А.О. Оценка энергетической эффективности и сейсмической конструктивной надёжности существующих многоквартирных жилых зданий в городе Фергана: экспериментальное исследование 74

Абдулхаев З.Е, Абдужалилова Ш.С, Иномжонов И.И. Интегрированная система на основе искусственного интеллекта, геоинформационных систем и информационного моделирования зданий для мониторинга подземных вод в режиме реального времени и прогнозного управления в засушливых регионах 79

Солижонов Ф.С., Холмирзаев К.Р. Исследование прочности железобетонных конструкций, армированных базальтовым композитом, и комбинированных железобетонных конструкций на нормальном и наклонном сечениях 84

Солижонов Ф.С., Холмирзаев К.Р. Бетонные балки с базальтопластиковым композитным армированием 90

Рахмонкулова С.З., Хабибуллаев О. Проектирование городских газораспределительных сетей .. 95

Якубов Ш.Ш., Абдужабборова М.Р. Методология мониторинга эрозированных земель на основе данных дистанционного зондирования 100

Эшназаров Д.Б., Расулов А.Ю. Создание экологической и мелиорационной базы данных с использованием геодезических приборов и современных геодезических инструментов 104

ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Абдусаматов Х.А. Обнаружение повреждений в электрически обесточенных линиях электропередачи 111

Тухтасинов С.Х., Кушматова Ш.М. Достижение экономии электрической энергии за счёт внедрения энергоэффективных технологий на насосных станциях 116

Мухаммаджонова И.А. Повышение эффективности процесса сушки хлопка за счёт усовершенствования модели конвективного устройства 119

СОДЕРЖАНИЕ

Атауллаев Н.О., Низомова Д.Ф. Анализ основных неисправностей, встречающихся в электрических двигателях 124
Шавазов А.А., Ишанова Д.А., Тухтаев Б.Б. Неъматжанов Х.Ш. Анализ и оптимизация гидравлических режимов насосной станции с переменным водопотреблением 129
Жураев Ж.А., Ахмаджонова Ш.Ш. Нормализация энергопотребления на промышленных предприятиях и определение удельных показателей 137

ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Искандарова С.Н., Бегимкулова П.А., Сотволдиев Д.М., Рахмонова Ш.К. Анализ методов синтетического расширения данных и устойчивости к шуму в системе классификации старинного узбеко-фарсийского лексикона 144
Мамиров Д.Р. Обнаружение людей, транспортных средств и дефектов зданий путём обработки видео с дрона методами глубокого обучения 152
Искандарова С.Н., Бегимкулова П.А., Сотволдиев Д.М., Рахмонова Ш.К. Оценка качества перевода узбецко-персидского словаря, написанного старинным арабским шрифтом, на латинский алфавит с использованием модели семантического текстового сходства (STS) 157
Садуллаева М.Л. Сравнительный анализ эффективности градиентных и метаэвристических алгоритмов при оптимизации крупномасштабных данных 166
Камолова М.Ф. Разработка программы интерактивной визуализации алгоритмов сортировки и оценка её эффективности в образовательном процессе 172
Отакулов О.Г., Хусанбаева Х.Х. Роль объяснимых технологий искусственного интеллекта (ИИ) в принятии проектных решений 179
Гайбуллаева М.Х., Кулдашев Л.С. Информационный анализ в интеллектуальной системе экологического мониторинга на основе методов искусственного интеллекта 183
Хамроев У.Н., Шарипов Ш.Ш., Низомова Н.Т. Технология использования мобильного приложения “Trafficsmart — прогнозирование дорожных заторов и рекомендации альтернативных маршрутов” 188

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

Жабборов Т.К., Курбанов Н.М., Жабборов И.Т., Сиддиков М.З., Бозоров С.А. Изменение физико-химических свойств плодов в процессе конвективной сушки и комплексная оценка эффективности современных сушильных установок 192
Кучкаров М.А., Маматалиев А.А., Кушоков Ж.М., Кахаров Э.М., Примкулов Б.Ш. NP-удобрения на основе плава нитрата аммония и фосфоритной муки гулиоба 196
Ауесбаев А.У. Исследование углеводородного состава гидроочищенной нафты методом ASTM D6729 для повышения эффективности процессов переработки 201
Жабборов Т.К., Курбанов Н.М., Жабборов И.Т., Сиддиков М.З., Бозоров С.А. Научная модель прогнозирования безопасности пищевых продуктов на основе свойств рассеивания тепла и диффузии влаги в процессах сушки 212
Зиядуллаев М.Э., Нурмонов С.Э., Икрамов А., Кахаров Э.М., Ганиев П.Х. Синтез ацетиленовых спиртов на основе циклоалкинилирования бензальдегида и некоторых его *R*-замещенных производных 218
Жаббарбергенов М.Ж., Маденов Б.Д., Кахаров Э.М., Маматалиев А.А., Намазов Ш.С. Модифицированная аммиачная селитра с добавкой вермикулита 223
Алойдинов М.Г. Анализ научных исследований по технике и технологиям делинтирования семенного хлопка 227
Туйчиева Д.М. Планирование эксперимента и методы определения физико-химических и хлебопекарных свойств пшеничного зерна 231

СОЦИАЛЬНО - ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Боймирзаев А.Р. Организация и менеджмент проектирования систем контроля и управления для атомных электростанций 236
Рахмоназаров П.Й., Уринбаева Д.Х. Теоретико-методологические основы факторов, влияющих на устойчивое развитие эколого-экономических систем 242
Зокирова З.Т., Усмонов Г. Цифровизация языкового образования: педагогические аспекты преподавания английского языка 245

СОДЕРЖАНИЕ

Рустамова М.М., Мирзафаров А. Смарт-управление экономическим потенциалом в текстильной отрасли: методология и практика 249
Отахонова З.М. Народная педагогика как эффективное средство развития чувства патриотизма у учащихся 254

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Султанов Н.А., Мирзажонов З. Исследование емкостной спектроскопии в кремнии, легированном теллуром: экспериментальные результаты и анализ 259
Орипов А. Моделирование тепловых процессов в солнечных параболоцилиндрических коллекторах 262
Далиев Б.С. Искусственный интеллект и оптимальные квадратурные формулы для решения сингулярных интегральных уравнений 264
Султанов Н.А., Мирзажонов З. Спектры фотолюминесценции кремния, легированного селеном: экспериментальные результаты и анализ 267
Исакжанов М.С. Простейшие алгоритмы деления дробей и их доказательства 269
Ботиров А.А., Шарибаев Н.Я. Теоретические основы и математическое моделирование процесса отделения шелка от коконов под воздействием ультразвука 272
Жалилова Г.Х. Влияние параметров шипово-лопастного разрыхлительно-распределительного барабана на эффективность регенерации 274
Исабоев Т.М. Технология изготовления крыши автомобиля Nexia 3 276
Ботиров А.А., Шарибаев Н.Ю. Разработка и экспериментальное исследование мехатронной системы управления процессом ультразвуковой стирки хлопка на основе камеры и искусственного интеллекта 278
Турдиев М., Дехконова С. Современные технологии и оборудование на швейных предприятиях 280
Бойматова К.А., Низамова Б.Б. Разработка рекомендуемой последовательности технологических процессов для пошива верхней одежды 283
Омонов М.Т., Бобожонов Х.Т., Салохиддинов Ж.З., Шогофуров Ш.Ш., Арипова Ш.Р., Уришев М.М. Анализ факторов, влияющих на качество пряжи, на основе различных технологических процессов 286
Маматкулова С.Р., Набиджанова Н.Н. Совершенствование системы стандартизации труда на швейно-вязальных предприятиях 289
Маматкулова С.Р., Набиджанова Н.Н., Козокбоева Ш.Б. Исследование производства специальной одежды 291
Мирзаджанов М.А., Маматов Х.А., Султанов Х.Ш. Анализ и проблемы современного развития производства пеногипсовых блоков на основе отходов фосфорных удобрений и извести 295
Усмонова Н.А., Комилов А.К. BIM-технологии в проектировании инженерных коммуникаций ... 297
Нусратуллаев Дж.Х., Рахмонов А.Й. Разработка автоматизированной и интеллектуальной системы управления водными ресурсами на основе возобновляемых источников энергии 299
Абдукадиров У.Н. Роль духовных ценностей в занятости молодежи, профессиональной компетентности и экономической деятельности 303
Ходжаева Г.Д. Развитие молодежной духовности на основе цифровой трансформации и инновационных технологий в образовательном процессе 306
Мамуров А.А., Анваров Ф.А. Педагогическое значение прикладного художественного образования в развитии профессиональных компетенций будущих преподавателей изобразительных искусств 309
Фозилов И.Р. Роль цифровых технологий в преподавании теоретической физики 311
Мамуров А.А. Социально-экономическая эффективность преподавания прикладных искусств в высших учебных заведениях 313
Юсупов А.А. Физические упражнения: 6 преимуществ регулярных физических упражнений 315
Эминов А.Й. Легкая атлетика. современные методы обучения ядерной метательной технике 317
Хасанбоев Х.Х., Тошпулатова Б.Р. Архитектура эпохи Тимуридов первой половины XV века 319
К сведению авторов ! 322

CONTENTS

FUNDAMENTAL SCIENCES

Rasulov R.G., Akhmadjonova O.S. Optimal quadrature formula with derivatives in the space $W_2^{(7,6)}$ 12

Khamdamova D.R. General solutions of systems of linear equations and conditions of their existence 20

MECHANICS

Valiev G.N. Increase the stability the winding threads natural silk on without flange of winding packing 24

Khaidarov Kh.B., Akhunjonov A.S. Experimental investigation of the effect of nano-cutting fluids on cutting force and tool wear in the milling process 30

Kobulov M. Logistic approach to organizing terminal and stock activities 35

Soliyev X.X., Qosimov A.Sh. Analysis of artificial intelligence-based adaptive traffic management models and algorithms at urban intersections 39

Aslonov N.R., Chariyev X.Sh., Ashurov O.F., Axunov J.A. Development of professional driving skills in the process of practical vehicle control 43

Boboev N.K. Optimization of structural formation and mechanical properties of carbon and tool steels through double-stage recrystallization processes 47

Khaidarov Kh.B. Optimization of parameters in electrochemical machining of metals and their effect on surface quality 51

Oripov J.I., Valiev G.N. Optimization of the productivity of a sorting machine depending on the drum parameters 55

Qirg‘izboyeva M.M. Use of higher-order derivatives in determining the optimal shape of a grinding hammer and jaw in technological machines 59

BUILDING

Mirzajanov M.A., Mamatov Kh.A., Sultonov Kh.Sh. Analysis of phosphate fertilizer and lime waste utilization in foam gypsum block production 63

Nabiyev M., Khalimov A.O. Analysis of key challenges in multi-apartment residential buildings for energy efficiency assessment 69

Nabiyev M., Khalimov A.O. Assessment of energy efficiency and seismic structural reliability of existing multi-apartment residential buildings in Fergana: an experimental study 74

Abdulkhaev E.Z., Abdujalilova Sh.S., Inomjonov I.I. An integrated ai-gis-bim framework for real-time groundwater monitoring and predictive management in arid regions 79

Solijonov F.S., Kholmirzayev K.R. Investigation of the strength of basalt composite reinforced and combined reinforced concrete structures on normal and slope sections 84

Solijonov F.S., Kholmirzayev K.R. Concrete beams with basalt-plastic composite reinforcement 90

Rakhmonkulova S.Z., Xabibullayev O. Design of urban gas distribution networks 95

Yakubov Sh.Sh., Abdujabborova M.R. Methodology for monitoring eroded lands based on remote sensing data 100

Eshnazarov D.B., Rasulov A.Y. Creation of an ecological and reclamation database using GAT and modern geodetic instruments 104

ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING

Abdusamatov X.A., Detection of damages in electrically de-energized power lines 111

Tokhtasinov S.Kh., Kushmatova Sh.M. Achieving electrical energy savings through the implementation of energy-efficient technologies at pumping stations 116

Mukhammadjonova I.A. Increasing the efficiency of the cotton drying process by improving the model of a convective device 119

CONTENTS

Ataullayev N.O., Nizomova D.F Analysis of the main faults occurring in electric motors 124
Shavazov A.A., Ishanova D.A., Tukhtayev B.B., Ne'matjonov H.Sh. Analysis and optimization of hydraulic modes of a pumping station with variable water consumption 129
Juraev J.A., Akhmadjonova Sh.Sh. Normalization of energy consumption in industrial enterprises and determination of specific indicators 137

ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES

Iskandarova S.N., Begimqulova P.A., Sotvoldiyev D.M., Raxmanova Sh.K. Analysis of synthetic data augmentation and noise-robustness methods in the classification system of the old uzbek-farsi lexicon 144
Mamirov D.R. An algorithm for detecting plant stress, water deficit and pest infestation from drone imagery using artificial intelligence 152
Iskandarova S.N., Begimqulova P.A., Sotvoldiyev D.M., Raxmanova Sh.K. Assessing the quality of translation of uzbek-farsi lexicon in old arabic script into latin script using the semantic textual similarity (STS) model 157
Sa'dullayeva M.L. Comparative analysis of the effectiveness of gradient and metaheuristic algorithms in optimizing large-scale data 166
Kamolova M. Development of an interactive sorting algorithm visualization program and evaluation of its effectiveness in the educational process 172
Otaqulov O.H., Khusanbayeva X.X. The role of explainable artificial intelligence (AI) technologies in making design decisions 179
Gaybullaeva M.Kh., Kuldashev L.S. Information analysis in an intelligent ecological monitoring system based on artificial intelligence methods 183
Khamroyev U.N., Sharipov Sh.Sh., Nizomova N.T. Technology for using the "Trafficsmart" mobile application for traffic congestion prediction and alternative route recommendation 188

CHEMICAL TECHNOLOGY AND ECOLOGY

Jabborov T.K., Kurbanov N.M., Jabborov I.T., Siddikov M.Z., Bozorov S.A. Scientific model for predicting the safety of food products based on the properties of heat dissemination and moisture diffusion in drying processes 192
Kuchkarov M.A., Mamataliev A.A., Kushkov Zh.M., Kaxarov E.M., Primkulov B.Sh. NP-fertilizers based on ammonium nitrate melt and gulioba phosphate rock 196
Auesbaev A.U. Investigation of hydrocarbon composition of hydrotreated naphtha using astm d6729 for improving refining process efficiency 201
Jabborov T.K., Kurbanov N.M., Jabborov I.T., Siddikov M.Z., Bozorov S.A. Scientific model for predicting the safety of food products based on the properties of heat distribution and moisture diffusion in drying processes 212
Ziyadullaev M.E., Nurmonov S.E., Ikramov A., Kaxarov E.M., Ganiev P.Kh. Synthesis of acetylenic alcohols based on the cycloalkynylation of benzaldehyde and its various R-substituted derivatives 218
Jabbarbergenov M.J., Madenov B.D., Kaxarov E.M., Mamataliev A.A.,Namazov Sh.S. Modified ammonium nitrate with vermiculite additive 223
Aloydinov M.G'. Analysis of scientific research on seed cotton delinting techniques and technologies 227
Tuychiyeva D.M. Experiment planning and methods for determining physicochemical and baking properties of wheat grain 231

SOCIAL AND ECONOMIC SCIENCES

Boymirzaev A.R. Organization and management of design of monitoring and control systems for nuclear power plants 236
Rakhmonazarov P.Y., Urinbayeva D.Kh. Theoretical and methodological foundations of factors influencing the sustainable development of ecological-economic systems 242
Zokirova Z.T., Usmonov G. Digital transformation of language education: pedagogical aspects of english language teaching 245

CONTENTS

Rustamova M.M., Mirzafarov A. Smart management of economic potential in the textile industry: methodology and practice 249
Otakhonova Z.M. Folk pedagogy as an effective means of developing a sense of patriotism in students 254

SHORT MESSAGES

Sultanov N.A., Mirzajonov Z. Investigation of capacitance spectroscopy in tellurium-doped silicon: experimental results and analysis 259
Oripov A. Modeling of heat processes in solar parabolocylindrical collectors 262
Daliev B.S. Artificial intelligence and optimal quadrature formulas for solving singular integral equations 264
Sultanov N.A., Mirzajonov Z. Photoluminescence spectra of selenium-doped silicon: experimental results and analysis 267
Isakjanov M.S. The simplest fraction division algorithms and their proofs 269
Botirov A.A., Sharibayev N.Y. Theoretical basis and mathematical modeling of the process of separation of silk from cocoons under the influence of ultrasonic 272
Jalilova G.K. Influence of parameters of a spiked-paddle beating and distribution drum on regeneration efficiency 274
Isaboev T.M. Technology of manufacturing the roof of the Nexia 3 car 276
Botirov A.A., Sharibayev N.Y. Development and experimental research of a mechatronic system design for controlling the ultrasound cotton washing process based on camera and artificial intelligence 278
Turdiyev M., Dehqonova S. Modern technology and equipment in sewing enterprises 280
Boymatova K.A., Nizamova B.B. Development of a recommended technological process sequence for sewing outerwear 283
Omonov M.T., Bobojonov H.T., Salokhiddinov J.Z., Shogofurov Sh.Sh., Aripova Sh.R., Urishev M.M. Analysis of factors affecting yarn quality based on various technological processes 286
Mamatkulova S.R., Nabidzhanova N.N. Improving the labor standardization system in sewing and knitting enterprises 289
Mamatkulova S.R., Nabidzhanova N.N., Qozoqboyeva Sh.B. Research on specialized clothing production 291
Mirzajanov M.A., Mamatov Kh.A., Sultonov Kh.Sh. Analysis and problems of the current development of foam gypsum block production based on phosphate fertilizer and lime wastes 295
Usmonova N.A., Komilov A.K. BIM Technologies in the design of engineering communication 297
Nusratullayev J.X., Rakhmanov A.Y. Development of an automated and intelligent water resources management system based on renewable energy sources 299
Abdukadirov U.N. The role of spiritual values in youth employment, professional competence and economic activity 303
Khodjaeva G.D. Development of youth spirituality based on digital transformation and innovative technologies in the educational process 306
Mamurov A.A., Anvarov F.A. The pedagogical significance of applied art education in the development of professional competencies of future teachers of fine arts 309
Fozilov I.R. The role of digital technologies in teaching theoretical physics 311
Mamurov A.A. Socio-economic effectiveness of teaching applied arts in higher educational institutions 313
Yusupov A.A. Physical exercise: 6 benefits of regular physical exercise 315
Eminov A.E. Athletics. modern methods of teaching nuclear communication techniques 317
Hasanboev X.X., Toshpo‘latova B.R. Architecture of the timurid period in the first half of the 15th century 319
Information to the authors ! 323

UDK 517.518.8

$W_2^{(7,6)}$ FAZOSIDA HOSILALI OPTIMAL KVADRATUR FORMULA

R.G‘.Rasulov[1]*, O.S.Axmadjonova[2]

[1]Farg‘ona davlat texnika universiteti
[2] Farg‘ona davlat universiteti
**Mas’ul muallif, e-mail: r.rasulov1990@mail.ru*
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Mazkur maqolada $W_2^{(7,6)}$ fazosida hosilali optimal kvadratur formulalarni qurish masalasi o‘rganilgan. Ishda Eyler–Makloren kvadratur formulasining kengaytirilgan ko‘rinishi qaralib, Sard ma’nosidagi optimal koeffitsientlarni aniqlash usullari ishlab chiqilgan. Xatolik funksionalining normasi hisoblangan hamda uni minimallashtiruvchi koeffitsientlar Lagranjning noma’lum ko‘paytuvchilar usuli yordamida topilgan. Diskret argumentli funksiyalar va differensial operatorning diskret analogidan foydalanib optimal kvadratur formula uchun aniq yechimlar olingan. Natijalar sonli integrallash, funksional analiz va differensial tenglamalarni sonli yechish masalalarida qo‘llanilishi mumkin.*

Kalit so‘zlar. *optimal kvadratur formula, Sard masalasi, Eyler–Makloren formulasi, xatolik funksionali, Sobolev fazosi, Gilbert fazosi, sonli integrallash, differensial operator, diskret analog, funksional analiz.*

Аннотация. *В данной работе исследуется задача построения оптимальных квадратурных формул с производными в пространстве $W_2^{(7,6)}$. Рассматривается обобщенная формула Эйлера–Маклорена и изучается задача Сарда для нахождения оптимальных коэффициентов квадратурной формулы. Вычислена норма функционала погрешности и найдены коэффициенты, минимизирующие данную норму методом множителей Лагранжа. С использованием функций дискретного аргумента и дискретного аналога дифференциального оператора получены точные выражения для оптимальных коэффициентов. Полученные результаты могут быть использованы в задачах численного интегрирования, функционального анализа и численного решения дифференциальных уравнений.*

Ключевые слова. *оптимальная квадратурная формула, задача Сарда, формула Эйлера–Маклорена, функционал погрешности, пространство Соболева, гильбертово пространство, численное интегрирование, дискретный аналог, функциональный анализ.*

Abstract. *This paper studies the construction of optimal quadrature formulas with derivatives in the space $W_2^{(7,6)}$. A generalized Euler–Maclaurin quadrature formula is considered, and the Sard problem for determining optimal coefficients is investigated. The norm of the error functional is calculated, and the coefficients minimizing this norm are obtained using the Lagrange multiplier method. By applying functions of discrete argument and the discrete analogue of a differential operator, explicit expressions for the optimal coefficients are derived. The obtained results can be applied in numerical integration, functional analysis, and numerical methods for differential equations.*

Keywords. *optimal quadrature formula, Sard problem, Euler–Maclaurin formula, error functional, Sobolev space, Hilbert space, numerical integration, discrete analogue, functional analysis.*

1. Kirish

Kvadratur va kubatur formulalar integrallarni taqribiy hisoblash usullari ekanligi ma’lum. Bundan tashqari, kvadratur va kubatur formulalar differensial va integral tenglamalarni sonli yechishda ham foydalaniladi. Kvadratur va kubatur formulalar nazaryasiga asosan, kvadratur va kubatur formulalarni qurishni uchta usuli bor: algebraik, ehtimollik–stasistik yo’nalishi, funksional-analitik.

Funksional-analitik usullarda integral va mos keladigan kubik summa o’rtasidagi xatolik Banax fazosida chiziqli funksional bo’lib, u normalangan Banax fazosidagi xatolik funksionali normasi bilan hisoblanadi. Xatolikning funksionali normasi koeffitsientlarga va tugun nuqtalarga bog’liq. Xatolik funksionalini koeffitsientlari va tugunlari bo’yicha minimallashtirib normani topish masalasi S.M.Nikolskiy masalasi deb ataladi. Bu masalani yechishdan hosil qilingan formula Nikolskiy ma’nosida optimal formula deb nomlanadi [10]. Tugun nuqtalar fiksirlangan holda xatolik funksionalni

normasini koeffitsientlar bo'yicha minimallashtirish masalasi Sard masalasi deb nomlanadi. Qurilgan formula Sard ma'nosida optimal formula deb ataladi. Bu masala birinchi bo'lib A. Sard tomonidan o'rganilgan [11]. Ushbu masalani turli funksiyalar oralig'ida yechishda sonli integratsiyaning har xil optimal formulalari olinadi. Sard ma'nosida optimal kvadratur formulalarini qurishning bir necha usullari mavjud, masalan, spline usuli, funksiya usuli ([3], [12]) va Sobolev usuli. Shuni ta'kidlash kerakki, Sobolev usuli chiziqli differentsial operatorning diskret analogini ishlatishga asoslangan [20, 21, 22]. Ushbu usullar asosida turli sohalarda Sard masalasi ko'plab olimlar tomonidan o'rganilgan [2,3,4, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 15, 20, 21,22, 23].

Eyler Makloren formulasi, shuningdek to'ldirish amalarini kiritish orqali Eyler Makloren kvadratur formulasining kengayishini ko'rish mumkin. Ta'kidlash joizki, amaliy va amaliy muammolarni yechishda sonli integral formulalari kichik silliqligi bo'lgan funksiyalar uchun qiziq.

Ushbu maqolada Eyler Makloren kvadratur formulasini kengaytirishga bag'ishlangan.

Biz quyidagi ko'rinishdagi kvadratur formulani qaraymiz

$$\int_0^1 \varphi(x)dx \cong \sum_{\beta=0}^{N} C_0[\beta]\varphi(h\beta) + \sum_{\beta=0}^{N} C_1[\beta]\varphi'(h\beta) + \\ + \sum_{\beta=0}^{N} C_3[\beta]\varphi'''(h\beta) + \sum_{\beta=0}^{N} C_5[\beta]\varphi^{(V)}(h\beta) + \sum_{\beta=0}^{N} C_6[\beta]\varphi^{(VI)}(h\beta) \qquad (1.1)$$

bu yerda $C_0[\beta],$ umumlashgan trapetsiya formulasining koeffisentlari

$$C_0[0] = \frac{h}{2}, \qquad \beta = 0,$$
$$C_0[\beta] = h, \quad \beta = 1,2,...,N-1, \qquad (1.2)$$
$$C_0[N] = \frac{h}{2}, \qquad \beta = N.$$

va $C_1[\beta],$ $C_3[\beta],$ $C_5[\beta]$ koeffisentlar esa Eyler Makloren formulasini koeffisentlari ya'ni

$$C_1[\beta] = \begin{cases} h^2/12, \beta = 0 \\ 0, \beta = \overline{1, N-1} \\ -h^2/12, \beta = N \end{cases} \quad C_3[\beta] = \begin{cases} -h^4/720, \beta = 0 \\ 0, \beta = \overline{1, N-1} \\ h^4/720, \beta = N \end{cases} \quad C_5[\beta] = \begin{cases} h^6/30240, \beta = 0 \\ 0, \beta = \overline{1, N-1} \\ -h^6/30240,, \beta = N \end{cases} \qquad (1.3)$$

$C_6[\beta]$-(1.1) kvadratur formulaning hozircha noma'lum bo'lgan koeffisentlari, $h = 1/N$, N-natural son. Integral ostidagi φ funksiya $W_2^{(7,6)}(0,1)$ fazosiga tegishli bo'lib, bu fazo quyidagicha aniqlanadi:

$$W_2^{(7,)}(0,1) = \left\{\varphi : [0,1] \to \square, \varphi^{(6)} - absolyut\ \ uzluksiz,\ \varphi^{(7)} \in L_2(0,1)\right\},$$

va $W_2^{(7,6)}(0,1)$ fazoda quyidagi skalyar ko'paytmaga nisbatan Gilbert fazosi bo'ladi

$$\langle \varphi, \psi \rangle = \int_0^1 (\varphi^{(7)}(x) + \varphi^{(6)}(x))(\psi^{(7)}(x) + \psi^{(6)}(x))dx.$$

Bu skalyar ko'patma yordamida Gilbert fazosida norma quyidagicha kiritiladi

$$\| \varphi | W_2^{(7,6)}(0,1) \| = \left[\int_0^1 (\varphi^{(7)}(x) + \varphi^{(6)}(x))^2 dx \right]^{1/2}. \qquad (1.4)$$

Shunday qilib, quyidagi ayirma

$$(\ell, \varphi) = \int_{-\infty}^{\infty} \ell(x)\varphi(x)dx = \left(\int_{-\infty}^{\infty} \varepsilon_{[0,1]}(x) - \sum_{\beta=0}^{N} C_0[\beta]\delta(x-h\beta) + \sum_{\beta=0}^{N} C_1[\beta]\delta'(x-h\beta) + \right.$$
$$\left. + \sum_{\beta=0}^{N} C_3[\beta]\delta^{(3)}(x-h\beta) + \sum_{\beta=0}^{N} C_5[\beta]\delta^{(5)}(x-h\beta) + \sum_{\beta=0}^{N} C_6[\beta]\delta^{(6)}(x-h\beta) \right) \cdot \varphi(x)dx \qquad (1.5)$$

(1.1) kvadratur formulaning xatoligi deb ataladi va unga ushbu

$$\ell(x)=\varepsilon_{[0,1]}(x)-\sum_{\beta=0}^{N}C_0[\beta]\delta(x-h\beta)-\sum_{\beta=0}^{N}C_1[\beta]\delta'(x-h\beta)-$$

$$-\sum_{\beta=0}^{N}C_3[\beta]\delta^{(3)}(x-h\beta)-\sum_{\beta=0}^{N}C_5[\beta]\delta^{(5)}(x-h\beta)-\sum_{\beta=0}^{N}C_6[\beta]\delta^{(6)}(x-h\beta) \qquad (1.6)$$

xatolik funksionali mos keladi. Bu yerda $\varepsilon_{[0,1]}(x)-[0,1]$ kesmaning xarakteristik funsiyasi, δ - Dirakning delta funksiyasi.

l -xatolik funksionalining φ funksiyadagi qiymati $(\ell,\varphi)=\int_{-\infty}^{\infty}\ell(x)\varphi(x)dx$ orqali hisoblanadi.

Shuni ta'kidlash kerakki, l xatolik funksionali $W_2^{(7,6)}(0,1)$ fazosida aniqlangan bo'lishi uchun quyidagi shartlarni qanoatirishi kerak.

$$(l,1)=1-\sum_{\beta=0}^{N}C_0[\beta]=0, \qquad (1.7)$$

$$(\ell,x^2)=\frac{1}{3}-\sum_{\beta=0}^{N}C_0[\beta]\varphi(h\beta)^2-2\sum_{\beta=0}^{N}C_1[\beta](h\beta)=0, \qquad (1.8)$$

$$(\ell,x^3)=\frac{1}{4}-\sum_{\beta=0}^{N}C_0[\beta]\varphi(h\beta)^3-3\sum_{\beta=0}^{N}C_1[\beta](h\beta)^2-6\sum_{\beta=0}^{N}C_3[\beta]=0, \qquad (1.9)$$

$$(\ell,x^4)=\frac{1}{5}-\sum_{\beta=0}^{N}C_0[\beta]\varphi(h\beta)^4-4\sum_{\beta=0}^{N}C_1[\beta](h\beta)^3-24\sum_{\beta=0}^{N}C_3[\beta](h\beta)=0, \qquad (1.10)$$

$$(\ell,x^5)=\frac{1}{6}-\sum_{\beta=0}^{N}C_0[\beta]\varphi(h\beta)^5-5\sum_{\beta=0}^{N}C_1[\beta](h\beta)^4-$$

$$-60\sum_{\beta=0}^{N}C_3[\beta](h\beta)^2+120C_5[\beta]=0 \qquad (1.11)$$

$$(\ell,e^{-x})=1-e^{-1}-\sum_{\beta=0}^{N}C_0[\beta]\cdot e^{-(h\beta)}+\sum_{\beta=0}^{N}C_1[\beta]\cdot e^{-(h\beta)}+$$

$$+\sum_{\beta=0}^{N}C_3[\beta]\cdot e^{-(h\beta)}+\sum_{\beta=0}^{N}C_5[\beta]\cdot e^{-(h\beta)}+\sum_{\beta=0}^{N}C_6[\beta]\cdot e^{-(h\beta)} \qquad (1.12)$$

Oxirgi tengliklar (1.1) kvadratur formulaning $1, x, x^2, x^3, x^4, x^5, e^{-x}$ funksiyalarga aniqligini bildiradi. Biz $C_0[\beta], C_1[\beta], C_3[\beta], C_5[\beta]$ koeffisentlarni (1.7), (1.8), (1.9), (1.10), (1.11) va (1.12) tengliklarni bajardigan qilib tanlab olamiz. Hozircha noma'lum bo'lgan koeffisentlarni $C_6[\beta],\ \beta=0,1,2,...,N$ (1.9) ni qanoatlantiradigan qilib topishimiz kerak. Demak, $C_6[\beta]$ koeffisentlar uchun faqatgina (1.12) shartga ega bo'lamiz.

(1.1) kvadatur formulaning (1.5) xatoligi $W_2^{(7,6)*}(0,1)$ fazosidagi chiziqli funksionalni beradi. Bunda $W_2^{(7,6)*}(0,1)$ fazo $W_2^{(7,6)*}(0,1)$ fazoga qo'shma fazo.

Koshi-Shvars tengsizligidan (1.6) xatolikning absolyut qiymati yuqoridan quyidagicha baholanadi

$$|(\ell,\varphi)|\le\| \varphi | W_2^{(7,6)*}(0,1)\| \cdot\| \ell | W_2^{(7,6)*}(0,1)\|$$

Bu yerdan biz (1.1) kvadratur formulaning (1.6) xatolik funksionalining

$$\left\|\ell | W_2^{(7,6)*}(0,1)\right\| = \sup_{\left\|\varphi | W_2^{(7,6)*}(0,1)\right\|=1}\left|(\ell,\varphi)\right|$$

normasi orqali baholanishini xulosa qilamiz. Bunda l xatolik funksionali normasi $C_6[\beta]$ koeffisentlarga bog'liqligini ko'rish mumkin.

Tabiiyki, butun bir funksiyalar fazosi $W_2^{(7,6)*}(0,1)$ elementlarida (1.1) xatoligini yuqori chegarasining eng kichik qiymatlarini topish masalasi muhim hisoblanadi. Xatolik funksionali normasining $C_6[\beta]$ boyicha minimumini topish masalasi Sard masalasi bo'ladi. Bu masalani yechishdan olingan kvadratur formula Sard ma'nosida optimal kvadratur formula deyiladi.

Ushbu ishning asosiy maqsadi $W_2^{(7,6)*}(0,1)$ fazosida (1.1) kvadratur formula uchun Sard masalasini yechishdan iboratdir.

Ya'ni

$$\left\| \overset{\circ}{\ell} \mid W_2^{(7,6)*} \right\| = \inf_{C_6[\beta]} \left\| \ell \mid W_2^{(7,6)*} \right\| \tag{1.13}$$

tenglikni qanoatlantiruvchi $C_6[\beta]$ koeffisentlarni topishdan iboratdir.

Shunday qilib, $W_2^{(7,6)}(0,1)$ fazosida (1.1) ko'rinishdagi Sard ma'nosidagi optimal kvadratur formulani qurish uchun quyidagi ikkita masalani qaraymiz.

1. (1.1) kvadratur formulaning (1.6) xatolik funksionali normasini hisoblash.
2. (1.6) xatolik funksionali normasini minimumga erishtiruvchi $C_6[\beta]$ koeffisentlarni topish.

2. Xatolik funksionali normasini qurish

$l(x)$ xatolik funsionali normasini baholash uchun biz quyidagi tenglikni qanoatlantiruvchi ψ_l-ekstremal funksiyasidan foydalanamiz.

$$(\ell, \psi_\ell) = \left\| \ell \mid W_2^{(7,6)*} \right\| \cdot \left\| \psi_\ell \mid W_2^{(7,6)} \right\|.$$

Shuni ta'kidlash kerakki, $W_2^{(m,m-1)}$ Gilbert fazosida aniqlangan har qanday l chiziqli funksional uchun [Kh. Shadimetov, A.Hayotov, Calcolo 2014, [16]] ishda ψ_l-ekstremal funksiya quyidagi chegaraviy masalalarni yechimi ekanligi ko'rsatilgan.

$$\psi_\ell^{(2m)}(x) - \psi_\ell^{(2m-2)}(x) = (-1)^m \ell(x), \tag{2.1}$$

$$\left(\psi_\ell^{(m+s)}(x) - \psi_\ell^{(m+s-2)}(x)\right)\Big|_{x=0}^{x=1} = 0, \ s = 0,1,...,m-1, \tag{2.2}$$

$$\left(\psi_\ell^{(m)}(x) + \psi_\ell^{(m-1)}(x)\right)\Big|_{x=0}^{x=1} = 0. \tag{2.3}$$

hamda ψ_l ekstremal funksiya uchun quyidagi teorema isbotlangan.

Teorema 2.1 (Theorem 2.1 of [16]) (2.1) va (2.3) chegaraviy masalaning yechimi ℓ xatolik funksionali uchun ψ_ℓ -ekstremal funksiya bo'ladi va u quyidagicha aniqlanadi.

$$\psi_\ell(x) = (-1)^m \ell(x) * G_m(x) + P_{m-2}(x) + de^{-x},$$

Bu yerda

$$G_m(x) = \frac{\operatorname{sgn} x}{2}\left(\frac{e^x - e^{-x}}{2} - \sum_{k=1}^{m-1} \frac{x^{2k-1}}{(2k-1)!}\right) \tag{2.4}$$

$G_m^{(2m)}(x) - G_m^{(2m-2)}(x) = \delta(x)$ tenglamaning yechimi, $P_{m-2}(x)$-darajasi $m-2$ bo'lgan ko'phad, d-ixtiyoriy haqiqiy son.

Bundan tashqari, bu ishda $\| \ell \mid W_2^{(m,m-1)} \| = \| \psi_\ell \mid W_2^{(m,m-1)*} \|$ va

$$(\ell, \psi_\ell) = \left\| \ell \mid W_2^{(m,m-1)*} \right\|^2 \tag{2.5}$$

tengliklar ham o'rinli ekanligi ko'rsatilgan.

Teorema 2.1 dan $m = 3$ holda (1.6) tenglik bilan $W_2^{(7,6)*}(0,1)$ fazosida aniqlangan l xatolik funksionali uchun ψ_l ektremal funksiyasini olamiz va u quyidagicha bo'ladi.

$$\psi_l(x) = -l(x) * G_7(x) + P_5(x) + d\, e^{-x} \tag{2.6}$$

bunda

$$G_7(x)=\frac{\operatorname{sgn} x}{2}\left(\frac{e^x-e^{-x}}{2}-\frac{x^{11}}{11!}-\frac{x^9}{9!}-\frac{x^7}{7!}-\frac{x^5}{5!}-\frac{x^3}{6}-x\right) \tag{2.7}$$

$P_5(x)=p_5x+p_0$ -birinchi darajali ko'phad va d -ixtiyoriy haqiqiy sonlar.

(2.5) tenglik asosida $m=7$ bo'lganda, (1.6) va (2.6) tengliklarni inobatga olgan olib quyidagi hisoblaymiz.

$$\|\ell\|^2=(\ell,\psi_\ell)=\sum_{\beta=0}^{N}\sum_{\gamma=0}^{N}C_6[\beta]C_6[\gamma]G_7^{(12)}(h\beta-h\gamma)+$$

$$+2\sum_{\beta=0}^{N}C_6[\beta]\left(\int_0^1 G_7^{(6)}(x-h\beta)dx-\sum_{\gamma=0}^{N}C_0[\gamma]G_7^{(6)}(h\beta-h\gamma)-\sum_{\gamma=0}^{N}C_1[\gamma]G_7^{(7)}(h\beta-h\gamma)-\right.$$

$$\left.-\sum_{\gamma=0}^{N}C_3[\gamma]G_7^{(9)}(h\beta-h\gamma)-\sum_{\gamma=0}^{N}C_5[\gamma]G_7^{(11)}(h\beta-h\gamma)\right)-\sum_{\beta=0}^{N}\sum_{\gamma=0}^{N}C_0[\beta]C_0[\gamma]G_7(h\beta-h\gamma)+$$

$$+2\sum_{\beta=0}^{N}\sum_{\gamma=0}^{N}C_0[\beta]C_1[\gamma]G_7'(h\beta-h\gamma)+2\sum_{\beta=0}^{N}\sum_{\gamma=0}^{N}C_0[\beta]C_3[\gamma]G_7'''(h\beta-h\gamma)+$$

$$+2\sum_{\beta=0}^{N}\sum_{\gamma=0}^{N}C_0[\beta]C_5[\gamma]G_7^{(5)}(h\beta-h\gamma)+\sum_{\beta=0}^{N}\sum_{\gamma=0}^{N}C_1[\beta]C_1[\gamma]G_7''(h\beta-h\gamma)+$$

$$+2\sum_{\beta=0}^{N}\sum_{\gamma=0}^{N}C_1[\beta]C_3[\gamma]G_7^{(4)}(h\beta-h\gamma)+2\sum_{\beta=0}^{N}\sum_{\gamma=0}^{N}C_1[\beta]C_5[\gamma]G_7^{(6)}(h\beta-h\gamma)+$$

$$+\sum_{\beta=0}^{N}\sum_{\gamma=0}^{N}C_3[\beta]C_3[\gamma]G_7^{(6)}(h\beta-h\gamma)+\sum_{\beta=0}^{N}\sum_{\gamma=0}^{N}C_3[\beta]C_5[\gamma]G_7^{(8)}(h\beta-h\gamma)+$$

$$+\sum_{\beta=0}^{N}\sum_{\gamma=0}^{N}C_5[\beta]C_5[\gamma]G_7^{(10)}(x-h\beta)+2\sum_{\beta=0}^{N}C_0[\beta]\int_0^1 G_7(x-h\beta)dx-$$

$$-2\sum_{\beta=0}^{N}C_1[\beta]\int_0^1 G_7'(x-h\beta)dx-2\sum_{\beta=0}^{N}C_3[\beta]\int_0^1 G_7'''(x-h\beta)dx-2\sum_{\beta=0}^{N}C_5[\beta]\int_0^1 G_7^{(5)}(x-h\beta)dx-$$

$$-\int_0^1\int_0^1 G_7(x-y)dxdy. \tag{2.8}$$

Shunday qilib, 1-masala yechildi.
Endi 2-masalani yechish bilan shug'ullanamiz.

(1.6)-xatolik funsionali normasini minimallashtirish.

Bu paragrafda biz (2.8) ifodani (1.9) shartlarda $C_6[\beta],\beta=0,1,...,N$ koeffisentlar bo'yicha minimumni topish masalasini qaraymiz.

Buning uchun ko'p o'zgaruvchi funksiyalarning shartli ekstrimumni topish uchun Lagranjning noma'lum ko'paytuvchilar metodidan foydalanamiz. Shu munosabat bilan biz quyidagi funksiyani qaraymiz.

$$\Psi(C_6[0],C_6[1],...,C_6[N],d)=\|l\|^2+d(l,e^{-x})$$

Ψ funksiyadan $C_6[\beta],\ \beta=0,1,...,N$ (koeffisentlar) boyicha xususiy hosilalarini nolga tenglab va (1.12) tenglik bilan birgalikda quyidagi tenglamalar sistemasini olamiz.

Bu sistemada $C_6[\beta],\ \beta=0,1,...,N$ va d noma'lumlar, ya'ni yuqoridagi sistema $N+2$ ta noma'lum va $N+2$ ta tenglamalar sistemasi. Ushbu sistema har bir fiksirlangan natural N da yagona yechimga egadir.

$$\sum_{\gamma=0}^{N}C_6[\gamma]G_7^{(12)}(h\beta-h\gamma)+de^{-h\beta}=F(h\beta),\ \ \beta=0,1,...N \tag{3.1}$$

$$\sum_{\gamma=0}^{N} C_6[\gamma]e^{-h\gamma} = 1-e^{-1} - \sum_{\gamma=0}^{N} C_0[\gamma]e^{-h\gamma} + \sum_{\gamma=0}^{N} C_1[\gamma]e^{-h\gamma} + \sum_{\gamma=0}^{N} C_3[\gamma]e^{-h\gamma} + \sum_{\gamma=0}^{N} C_5[\gamma]e^{-h\gamma} \qquad (3.2)$$

bu yerda

$$F(h\beta) = \int_0^1 G_4(x-h\beta)dx - \sum_{\gamma=0}^{N} C_0[\gamma]G_4(h\beta-h\gamma) + \sum_{\gamma=0}^{N} C_1[\gamma]G_4'(h\beta-h\gamma) +$$

$$+\sum_{\gamma=0}^{N} C_3[\gamma]G_3'(h\beta-h\gamma) + \sum_{\gamma=0}^{N} C_5[\gamma]G_2'(h\beta-h\gamma) \qquad (3.3)$$

$$g = 1-e^{-1} - \sum_{\gamma=0}^{N} C_0[\gamma]e^{-h\gamma} + \sum_{\gamma=0}^{N} C_1[\gamma]e^{-h\gamma} + \sum_{\gamma=0}^{N} C_3[\gamma]e^{-h\gamma} + \sum_{\gamma=0}^{N} C_5[\gamma]e^{-h\gamma} \qquad (3.4)$$

Biz bu sistemani aniq yechimini topamiz. Buning uchun diskret argumentli funksiyalar va ular ustida bajariladigan amallardan foydalanamiz.

2.1. (1.1) kvadratur formulaning optimal koeffisentlarini topish.

Faraz qilaylik, φ va ψ lar haqiqiy argumentli funksiyalar bo'lib R haqiqiy sonlar to'plamida aniqlangan bo'lsin. $h = 1/N, \quad N = 1,2,...$ bo'lsin.

1-ta'rif. $\varphi(h\beta)$ funksiyaga diskret argumentli funksiya deyiladi, agar u β o'zgaruvchining biror butun qiymatlari to'plamida aniqlangan bo'lsa.

2-ta'rif. $\varphi(h\beta)$ va $\psi(h\beta)$ diskret argumentli funksiyalarning skalyar ko'paytmasi deb quyidagi cheksiz qatorga aytiladi agar u yaqinlashuvchi bo'lsa

$$\left[\varphi(h\beta),\psi(h\beta)\right] = \sum_{\beta=-\infty}^{\infty} \varphi(h\beta)\cdot\psi(h\beta)$$

3-ta'rif. $\varphi(h\beta)$ va $\psi(h\beta)$ diskret argumentli funksiyalarning svyo;rtkasi deb quyidagi skalyar ko'paytmaga aytiladi.

$$\varphi(h\beta) * \psi(h\beta) = \left[\varphi(h\gamma),\psi(h\beta-h\gamma)\right] = \sum_{\gamma=-\infty}^{\infty} \varphi(h\gamma)\cdot\psi(h\beta-h\gamma)$$

Shular bilan birgalikda bizga $d^2/dx^2 - 1$ differensial operatorning diskret anologi kerak bo'ladi. Bu operator [X.Shadimetov, A.Hayotov, UzMJ2004№2] ishda qurilgan . (Unda $\frac{d^{2m}}{dx^{2m}} - \frac{d^{2m-2}}{dx^{2m-2}}$ operator diskret analogi qurilgan)

Teorema 3.1 $d^2/dx^2 - 1$ differensial operatorning

$$D_1(h\beta) * G_1(h\beta) = \delta_d(h\beta)$$

tenglikni qanoatlantiruvchi diskret analogi quyidagi ko'rinishga ega.

$$D_1(h\beta) = \frac{1}{1-e^{2h}} \begin{cases} 0, & |\beta| \geq 2, \\ -2e^{2h}, & |\beta| = 1, \\ 2(1+e^{2h}), & |\beta| = 0, \end{cases} \qquad (3.5)$$

Bu yerda $G_1(x) = \frac{\operatorname{sgn}(h\beta)}{2}\left(\frac{e^{h\beta}-e^{-h\beta}}{2}\right), \quad \delta_d(h\beta) = \begin{cases} 1, & \beta = 0, \\ 1, & \beta \neq 0. \end{cases}$

Diskret analogining xossasidan (3.6) ni ko'rish mumkin.

$$D_1(h\beta) * e^{h\beta} = 0 \text{ va } D_1(h\beta) * e^{-h\beta} = 0. \qquad (3.6)$$

Endi (3.1)-(3.2)-sistemani yechishga o'tamiz.

Faraz qilaylik $C_6[\beta]$=0, $\beta<0$ va $\beta>N$ bo'lsin. U holda (3.1)-(3.2)-sistemani quyidagicha svyortkali ko'rinishida yozib olamiz.

$$C_6[\gamma]*G_4(h\beta-h\gamma)+de^{-h\beta}=F(h\beta),\ \beta=0,1,...N \tag{3.7}$$

$$\sum_{\gamma=0}^{N}C_6[\gamma]e^{-h\gamma}=1-e^{-1}-\sum_{\gamma=0}^{N}C_0[\gamma]e^{-h\gamma}+\sum_{\gamma=0}^{N}C_1[\gamma]e^{-h\gamma}+\sum_{\gamma=0}^{N}C_3[\gamma]e^{-h\gamma}+\sum_{\gamma=0}^{N}C_5[\gamma]e^{-h\gamma} \tag{3.8}$$

Bu yerda (3.3) va (3.4) larni o'ng tomonini hisoblab $F(h\beta)$ va g uchun quyidagilarni oldik.

$$F(h\beta)=(e^{h\beta-1}+e^{-h\beta})\cdot\frac{e+1}{4}\cdot\left(1-\frac{h}{2}+\frac{h^2}{12}-\frac{h^4}{720}+\frac{h^6}{30240}-\frac{h}{e^h-1}\right)-$$

$$1+\frac{h}{2}-\frac{h^2}{12}-\frac{h^4}{720}+\frac{h^6}{30240}+\frac{h}{e^h-1} \tag{3.9}$$

$$g=\frac{e-1}{e}\cdot\left(1-\frac{h}{2}+\frac{h^2}{12}-\frac{h^4}{720}+\frac{h^6}{30240}-\frac{h}{e^h-1}\right) \tag{3.10}$$

(2.9) va (2.10) hisobga olgan holda, Teorema 3.1 dan

$$D_1(h\beta)*G_4(h\beta)=\delta_d(h\beta), \tag{3.11}$$

ekanligini olamiz.

(3.7) tenglamaning chap tomoniga quyidagicha belgilash kiritamiz.

$$u(h\beta)=C_6[\beta]*G_4(h\beta)+de^{-h\beta} \tag{3.12}$$

Bundan

$$C_6[\beta]=D_1(h\beta)*u(h\beta). \tag{3.13}$$

ekanligiga ega bo'lamiz.

Haqiqatdan ham $u(h\beta)$ funksiya β ixtiyoriy butun qiymatlarida aniqlangan bo'lsa, u holda

$$D_1(h\beta)*u(h\beta)=D_1(h\beta)*(G_4(h\beta)*C_6[\beta])+D_1(h\beta)*(d\,e^{-h\beta})=$$
$$=C_6[\beta]*(D_1(h\beta)*G_4(h\beta))=C_6[\beta]*\delta_d(h\beta)=C_6[\beta].$$

ekanligiga ega bo'lamiz. Demak, $C_2[\beta]$ topish uchun $u(h\beta)$ funksiyani β ning ixtiyoriy qiymatlarida aniqlash kerak.

Quyidagi o'rinli.

Teorema 3.2. $W_2^{(7,6)}(0,1)$ fazosida aniqlanlangan Sard ma'nosidagi (1.1) optimal kvadratur formulani koeffisentlari quyidagi ko'rinishga ega.

$$\overset{\circ}{C}_6[0]=\frac{e^h-1}{e^h+1}\left(\frac{h^2}{12}-\frac{h^4}{720}+\frac{h^6}{30240}+1\right)-\frac{h}{2},$$

$$\overset{\circ}{C}_6[\beta]=\frac{e^h-1}{e^h+1}\left(\frac{h^2}{6}-\frac{h^4}{360}+\frac{h^6}{15120}+2\right)-h, \tag{3.14}$$

$$\overset{\circ}{C}_6[N]=\frac{e^h-1}{e^h+1}\left(\frac{h^2}{12}-\frac{h^4}{720}+\frac{h^6}{30240}+1\right)-\frac{h}{2}.$$

Isbot. (3.7) tenglikdan $\beta=0,1,...,N$ larda $u(h\beta)=F(h\beta)$ ekanligini olamiz.

Endi biz $\beta<0$ va $\beta>N$ bo'lganda $u(h\beta)$ qaraymiz.

Dastlab, $\beta\le 0$ bo'lgan holni qaraymiz. Bunda (2.9) dagi funksiyalar va (3.8) tenglikdan foydalangan holda quyidagini olamiz.

$$u(h\beta)=-\frac{1}{4}e^{h\beta}g+e^{-h\beta}\frac{1}{4}\sum_{\gamma=0}^{N}C_6[\gamma]e^{h\gamma}+de^{-h\beta}.$$

Mos ravishda, $\beta\ge N$ uchun

$$u(h\beta)=\frac{1}{4}e^{h\beta}g-e^{-h\beta}\frac{1}{4}\sum_{\gamma=0}^{N}C_6[\gamma]e^{h\gamma}+de^{-h\beta}.$$

So'ngra, oxirgi ikki tenglikka quyidagicha belgilash kiritamiz.

$$D=\frac{1}{4}\sum_{\gamma=0}^{N}C_6[\gamma]e^{h\gamma}$$

$u(h\beta)$ uchun quyidagini olamiz.

$$u(h\beta)=\begin{cases}-\frac{1}{4}e^{h\beta}g+(d+D)e^{-h\beta}, & \beta\le 0,\\ F(h\beta), & 0\le\beta\le N,\\ -\frac{1}{4}e^{h\beta}g+(d-D)e^{-h\beta}, & \beta\le N,\end{cases} \tag{3.15}$$

Bu yerda (3.15) tenglikdagi d va D noma'lumlar. Bu noma'lumlarni topishda $u(h\beta)$ funksiyasini $\beta=0$ va $\beta=N$ nuqtalaridagi qiymatlaridan foydalanamiz. Shuning uchun (3.15) sistema $\beta=0$ va $\beta=N$ bo'ganda noma'lumlari d va D bo'lgan tenglamalar sisitemasi hosil bo'ladi. Shundan so'ng, (3.9) va (3.10) lardan foydalangan holda hisoblashlarni amalga oshiramiz.

$$\begin{cases}d=0\\ D=\frac{e-1}{4}\cdot\left(1-\frac{h}{2}+\frac{h^2}{12}-\frac{h^4}{720}+\frac{h^6}{30240}-\frac{h}{e^h-1}\right)\end{cases} \tag{3.16}$$

Natijada, (3.13) dan $\beta=0,1,...,N$ lar uchun (3.16) ni hisobga olib, (3.5) va (3.15) lardan foydalangan holda (3.14) ni hisoblaymiz. Teorema 3.2 isbotlandi.
Shunday qilib, biz 1 va 2 masalalarni yechdik.

Izoh. (1.2), (1.3) va (3.14) lardan foydalanib, $(\ell,1)=0$, $(\ell,x)=0$, $(\ell,x^2)=0$, $(\ell,x^3)=0$, $(\ell,x^4)=0$, $(\ell,x^5)=0$ va $(\ell,e^{-x})=0$ larini hisoblaylaymiz. Ushbu tengliklar shuni anglatadiki, koeffisientlari (1.2) va (3.14) bo'lgan (1.1) optimal kvadratur formula $1,x,x,^2,x^3,x^4,x^5,e^{-x}$ funksiyalar uchun aniq. Bundan xulosa qilish mumkinki, koeffitsientlari (1.2), (1.3) va (3.14) bo'lgan (1.1) optimal kvadratur formula $1,x,x,^2,x^3,x^4,x^5$ va e^{-x} larning har qanday funksional chiziqli kombinatsiyalar uchun aniq ekan.

Adabiyotlar

[1]. J.H. Ahlberg, E.N. Nilson, J.L. Walsh, The Theory of Splines and Their Applications, Academic Press, New York -- London, 1967.
[2]. I. Babu\v{s}ka, Optimal quadrature formulas (Russian), Dokladi Akad. Nauk SSSR. 149 (1963) 227--229.
[3]. P. Blaga, Gh. Coman, Some problems on optimal quadrature, Stud. Univ. Babe\c{s}-Bolyai Math. 52, no. 4 (2007) 21--44.
[4]. T. Catina\c{s}, Gh. Coman, Optimal quadrature formulas based on the -function method, Stud. Univ. Babe\c{s}-Bolyai Math. 51, no. 1 (2006) 49--64.
[5]. A.R. Hayotov, G.V. Milovanovi\'{c}, Kh.M. Shadimetov, On an optimal quadrature formula in the sense of Sard. Numerical Algorithms, v.57, no. 4, (2011) 487-510.
[6]. A.R. Hayotov, G.V. Milovanovi\'{c}, Kh.M. Shadimetov, Optimal quadratures in the sense of Sard in a Hilbert space. Applied Mathematics and Computation, 259 (2015) 637-653.
[7]. P. K\"{o}hler, On the weights of Sard's quadrature formulas, Calcolo, 25 (1988) 169--186.
[8]. F. Lanzara, On optimal quadrature formulae, J. Ineq. Appl. 5 (2000) 201--225.
[9]. C.A. Micchelli, Best quadrature formulas at equally spaced nodes, J. Math. Anal. Appl. 47 (1974) 232-249.
[10]. S.M. Nikol'skii, Quadrature Formulas, Nauka, Moscow, 1988.(in Russian).
[11]. A. Sard, Best approximate integration formulas; best approximation formulas, Amer. J. Math. 71 (1949) 80--91.
[12]. I.J. Schoenberg, On monosplines of least deviation and best quadrature formulae, J. Soc. Indust. Appl. Math. Ser. B Numer. Anal. 2 (1965) 144-170.
[13]. I.J. Schoenberg, S.D. Silliman, On semicardinal quadrature formulae. Math. Comp. 28 (1974) 483--497.

[14]. Kh.M. Shadimetov, A.R. Hayotov, Construction of the discrete analogue of the differential operator , Uzbek mathematical journal, 2004, no.2, pp. 85-95.
[15]. Kh.M. Shadimetov, A.R. Hayotov, Optimal quadrature formulas with positive coefficients in space, J. Comput. Appl. Math. 235 (2011) 1114--1128.
[16]. Kh.M. Shadimetov, A.R. Hayotov, Optimal quadrature formulas in the sense of Sard in space, Calcolo 51 (2014) 211--243.
[17]. Kh.M. Shadimetov, A.R. Hayotov, F.A. Nuraliev, On an optimal quadrature formula in Sobolev space , J. Comput. Appl. Math. 243 (2013) 91--112.
[18]. Kh.M. Shadimetov, A.R. Hayotov, F.A. Nuraliev, Optimal quadrature formulas of Euler-Maclaurin type, Applied Mathematics and Computation 276 (2016) 340--355.
[19]. Kh.M. Shadimetov, F.A. Nuraliev, Optimal formulas of numerical integration with derivatives in Sobolev space, Journal of Siberian Federal University. Math. and Phys. 2018, 11 (6) 764-775.
[20]. S.L. Sobolev, The coefficients of optimal quadrature formulas, Selected Works of S.L. Sobolev, Springer, (2006) 561--566.
[21]. S.L. Sobolev, Introduction to the Theory of Cubature Formulas (Russian), Nauka, Moscow, 1974.
[22]. S.L. Sobolev, V.L. Vaskevich, The Theory of Cubature Formulas, Kluwer Academic Publishers Group, Dordrecht, 1997.
[23]. F.Ya. Zagirova, On construction of optimal quadrature formulas with equal spaced nodes (Russian). Novosibirsk (1982), 28 p. (Preprint No. 25, Institute of Mathematics SD of AS of USSR)
[24]. A.A. Zhensikbaev, Monosplines of minimal norm and the best quadrature formulas, Uspekhi Mat. Nauk. 1981, 36, 107--159.

CHIZIQLI TENGLAMALAR SISTEMASINING UMUMIY YECHIMLARI VA ULARNING MAVJUDLIK SHARTLARI

D.R. Xamdamova

Andijon davlat texnika instituti
Mas'ul muallif, e-mail: dxamdamova49@gmail.com
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada chiziqli tenglamalar sistemasining umumiy yechimlari va ularning mavjudlik shartlari tahlil qilinadi. Tadqiqotda Kroneker–Kapelli teoremasi, matritsalar rangi va Gauss eliminatsiya usuli asosiy nazariy vositalar sifatida qo'llanilgan. Yechimlar fazosining affine tuzilishi va erkin o'zgaruvchilar soni o'rtasidagi bog'liqlik batafsil o'rganilgan. Tadqiqot natijalari nafaqat algebraik, balki geometrik nuqtai nazardan ham yechimlarning tuzilishini aniqlashga imkon beradi.*

Kalit so'zlar: *Chiziqli tenglamalar, umumiy yechim, Kroneker–Kapelli teoremasi, matritsa rangi, Gauss eliminatsiya, affine fazo, erkin o'zgaruvchilar, chiziqli mustaqillik, kengaytirilgan matritsa, xususiy yechim, homogeniya yechimlari, fazoviy tuzilma.*

1. Kirish. Chiziqli tenglamalar sistemalari zamonaviy matematik modellashtirishning asosiy konstruktiv elementi hisoblanib, ko'p o'lchamli jarayonlarning miqdoriy tavsifini berishda universal vosita sifatida xizmat qiladi. Mexanika, konstruktsion muhandislik, energetika, avtomatika, iqtisodiyot va axborot texnologiyalari kabi sohalarda murakkab obyektlar holati ko'pincha bir nechta o'zgaruvchilar o'rtasidagi chiziqli bog'lanishlar orqali ifodalanadi. Bunday sistemalarni tahlil qilish jarayonida nafaqat alohida yechimni topish, balki barcha mumkin bo'lgan yechimlar to'plamining tuzilishini aniqlash ham muhim ilmiy masala sifatida qaraladi. Shu sababli chiziqli tenglamalar sistemasining umumiy yechimini aniqlash nazariy va amaliy jihatdan katta ahamiyat kasb etadi.

Chiziqli sistemalarning yechimga ega bo'lishi yoki ega bo'lmasligi masalasi ularning algebraik tuzilmasi bilan bevosita bog'liq bo'lib, bu jarayonda koeffitsientlar matritsasining xossalari hal qiluvchi rol o'ynaydi. Xususan, matritsaning rangi, chiziqli mustaqillik, bazis va o'lcham tushunchalari yechimlarning mavjudlik shartlarini aniqlashda fundamental nazariy asos bo'lib xizmat qiladi. Ushbu tushunchalar orqali tenglamalar sistemasining mos yoki mos kelmasligini, yechimlarning yagona yoki cheksiz ko'p bo'lishini qat'iy matematik mezonlar asosida

belgilash mumkin. Bu esa chiziqli algebra nazariyasining mantiqiy yaxlitligini va uning amaliy ahamiyatini yanada oshiradi.

Zamonaviy ilmiy adabiyotlarda chiziqli tenglamalar sistemasining umumiy yechimi ko‘pincha chiziqli fazolar nazariyasi nuqtai nazaridan talqin qilinadi. Bunda yechimlar to‘plami geometrik jihatdan affine fazo sifatida qaralib, uning o‘lchami erkin o‘zgaruvchilar soni bilan aniqlanadi. Ayniqsa, bir jinsli va bir jinsli bo‘lmagan sistemalar o‘rtasidagi bog‘lanish, xususiy yechim va gomogen yechimlar fazosining yig‘indisi sifatida umumiy yechimni ifodalash yondashuvi muhim nazariy natijalarga olib keladi. Ushbu qarashlar chiziqli sistemalarning ichki strukturasini chuqurroq anglash imkonini beradi.

Mazkur maqolada chiziqli tenglamalar sistemasining umumiy yechimlari va ularning mavjudlik shartlari kompleks yondashuv asosida tadqiq etiladi. Tadqiqot davomida Kroneker–Kapelli teoremasi, matritsalar rangi va Gauss eliminatsiya usuli asosiy nazariy vositalar sifatida qo‘llaniladi. Maqolaning asosiy maqsadi chiziqli sistemalarning yechimlar tuzilishini qat’iy matematik asosda tahlil qilish, ularning algebraik va geometrik talqinlarini uyg‘un holda yoritish hamda ushbu nazariy natijalarning amaliy masalalardagi ahamiyatini ochib berishdan iborat.

2. Metod va materiallar. Mazkur tadqiqot chiziqli tenglamalar sistemalarini umumiy ko‘rinishda tahlil qilishga qaratilgan bo‘lib, asosiy e’tibor yechimlarning mavjudligi, soni va strukturaviy xususiyatlarini aniqlashga qaratildi. Tadqiqot doirasida noma’lumlar soni tenglamalar sonidan kichik, teng yoki katta bo‘lgan sistemalar alohida sinflarga ajratilib, har bir holat uchun yechimlarning algebraik xossalari umumiylashtirildi. Barcha tahlillar real sonlar maydonida olib borildi, biroq natijalarning universalligini ta’minlash maqsadida kompleks sonlar maydoniga tatbiq etish imkoniyati ham nazariy jihatdan asoslab beril di.

Tadqiqot metodologiyasining markazida chiziqli fazolar nazariyasi turib, bunda vektorlar fazosi, ostfazolar, bazis va o‘lcham tushunchalari asosiy nazariy vositalar sifatida qo‘llanildi. Koeffitsientlar matritsasining ustun va satr fazolari o‘rtasidagi bog‘liqlik, ularning o‘lchamlarining tengligi va ushbu o‘lchamlarning sistemaning yechimga ega bo‘lishiga ta’siri chuqur tahlil qilindi. Ayniqsa, rang tushunchasining invariantligi va uning elementar o‘zgartirishlarga nisbatan saqlanish xossasi metodik asos sifatida keng qo‘llanildi.

Chiziqli tenglamalar sistemasining mos yoki mos kelmasligini aniqlashda kengaytirilgan matritsa konsepsiyasi asosiy analitik vosita bo‘lib xizmat qildi. Ushbu yondashuv yordamida erkin hadlar vektorining koeffitsientlar ustunlari bilan chiziqli kombinatsiya orqali ifodalanish imkoniyati tekshirildi. Natijada Kroneker–Kapelli teoremasi faqat formallik sifatida emas, balki sistemaning ichki algebraik strukturasini ochib beruvchi nazariy mexanizm sifatida talqin qilindi.

Hisoblash jarayonida Gauss eliminatsiya usuli bilan bir qatorda, keltirilgan pog‘onali ko‘rinishga keltirish (Gauss–Jordan) algoritmidan ham foydalanildi. Bu yondashuv asosiy va erkin o‘zgaruvchilarni aniqlashni soddalashtirib, umumiy yechimni parametrlar orqali ifodalash imkonini berdi. Shu bilan birga, algoritmik murakkablik va hisoblash barqarorligi masalalari ham metodik jihatdan ko‘rib chiqilib, katta o‘lchamli sistemalar uchun ushbu usullarning qo‘llanish chegaralari muhokama qilindi.

Tadqiqotda bir jinsli va bir jinsli bo‘lmagan chiziqli sistemalar o‘rtasidagi strukturaviy bog‘liqlik alohida metodik yo‘nalish sifatida yoritildi. Bir jinsli sistemaning yechimlar fazosi chiziqli ostfazoni tashkil etishi, bir jinsli bo‘lmagan sistemaning yechimlari esa ushbu ostfazoga parallel bo‘lgan affine fazo ko‘rinishida ifodalanishi geometrik va algebraik nuqtai nazardan asoslab berildi. Ushbu yondashuv umumiy yechimning fazoviy talqinini yanada aniqroq tushuntirish imkonini berdi.

Qo‘shimcha metod sifatida yechimlar fazosining o‘lchamini aniqlashda o‘lcham teoremasi va erkin o‘zgaruvchilar soni o‘rtasidagi bog‘liqlikdan foydalanildi. Bu esa sistemaning erkinlik darajasini qat’iy matematik asosda ifodalashga imkon berdi. Tadqiqot natijalarini umumlashtirish jarayonida turli tipdagi sistemalar uchun olingan xulosalar solishtirilib, ularning amaliy masalalardagi qo‘llanilish imkoniyatlari tahlil qilindi.

3. Natijalar. O‘tkazilgan nazariy tahlillar natijasida chiziqli tenglamalar sistemasining yechimlari mavjudligi, soni va strukturaviy xususiyatlari koeffitsientlar matritsasining algebraik parametrlariga

qat’iy bog‘liqligi aniqlandi. Xususan, matritsaning rangi sistemaning asosiy invariantlaridan biri bo‘lib, u elementar satr va ustun o‘zgartirishlariga nisbatan saqlanadi hamda sistemaning yechimga ega bo‘lish yoki bo‘lmaslik holatini belgilovchi fundamental mezon sifatida namoyon bo‘ladi. Tadqiqot natijalari Kroneker–Kapelli teoremasining umumiy holda qo‘llanish imkoniyatini yana bir bor tasdiqladi.

Natijalar shuni ko‘rsatdiki, agar koeffitsientlar matritsasi va kengaytirilgan matritsa ranglari teng bo‘lsa, sistema mos keluvchi bo‘lib, uning yechimlar to‘plami bo‘sh bo‘lmagan affine fazoni tashkil etadi. Bunda yechimlar fazosining o‘lchami noma’lumlar soni nnn va matritsa rangi **r** o‘rtasidagi farq **n − r** bilan aniqlanadi. Bu parametr erkin o‘zgaruvchilar soni sifatida talqin qilinib, yechimlar fazosining strukturaviy murakkabligini matematik jihatdan tasvirlaydi.

Bir jinsli va bir jinsli bo‘lmagan sistemalarning o‘zaro bog‘liqligi yanada chuqur tahlil qilindi. Tadqiqot natijasida umumiy yechim quyidagi shaklda ifodalanishi aniqlandi:

$$x = x_0 + \sum_{i-1}^{k} \alpha_i v_i$$

bu yerda x_0— xususiy yechim, v_i— bir jinsli sistemaning chiziqli mustaqil yechimlari, α_i— parametrlar, ***k=n-r***. Bu formula yechimlar to‘plamining affine fazo sifatida tuzilishini nazariy jihatdan asoslab beradi va algebraik-geometrik moslikni ta’minlaydi.

Geometrik tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, chiziqli sistemalar tomonidan ifodalangan gipertekisliklarning fazodagi o‘zaro joylashuvi yechimlarning mavjudligi va sonini belgilovchi asosiy omil hisoblanadi. Mos keluvchi sistemalarda ushbu gipertekisliklarning kesishish fazosi mavjud bo‘lib, uning o‘lchami algebraik natijalar bilan to‘liq uyg‘un keladi. Bu esa chiziqli algebra va fazoviy talqin o‘rtasidagi nazariy bog‘liqlikni mustahkamlaydi, shuningdek, yechimlar fazosining affine tabiatini chuqurroq tushuntirishga imkon beradi.

Hisoblash tajribalari natijalari Gauss va Gauss–Jordan eliminatsiya usullaridan olingan natijalar bilan to‘liq mosligini ko‘rsatdi. Pog‘onali ko‘rinishga keltirish jarayonida aniqlangan asosiy va erkin o‘zgaruvchilar strukturalari nazariy xulosalar bilan to‘liq uyg‘un kelib, yechimlar fazosining parametrik tuzilishini aniq ifodaladi.

4. Muhokama. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, chiziqli tenglamalar sistemasining yechimlar fazosi faqat algebraik parametrlar bilan emas, balki sistemaning ichki strukturaviy xususiyatlari bilan ham bevosita bog‘liq. Matritsaning rangi va kengaytirilgan matritsaning rangi o‘rtasidagi farq Kroneker–Kapelli teoremasi nuqtai nazaridan sistemaning yechimga ega bo‘lish yoki bo‘lmasligini qat’iy belgilaydi. Shu bilan birga, erkin o‘zgaruvchilar soni va yechimlar fazosining o‘lchami o‘rtasidagi qat’iy bog‘liqlik yuqori o‘lchamli sistemalarda hisoblash optimallashtirilishini belgilaydi, bu esa algebraik va kompyuter hisoblash yondashuvlarini uyg‘unlashtirishga imkon yaratadi.

Geometrik talqinlar natijalarni chuqurroq anglash imkonini beradi. Mos keluvchi sistemalarda gipertekisliklarning fazodagi kesishishi affine fazo hosil qiladi va uning o‘lchami algebraik hisob-kitoblar bilan to‘liq mos keladi. Bu esa shuni ko‘rsatadiki, bir jinsli va bir jinsli bo‘lmagan sistemalarning yechimlar fazosidagi farqi faqat xususiy yechim va homogeniya orqali ifodalanadigan yechimlar kombinatsiyasi bilan aniqlanadi. Natijada, umumiy yechimning affine fazo sifatida strukturalanishi algebraik va fazoviy nuqtai nazardan yagona konsepsiya sifatida qabul qilinadi.

Shuningdek, tadqiqot davomida yechimlar fazosining barqarorligi va sezgirligi masalasi ham tahlil qilindi. Algoritmik nuqtai nazardan, erkin o‘zgaruvchilar soni yuqori bo‘lgan sistemalarda sonli xatoliklar va hisoblash barqarorligi masalasi dolzarb bo‘lib, maxsus optimallashtirilgan Gauss–Jordan algoritmlari va matritsa transformatsiyalari qo‘llanishi zarur ekanligi aniqlangan. Bu natija nafaqat nazariy jihatdan, balki amaliy muhandislik hisoblarida ham katta ahamiyatga ega, chunki u katta hajmli va siyrak matritsali sistemalarni yechishda hisoblash xarajatini kamaytiradi va aniqlikni oshiradi.

Natijalar shuni ham ko‘rsatadiki, chiziqli tenglamalar sistemasining yechimlar fazosidagi affine tabiatni aniqlash nafaqat algebraik va geometrik yondashuvlarni uyg‘unlashtirishni talab qiladi, balki real muhandislik va ilmiy modellashtirish masalalarida yuqori aniqlikdagi natijalarni olish uchun zaruriy metodik asosni yaratadi. Natijalar shuningdek, olingan konseptlarni katta o‘lchamli, murakkab va ko‘p parametrli sistemalarga tatbiq etish imkoniyatini beradi, bu esa chiziqli algebra, sonli metodlar va muhandislik hisoblarini birlashtiruvchi integratsiyalashgan yondashuvni shakllantiradi.

5. Xulosa. O‘tkazilgan tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, chiziqli tenglamalar sistemasining yechimlari faqat algebraik parametrlar va koeffitsientlar matritsasining xossalari bilan cheklanib qolmaydi, balki sistemaning ichki strukturaviy va fazoviy xususiyatlariga ham bevosita bog‘liq. Kroneker–Kapelli teoremasi orqali sistemaning yechimga ega bo‘lishi yoki mos kelmasligi qat’iy aniqlanib, yechimlar fazosining o‘lchami va erkin o‘zgaruvchilar soni o‘rtasidagi matematik bog‘liqlik tasdiqlandi. Shu bilan birga, yechimlar fazosining affine tuzilishi algebraik va geometrik nuqtai nazardan mos keluvchi yagona konsepsiyani tashkil etadi.

Tadqiqot davomida bir jinsli va bir jinsli bo‘lmagan sistemalar o‘rtasidagi farq, umumiy yechimning xususiy yechim va homogeniya yechimlari kombinatsiyasi orqali ifodalanishi bilan aniqlandi. Bu natija nafaqat nazariy jihatdan, balki amaliy muhandislik masalalarida, xususan, mexanika, elektrodinamika, optimallashtirish va iqtisodiy modellashtirishda yechimlar to‘plamining affine fazo sifatida tahlil qilinishini ta’minlaydi.

Hisoblash tahlillari shuni ko‘rsatdiki, erkin o‘zgaruvchilar soni yuqori bo‘lgan sistemalarda sonli barqarorlik masalalari dolzarb bo‘lib, optimallashtirilgan algoritmik yondashuvlarni qo‘llash zarur. Bu esa katta o‘lchamli va siyrak (sparse) matritsali sistemalarni yechishda aniqlikni oshirish va hisoblash xarajatlarini kamaytirish imkonini beradi. Shu bilan birga, natijalar chiziqli algebra nazariyasi va amaliy hisoblashlar o‘rtasidagi uzviy bog‘liqlikni yana bir bor tasdiqlaydi.

Xulosa sifatida, tadqiqot chiziqli tenglamalar sistemasining umumiy yechimlarini qat’iy matematik asosda tahlil qilish va ularning fazoviy tuzilishini aniqlash imkonini berdi. Olingan natijalar nafaqat nazariy jihatdan muhim, balki yuqori aniqlikdagi sonli modellashtirish, muhandislik tizimlarini optimallashtirish va kompleks ilmiy masalalarni hal qilishda amaliy ahamiyatga ega. Shu bilan birga, tadqiqot metodologiyasi va yondashuvlari katta o‘lchamli va murakkab parametrli sistemalar uchun kengaytirilishi mumkinligi ilmiy jihatdan isbotlandi.

Adabiyotlar

[1]. D. C. Lay, Linear Algebra and Its Applications, 5th Edition, Pearson Education — chiziqli tenglamalar sistemalari, matritsa rangi, yechimlarning mavjudligi va umumiy yechim konsepsiyasini to‘liq yoritadi.

[2]. G. H. Golub & C. F. Van Loan, Matrix Computations, 4th Edition, Johns Hopkins University Press — chiziqli sistemalarni raqamli usullar bilan yechish, Gauss eliminatsiya, matritsa faktorizatsiyalari haqida mukammal hisob.

[3]. S. Lang, Linear Algebra, 3rd Edition, Springer-Verlag — chiziqli algebra nazariyasi va matritsa xossalarini chuqur matematik ko‘rinishda tahlil etadi.

[4]. Rouché–Capelli teoremasi (Kronecker–Capelli theorem) haqida klassik ta’rif va yechimlar soni sharti ilmiy manba: Rouché–Capelli theorem, Wikipedia — sistemaning rangi orqali yechim mavjudligini belgilaydi.

[5]. “Existence and Uniqueness of Solutions”, LibreTexts: Mathematics — chiziqli tenglamalar sistemasida yechimlarning mavjudligi va biriktirilgan matritsaning pog‘onali ko‘rinishi asosida yechim tahlili.

[6]. M. K. A. Kaabar, A First Course in Linear Algebra, arXiv preprint — chiziqli tenglamalar, yechimlar fazosi va nullspace/range tushunchalari bo‘yicha kirish kursi.

[7]. M. Iskandarova & Z. Turayev, Kroneker–Kapelli teoremasining isbotini o‘rganish — Kroneker–Kapelli teoremasi haqidagi ilmiy maqola (O‘zbekiston ilmiy jurnali).

УДК 677.023.233

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ НАМОТКИ НИТЕЙ НАТУРАЛЬНОГО ШЁЛКА НА БЕСФЛАНЦЕВОЙ МОТАЛЬНОЙ ПАКОВКЕ

Г.Н. Валиев

Ферганский государственный технический университет
e-mail: gnvaliev@mail.ru, ORCID - 0000-0002-7993-8469
(Получена 16.04.2026 г.)

Аннотация. *В работе проведены исследования устойчивости намотки мотальной паковки от кинематических характеристик мотальной головки и структуры намотки бобинажно-мотальной машины, определены некоторые пути её повышения. Выявлено, что по мере формирования паковки происходит перераспределение сил в намотке, чем нарушается равновесие сил и устойчивость намотки. Для определенной намотки с определенными её параметрами существует соответствующий именно этой намотке порог устойчивости, за которым происходит нарушение равновесности и устойчивости намотки. При более ориентированном расположении витка намотки в осевом направлении паковки, реакция деформации нити в осевом направлении паковки, при прочих равных условиях, увеличивается, и тем самым увеличивается порог устойчивости и повышается устойчивость намотки. Разработаны пути и рациональные варианты модернизации мотальной головки бобинажной машины.*

Ключевые слова: *технология, натуральный шёлк, перематывание нити, мотальная паковка, бобина, структура намотки, давление намотки, параметры намотки.*

Abstract. *The work carried out investigating the stability of the winding of winding packing off the kinematic characteristics winding head and structure of winding bobbin winding machine, identified some ways to enhance it. Revealed, that as the formation of packing a redistribution of forces in the winding, than disturbed the balance of power and stability of the winding. For winding with some of its parameters there is corresponding this winding stability threshold, per which there is a violation of equilibrium and stability of the winding. When oriented a location coil winding in the axial direction of packing, reaction deformation yarn in the axial direction of packing, ceteris paribus, increases, and thereby increasing the stability threshold and increased winding resistance. Developed ways and rational modernization options winding head bobbin machine.*

Keywords: *technology, natural silk, rewinding thread, winding packaging, bobbin, structure winding, pressure winding, parameters winding.*

***Annotatsiya*:** *Mazkur ishda qayta o'rash o'ramining o'rama turg'unligi bobina o'rash mashinasining o'rash kalligini kinematic ko'rsatkichlari va o'rama tuzilishi bo'yicha tadqiq qilingan, uni oshirishni ayrim yo'llari aniqlangan. Ma'lum bo'ldiki, o'ram tobora shakllanib borishida o'ramadagi kuchlar qayta taqsimlanadi, bu bilan kuchlar muvozanati va o'rama turg'unligi buziladi. Ma'lum parametrlarga ega bo'lgan ma'lum o'rama uchun aynan shu o'ramaga xos bo'lgan turg'unlik chegarasi mavjud bo'lib, undan so'ng o'rama muvozanati va turg'unligi buzilishi sodir etiladi. O'rama cho'lg'ami o'rama o'qi yo'nalishiga ko'proq mos kelib joylashganida, ip deformatsiyasini reaktsiyasi, boshqa sharoitlar bir xilligida, o'ram o'qi yo'nalishida oshadi, va shuning bilan turg'unlik chegarasi yuqorilaydi va o'rama turg'unligi oshadi. Bobina o'rash mashinasining o'rash kalligini modernizatsiyalashtirish yo'llari va afzal variantlari ishlab chiqildi.*

Kalit so'zlar*: texnologiya, tabiiy ipak, ipni qayta o'rash, o'rash o'ramasii, bobina, o'ram tuzilishi, o'ram bosimi, o'ram parametrlari.*

Введение. В технологии переработки текстильных материалов актуальным является совершенствование процесса перематывания, который имеет большое значение с точки зрения эффективности дальнейших технологических процессов производства. Обеспечение требований, вытекающих из цели перематывания, в полном объеме определяется особенностями условий процесса перематывания, соблюдением необходимых технологических параметров, работой отдельных механизмов и узлов мотальной машины, а также совершенствованием самого технологического процесса и мотального оборудования.

Устойчивость и равновесность намотки во многом определяются структурой намотки, натяжением нити при перематывании, трением нити о поверхность наматывания, формой

паковки, родом волокна, устойчивостью технологических параметров при перематывании и другими факторами, оказывающими влияние на условия равновесности намотки в целом.

Целью разработки является улучшение условий формирования бесфланцевой мотальной паковки и повышение эффективности процесса перематывания путем разработки способов и рациональных вариантов модернизации мотальной головки бобинажной машины, при котором увеличивается порог устойчивости и повышается устойчивость намотки.

Изложение основного материала статьи. В технологии переработки нитей натурального шелка процесс перематывания имеет большое значение в эффективности дальнейших технологических процессов производства. Процесс размотки мотков шёлковых нитей в настоящее время осуществляется на различных типах катушечно мотальных машин параллельной намотки и бобинажно-перемоточных машинах крестовой намотки. Бобинажно-мотальными машинами для переработки натуральных шёлковых нитей с мотков на трехконусные бобины являются машины БП-260-НШО, БП-260-НШС и другие, внедрение которых в промышленность способствовало росту эффективности производства.

Одним из недостатков бобинажно-мотальных машин при размотке мотков шёлковых нитей является низкое качество формируемых паковок из-за дефекта выдавливание слоёв намотки, которое сопровождается большими дополнительными отходами ценного сырья и высокими трудозатратами в связи с повторной переработкой дефектных бобин [1].

Следует отметить, что, как показали наши наблюдения, нарушение равновесности и устойчивости намотки, смещение и выдавливание её слоёв начинается после намотки некоторого определённого слоя намотки и затем охватывает и нижележащие её слои, причем, как показал анализ, это происходит только со стороны малого торца в осевом направлении паковки [2].

Это объясняется тем, что по мере формирования мотальной паковки с увеличением толщины слоя намотки нарастает давление верхнего слоя намотки на нижележащий слой [3], что вызывает перераспределение сил в намотке. Как отмечалось выше, устойчивость намотки наряду с другими факторами во многом определяется трением нити о поверхность наматывания. В начальном этапе формирования паковки, действующая на намотку возмущающая сила небольшая и она уравновешивается силой трения о поверхность наматывания, в результате чего смещения намотки не происходит и она сохраняет своё устойчивое состояние. Далее, по мере формирования паковки и нарастания давления слоя намотки, действующая на намотку возмущающая сила увеличивается и при этом, пока возмущающая сила уравновешивается силой трения, намотка остаётся в покое, и при дальнейшем её увеличении, в определенный критический момент эта возмущающая сила выводит намотку из равновесного состояния и приводит к движению и смещению слоя намотки. Естественно, смещение в сторону увеличения диаметра намотки невозможно, и при этом смещение происходит в сторону малого торца бобины. Следовательно, существует какой-то предел, предельный порог устойчивости, за которым устойчивость отдельного витка и слоя намотки оказывается недостаточной к оказанию сопротивления действующим на нить возмущающим силам, возникающим при перераспределении сил в намотке по мере формирования паковки, и происходит нарушение равновесности и устойчивости намотки, смещение и выдавливание её слоёв.

Таким образом, по мере формирования паковки, при накладывании верхнего слоя намотки на нижележащий слой в динамике процесса формирования паковки, происходит изменение силового взаимодействия нити с окружающей намоткой и перераспределение сил в намотке, и при определённых условиях нарушается равновесие сил в намотке, и при этом устойчивость отдельного витка намотки, с которой она намотана на паковку, а следовательно и слоя намотки, оказывается недостаточной к оказанию сопротивления действующим на нить возмущающим силам, возникающим при перераспределении сил, что приводит к нарушению устойчивости намотки, дополнительной деформации нити в намотке, смещению витка и нарушению заданной первоначальной структуры намотки, смещению и выдавливанию её слоёв со всеми отсюда вытекающими последствиями, отмеченными выше.

Из курса теории упругости [4] и текстильного материаловедения [5] известно, что зависимость между деформацией и напряжением апроксимируется законом Гука:

$$\sigma = \mathrm{E}\varepsilon, \tag{1}$$

где: E - модуль упругости, ε - относительная деформация.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L_0}, \tag{2}$$

где: Δl - абсолютное удлинение (деформация), L_0 - начальная длина (образца).

Как известно, модуль продольной упругости включает понятие жесткости материала [5]. Подставляя в выражение (1) значение напряжения

$$\sigma = \frac{P}{S}, \tag{3}$$

где: P – усилие, S – площадь поперечного сечения образца,
после преобразования получено [5]:

$$\mathrm{E} = \frac{P}{S\varepsilon}. \tag{4}$$

Из выражения (4) имеем:

$$P = \mathrm{E}S\varepsilon, \tag{5}$$

где: ES – жесткость материала, выражая её через λ имеем:

$$P = \lambda\varepsilon. \tag{6}$$

Таким образом, усилие пропорцинольно жесткости и деформации материала.

Большинство текстильных материалов не подчиняется закону Гука. Для расчетов удобнее пользоваться предложенным профессором В.А.Гордеевым коэффициентом жесткости растяжения [6], а не модулем упругости, так как вычисление последнего связано со сложной формой и резко изменяющейся площадью сечения нити. Как известно, под коэффициентом жесткости понимают силу, которую необходимо приложить к деформируемому образцу определенной длины, чтобы вызвать деформацию, равную единице длины. Практически коэффициент жесткости определяют как частное от деления деформирующей силы на величину деформации, вызываемой этой силой. Коэффициент жесткости устанавливает пропорциональность между величиной деформации растяжения материала и возникающим при этом натяжением [6].

Рассмотрим схему расположения некоторого участка АВ элементарного витка нити длиной ℓ (рис.1). Так как нить представляет собой упругий элемент то натяжение нити, с которой она перематывалась, сохранится также и после наматывания её на паковку, при этом нить при перематывании получает некоторую первоначальную деформацию. Кроме того, под действием силы натяжения нити возникает давление витка намотки на нижележащий слой, направленное к оси паковки [3]. Пусть один конец витка (например А) удерживается давлением вышележащего слоя намотки (для упрощения, давление слоя намотки на схеме не показано), а другой конец витка (например, В) перемещается действием возмущающей силы, образуемой в результате перераспределения сил в намотке при формировании паковки, и получает дополнительную деформацию $\Delta\ell$. При этом, со стороны нити от дополнительной деформации возникает реакция деформации ΔT:

$$\Delta T = \Delta\ell \cdot C, \tag{7}$$

где: C - коэффициент жесткости при растяжении.

Тогда, из теоремы синусов определим проекцию реакции деформации на ось ОХ (в осевом направлении) паковки:

$$\Delta T_x = \sin\alpha \cdot \Delta T. \quad (8)$$

Из полученного выражения (8) видно, что с увеличением угла наклона витка намотки ориентированно к оси паковки, то есть при более ориентированном расположении витка намотки в осевом направлении паковки, реакция деформации нити в осевом направлении паковки при прочих равных условиях увеличивается, и чтобы привести намотку в движение потребуется большая сила и тем самым повышается сопротивляемость витка намотки к силовым воздействиям, образуемым при формировании паковки, увеличивается порог устойчивости и повышается устойчивость намотки.

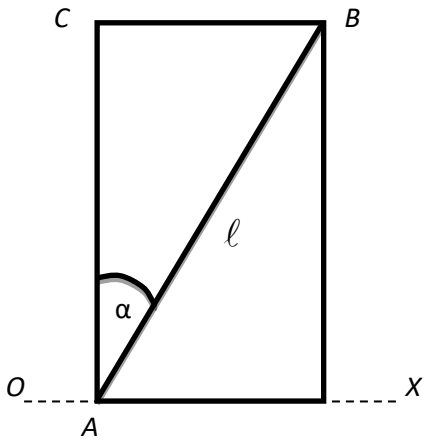


Рис. 1. Схема элементарного участка витка намотки.

Сущность нового технического решения заключается в том, что повышение сопротивляемости витка намотки к силовым воздействиям, образуемым при формировании паковки, и повышение устойчивости намотки, достигается путём использования упругой энергии самой нити более ориентированным расположением витка намотки в осевом направлении паковки.

Как видно из рис. 1, определенное расположение витка намотки зависит от переносной (участок СВ) и окружной (участок АС) скорости намотки нити. При этом, изменения угла наклона витка намотки и более ориентированного его расположения в осевом направлении паковки можно достичь либо изменением (увеличением) переносной скорости намотки, либо изменением (уменьшением) окружной скорости намотки, либо одновременным изменением переносной и окружной скорости намотки нити.

Как видно из рис. 1, угол наклона витка намотки можно определить следующей зависимостью:

$$\alpha = arctg\frac{V_П}{V_O}, \quad (9)$$

где: $V_П$ - переносная скорость нити для соответствующей точки наматывания; V_O - окружная скорость наматывания.

Переносная и окружная скорости наматывания нити определяются следующими зависимостями:

$$V_П = 2Hn_э; \quad (10)$$

$$V_O = \pi d_H n_B; \quad (11)$$

где H - высота намотки; d_H - диаметр намотки; n_B - частота вращения веретена; $n_э$ - частота вращения эксцентрика механизма раскладки.

Выражая частоту вращения эксцентрика через частоту вращения веретена, имеем:

$$V_П = 2Hn_B i, \quad (12)$$

где i - передаточное отношение от веретена к эксцентрику.

Подставляя (11) и (12) в (9), после преобразований, получаем:

$$\alpha = arctg\frac{2Hi}{\pi d_H}. \quad (13)$$

Из кинематической схемы мотальной головки машины БП-260-НШО [7], передаточное отношение от веретена к эксцентрику механизма раскладки:

$$i = \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2 \cdot Z_4}, \tag{14}$$

где: Z_1- количество зубьев шестерни вала бобинодержателя; Z_2- количество зубьев шестерни вала мотальной головки, связанной с шестерней вала бобинодержателя; Z_3- количество зубьев шестерни вала мотальной головки, связанной с шестерней эксцентрикового вала; Z_4 - количество зубьев шестерни эксцентрикового вала.

Конструктивно нерационально изменение расстояний между валами мотальной головки при изменении числа зубьев шестерен. Поэтому изменение числа зубьев шестерен мотальной головки целесообразно проводить при неизменных межосевых расстояниях [8]:

$$A = \frac{m(Z_1' + Z_2')}{2} = \frac{m(Z_1'' + Z_2'')}{2}, \tag{15}$$

где: m – модуль зубчатого зацепления; Z_1' и Z_2' – значения изменяемых чисел зубьев шестерён; Z_1'' и Z_2'' – значения изменённых чисел зубьев шестерён.

Проведём расчёты при высоте намотки Н=150мм и диаметре намотки 56мм.

Согласно техническому описанию и инструкции по эксплуатации бобинажно-перемоточной машины БП-260-НШО, на серийно выпускаемых машинах числа зубьев шестерён равны: Z_1=26, Z_2=30, Z_3=22 и Z_4=113 [7]. В соответствии с вышеприведёнными формулами получаем: $i = 0{,}169$, $\alpha = 16{,}08$ градусов; $Sin\alpha = 0{,}277$; реакция деформации в осевом направлении паковки $\Delta T_x = 0{,}277 \cdot \Delta T$.

В таблице приведена зависимость угла наклона витка намотки и реакции деформации в осевом направлении паковки от кинематических характеристик мотальной головки бобинажно-мотальной машины БП-260-НШО.

Таблица.

Угол наклона витка намотки и реакция деформации в осевом направлении паковки на бобинажно-мотальной машине БП-260-НШО

Варианты	Число зубьев шестерен мотальной головки				Передаточное отношение, i	Угол наклона α витка намотки	$Sin\alpha$	Реакция деформации в осевом направлении, ΔT_x
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4				
Серийная машина								
0	26	30	22	113	0,169	16,08	0,277	$0{,}277\,\Delta T$
Модернизированная машина								
1	30	26	22	113	0,225	23,32	0,396	$0{,}396\,\Delta T$
2	26	30	30	105	0,247	25,38	0,429	$0{,}429\,\Delta T$
3	34	22	22	113	0,301	30,19	0,503	$0{,}503\,\Delta T$
4	30	26	29	106	0,315	31,38	0,521	$0{,}521\,\Delta T$
5	30	26	30	105	0,330	32,63	0,539	$0{,}539\,\Delta T$

Исходя из вышеприведённых выражений и полученных расчётов, приведенных в таблице, можно обобщить следующее условие отношения шестерён мотальной головки:

$$0{,}225 \le \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2 \cdot Z_4} \le 0{,}330. \tag{16}$$

Прирост реакции деформации в осевом направлении паковки при модернизации оборудования по вариантам 1 и 2 относительно серийного составляет около 50 % (соответственно 43% и 55%), а по вариантам 3,4 и 5 – почти в два раза. Учитывая небольшую разницу реакции деформации в осевом направлении паковки по вариантам 4 и 5, предпочтительно шестерни выполнить таким образом, что выполняется условие:

$$0{,}301 \le \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2 \cdot Z_4} \le 0{,}315. \qquad (17)$$

Анализ приведенных в таблице результатов показывает, что с увеличением передаточного отношения от веретена к эксцентрику механизма раскладки мотальной головки, угол наклона витка намотки ориентированно к оси паковки увеличивается, то есть витки намотки располагаются более ориентированно в осевом направлении паковки, и при этом реакция деформации нити в осевом направлении паковки, при прочих равных условиях, также увеличивается, и тем самым, как описывалось выше, увеличивается порог устойчивости и повышается устойчивость намотки..

Заключение. Таким образом, по результатам работы можно сделать следующие выводы:

- проведены исследования устойчивости намотки мотальной паковки от кинематических характеристик мотальной головки и структуры намотки бобинажно-мотальной машины, определены некоторые пути её повышения;

- при формировании мотальной паковки нитей натурального шёлка на бобинажно-мотальных машинах, нарушение равновесности и устойчивости намотки, смещение и выдавливание её слоёв начинается после намотки некоторого определённого слоя намотки и затем охватывает и нижележащие её слои, причём, это происходит только со стороны малого торца в осевом направлении паковки;

- выявлено, что по мере формирования паковки, при накладывании верхнего слоя намотки на нижележащий слой в динамике процесса формирования паковки, происходит изменение силового взаимодействия нити с окружающей намоткой и перераспределение сил в намотке, и при определенных условиях нарушается равновесие сил в намотке, и при этом устойчивость отдельного витка намотки, с которой она намотана на паковку, а следовательно и слоя намотки, оказывается недостаточной к оказанию сопротивления действующим на нить возмущающим силам, возникающим при перераспределении сил, что приводит к нарушению устойчивости намотки, дополнительной деформации нити в намотке, смещению витка и нарушению заданной первоначальной структуры намотки, смещению и выдавливанию её слоёв.

- для определенной намотки с определенными её параметрами существует соответствующий именно этой намотке порог устойчивости, за которым устойчивость отдельного витка и слоя намотки оказывается недостаточной к оказанию сопротивления действующим на неё возмущающим силам, возникающим при перераспределении сил по мере формирования паковки, происходит нарушение равновесности и устойчивости намотки, смещение и выдавливание её слоёв.

- установлено, что с увеличением угла наклона витка намотки ориентированно к оси паковки, то есть при более ориентированном расположении витка намотки в осевом направлении паковки, реакция деформации нити в осевом направлении паковки при прочих равных условиях увеличивается, и тем самым повышается сопротивляемость витка намотки к силовым воздействиям, образуемым при формировании паковки, увеличивается порог устойчивости и повышается устойчивость намотки.

- сущность нового технического решения заключается в том, что повышение сопротивляемости витка намотки к силовым воздействиям, образуемым при формировании паковки, и повышение устойчивости намотки, достигается путём использования упругой энергии самой нити более ориентированным расположением витка намотки в осевом направлении паковки.

- разработаны пути и рациональные варианты модернизации мотальной головки бобинажной машины, при котором увеличивается порог устойчивости и повышается устойчивость намотки.

- с увеличением передаточного отношения от веретена к эксцентрику механизма раскладки мотальной головки, витки намотки располагаются более ориентированно в осевом направлении паковки, и при этом реакция деформации нити в осевом направлении паковки, при прочих равных условиях, также увеличивается, и тем самым, увеличивается порог устойчивости и повышается устойчивость намотки.

- полученные результаты работы можно использовать при решении различных практических задач, анализе и оптимизации структуры намотки нити на паковках различной формы, а также при разработке и проектировании новых прецизионных мотальных машин и механизмов наматывания нити.

Список литературы

[1]. Алимбаев Э.Ш., Валиев Г.Н., М.Темиров. Исследование условий размотки мотков на бобинажных машинах. Шелк, 1986 г., № 5, с.23-24.

[2]. Валиев Г.Н., Алимбаев Э.Ш. Некоторые причины образования дефектов намотки и пути их устранения при размотке мотков на бобинажных машинах. В кн. Научные основы решения актуальных проблем развития шелковой отрасли. Сб. научн. трудов УзНИИ шелководства. Ташкент.: Фан, 2004 г., стр. 269-275.

[3]. Валиев Г.Н. Аналитическая зависимость распределения давления крестовой намотки на её основание вдоль оси паковки. Тезисы Республиканской научно-технической конференции «Актуальные проблемы инновационных технологий в условиях интеграций науки, образования и производства». Часть-1, Ташкент, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, 2013 г., с.159-163.

[4]. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. – М.: Высшая школа, 1968 – 512с.

[5]. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н. Текстильное материаловедение. Часть II. – М.: Легкая индустрия, 1964 – 379 с.

[6]. Гордеев В.А., Волков П.В. Ткачество. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 488 с.

[7]. Машина бобинажно-перемоточная БП-260-НШО // Техническое описание и инструкция по эксплуатации БП-260-НШО ТО. – 1983 г. 47 с., с. 35-36.

[8]. Иосилевич Г.Б., Лебедев П.А., Стреляев В.С. Прикладная механика. – М.: Машиностроение, 1985 – 576 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНО-СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ НА СИЛУ РЕЗАНИЯ И ИЗНОС ИНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕССЕ ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Х.Б. Хайдаров, А.С. Ахунжонов

Андижанский государственный технический институт
E-mail: xaydarovxusanboy733@mail.com
E-mail: anvarjon1960@gmail.com

(Получена 16.04.2026 г.)

Аннотация: *В процессе обработки металлов введение различных добавок в системы охлаждения и смазки способствует повышению стабильности и эффективности обработки. Различные виды добавок позволяют снизить трение, уменьшить износ контактных поверхностей, а также улучшить отвод тепла из зоны резания. С развитием нанотехнологий в промышленности уделяется большое внимание исследованию и применению наночастиц, нанодобавок и наножидкостей. В данной работе изучается влияние использования охлаждающе-смазочных жидкостей на основе наночастиц. Проводится сравнительный анализ эффективности традиционных охлаждающе-смазочных жидкостей и наножидкостей в процессе резания.*

Ключевые слова: *Обработка металлов, Охлаждение и смазка, Добавки, Трение, Износ, Зона резания, Теплоотвод, Нанотехнология, Наночастицы, Нанодобавки, Наножидкости, Стабильность, Процесс резания.*

Annotatsiya: *Metallarga ishlov berish jarayonida sovitish va moylash tizimlariga turli qo‘shimchalar kiritilishi ishlov berishning barqarorligi va samaradorligini oshirishga xizmat qiladi. Har xil turdagi qo‘shimchalar ishqalanishni kamaytirish, kontakt yuzalarining yeyilishini pasaytirish hamda kesish zonasidan issiqlikni samaraliroq olib chiqishga yordam beradi. Nanotexnologiyalar rivojlanishi bilan sanoatda nanozarrachalar, nanoqo‘shimchalar va nanosuyuqliklardan foydalanish va ularni tadqiq etishga katta e’tibor qaratilmoqda. Ushbu ishda nanozarrachalarga asoslangan sovitish va moylash suyuqliklaridan foydalanishning ta’siri o‘rganiladi. Oddiy sovitish-moylash suyuqliklari bilan nanoasosli suyuqliklarning kesish jarayonidagi samaradorligi o‘zaro solishtiriladi.*

Kalit so‘zlar: *Metallarga ishlov berish, sovitish va moylash, qo‘shimchalar, ishqalanish, yeyilish, kesish zonasi, issiqlik uzatish, nanotexnologiya, nanozarrachalar, nanoqo‘shimchalar, jarayon samaradorligi, barqarorlik, tribologiya.*

Abstract: *In metal machining processes, the introduction of various additives into cooling and lubrication systems contributes to improving process stability and efficiency. Different types of additives help reduce friction, decrease wear of contact surfaces, and enhance heat removal from the cutting zone. With the advancement of nanotechnology, significant attention has been given to the study and application of nanoparticles, nano-additives, and nanofluids in industry. This study investigates the effects of using nanoparticle-based cooling and lubrication fluids. A comparative analysis of the performance of conventional cooling and lubrication fluids and nanofluids in the cutting process is carried out.*

Key words: *Metal machining, Cooling and lubrication, Additives, Friction, Wear, Cutting zone, Heat dissipation, Nanotechnology, Nanoparticles, Nano-additives, Nanofluids, Process efficiency, Stability, Tribology, Cutting process.*

Введение. Нанотехнологии сегодня являются одним из наиболее динамично развивающихся направлений науки и промышленности, и их прогресс не прекращается. Продукты и технологии, создаваемые в этой области, находят широкое применение во многих отраслях: электронике, медицине, авиационно-космических системах, автомобилестроении, метрологии, энергетике, сельском хозяйстве и текстильной промышленности. В частности, наножидкости, являющиеся одним из важных достижений нанотехнологий, всё активнее применяются в механике и машиностроении [1].

Наножидкости представляют собой сложную среду, получаемую путём введения мелкодисперсных частиц в состав базовой жидкости, что существенно изменяет её физико-химические свойства. Такие жидкости применяются с целью повышения эффективности производственных процессов и технологических систем [2]. Как правило, они обладают рядом полезных характеристик: повышают вязкость, снижают прямой контакт между движущимися поверхностями, замедляют процессы окисления и улучшают теплообмен.

Вместе с тем расширение применения наножидкостей порождает и определённые трудности. В частности, процесс получения и приготовления наночастиц является технологически сложным и требует высокой точности и специализированного оборудования. Получение наножидкостей, как правило, осуществляется в два этапа: сначала синтезируются частицы наноразмерного масштаба, затем они равномерно диспергируются в базовой жидкости с помощью специальных механических или ультразвуковых методов. Сложность этих процессов увеличивает их общую себестоимость.

Помимо этого, важной проблемой остаётся обеспечение стабильного состояния наночастиц в жидкости, то есть их равномерного распределения без образования осадка. Не остаются в стороне и экологические аспекты — существуют определённые ограничения, связанные с утилизацией, переработкой наножидкостей и их воздействием на окружающую среду.

Методика Наножидкости в механической обработке.

Применение наножидкостей в процессах механической обработки осуществляется преимущественно по двум направлениям. Во-первых, они используются в системах смазки станков, обеспечивая эффективную работу подвижных элементов с высокими механическими и тепловыми нагрузками — направляющих, подшипников главного шпинделя и других узлов. Во-вторых, они служат компонентом смазочно-охлаждающей среды в процессах резания, снижая трение между режущим инструментом и обрабатываемой

деталью, а также способствуя более быстрому отводу тепла, выделяемого в процессе резания [3].

Эффективность, достигаемая в зоне резания — то есть в трибологической паре «инструмент — материал» — во многом является результатом физических и механических процессов, связанных с наночастицами, присутствующими в составе базовой жидкости. Некоторые наночастицы благодаря своей форме приближают скользящее трение к качению, что снижает энергетические потери. Одновременно они оказывают на обрабатываемую поверхность эффекты «нано-полирования» и «нано-деформации», в результате чего износ поверхностей режущего инструмента уменьшается.

Наночастицы способны формировать защитный слой на контактных поверхностях или образовывать сверхтонкую плёнку внутри базовой жидкости. Эти слои ограничивают прямой контакт между поверхностями и существенно снижают адгезионный и абразивный износ. Если наночастицы заполняют микронеровности обрабатываемой поверхности, площадь контакта увеличивается, а локальное давление снижается. Помимо этого, частицы отдельных видов уменьшают вязкость жидкости и повышают её смачивающую способность, благодаря чему наножидкость проникает даже в труднодоступные зоны режущего инструмента.

Наночастицы способны снижать окислительные свойства базовой жидкости, а также улучшать её теплоёмкость и теплопроводность, что позволяет более эффективно рассеивать тепло, выделяемое в процессе резания. В целом применение наножидкостей повышает эффективность смазочно-охлаждающих процессов, обеспечивает стабильность процесса резания и улучшает его экологические и экономические показатели [4].

В результате вышеуказанных факторов снижаются силы резания, сокращается расход энергии, замедляется износ инструмента и увеличивается срок его службы. Помимо этого, улучшается качество обработки, уменьшается шероховатость поверхности и повышается точность размеров. По этой причине применение наножидкостей считается одним из важных перспективных направлений в современных технологиях механической обработки [5].

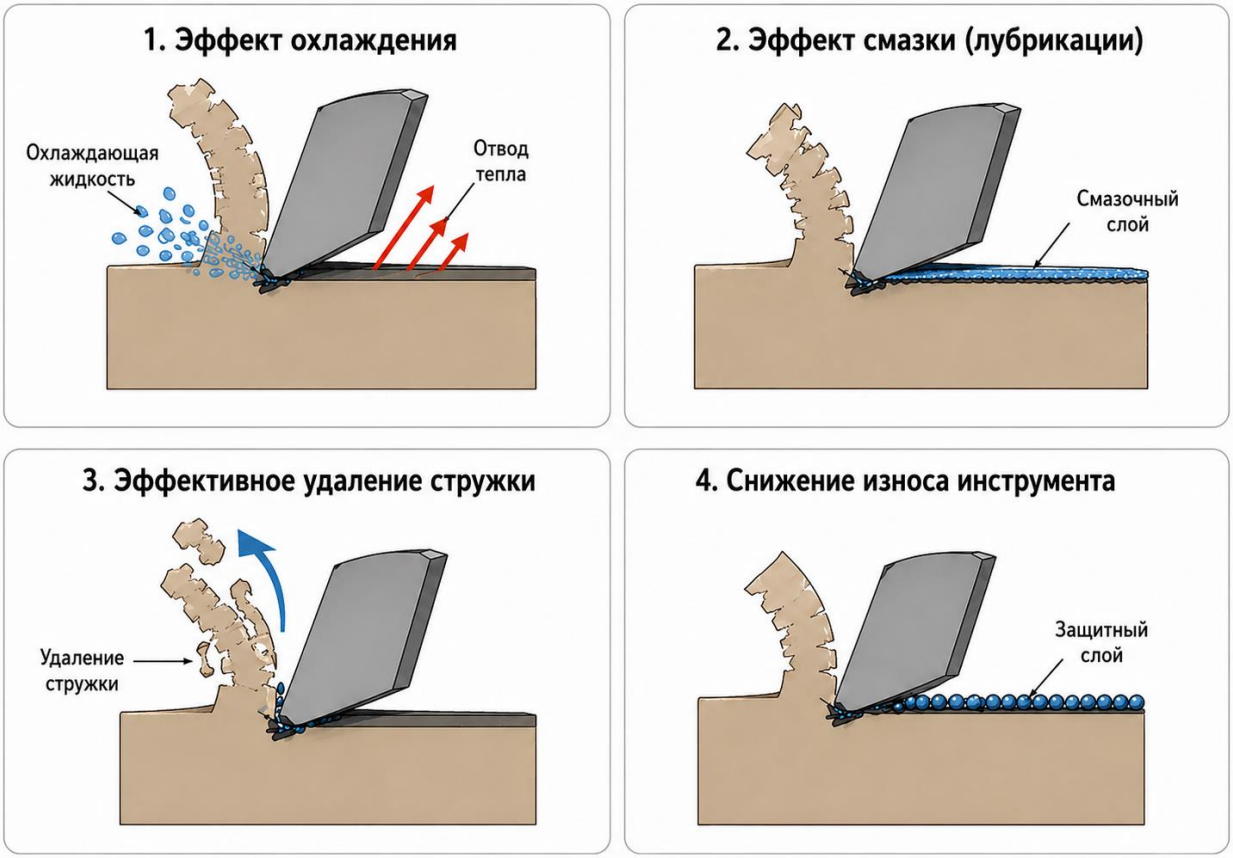


Рис. 1. Механика наножидкости между двумя телами [6].

1)Охлаждение — снижает тепло, выделяемое в процессе резания, что предотвращает перегрев металла и уменьшает деформацию.2)Формирование защитного слоя — смазочно-охлаждающая жидкость образует тонкий слой на поверхности инструмента, защищая его от непосредственного контакта с металлом. 3)Эффективное удаление стружки — срезанный металл (стружка) легко отделяется, что предотвращает засорение и дополнительное трение. 4)Снижение износа инструмента — приводит к медленному износу режущей кромки, что сокращает производственные затраты.

Экспериментальные измерения проводились на фрезерном центре EMCO Concept Mill 450 (рис. 2). В процессе обработки применялся пластинчатый фрезерный инструмент: режущая пластина R390-11 T3 08M (класс качества GC1130) и инструментальная оправка R390-020B20-11L производства компании Sandvik.

В качестве обрабатываемого материала была выбрана инструментальная сталь марки X210CrVMo2-1. Данная сталь широко применяется при изготовлении штампов и пресс-форм для холодной деформации, режущих инструментов, а также деталей механизмов повышенной ответственности. Геометрические размеры заготовки позволили провести эксперимент в рамках единого непрерывного цикла без изменения условий системы обработки и окружающей среды.

Силы резания измерялись в трёх взаимно перпендикулярных направлениях с помощью динамометра Kistler. Данный датчик был установлен на стол станка в связке с компьютером. Шероховатость обработанной поверхности определялась с помощью портативного прибора Mitutoyo Surftest SJ-301. Помимо этого, состояние поверхности дополнительно исследовалось под оптическим микроскопом Mitutoyo TM-505, а полученные результаты были подвергнуты углублённому анализу.

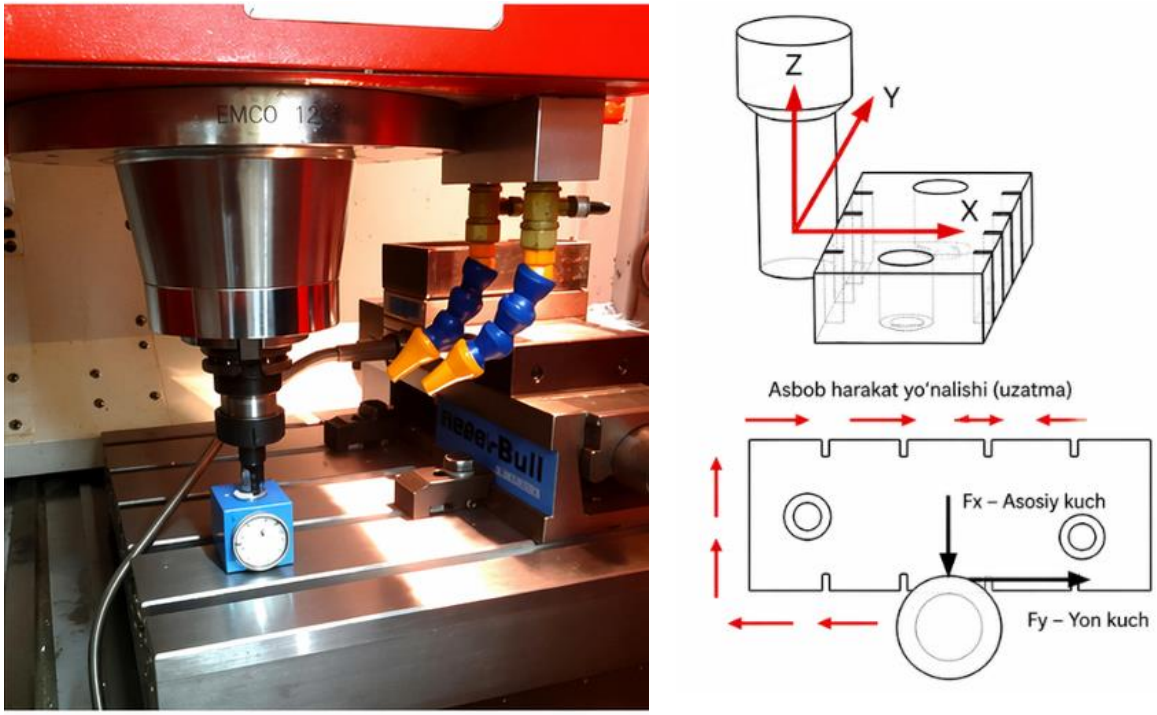


Рис. 2. Экспериментальная установка (слева) и обрабатываемая деталь (справа).

В качестве смазочно-охлаждающей жидкости в эксперименте использовалась эмульсия марки CASTROL Hysol T15. Она растворялась в технически деионизированной воде и готовилась в виде 5-процентного раствора. Жидкость непрерывно подавалась на внешнюю поверхность режущего инструмента методом свободного полива. Для приготовления наножидкости применялись наночастицы на основе дисульфида молибдена (MoS_2). Данный материал обладает пластинчатой кристаллической структурой толщиной в

три атома, при этом его атомы расположены в гексагональном порядке. Наночастицы добавлялись в готовую базовую жидкость, и их концентрация составила 1,5 г/л.

Эксперимент был спланирован на основе ортогональной матрицы Тагути L9 и включал девять экспериментальных точек. В целом эксперимент был разделён на два этапа: на первом этапе применялась чистая базовая жидкость без добавления наночастиц, на втором — смесь с наночастицами. На каждом этапе три технологических параметра — глубина резания a_p (4, 7, 10 мм), подача на зуб fz (0,10; 0,15; 0,20 мм/зуб) и скорость резания vc (100, 150, 200 м/мин) — варьировались на трёх уровнях. Ширина резания на протяжении всех испытаний оставалась постоянной: a_e = 2 мм. В результате по обоим этапам было проведено в общей сложности 18 экспериментов.

Результаты. Полученные результаты измерений были проанализированы — в ходе этого анализа изучались обрабатываемость, тенденции роста значений и их зависимость от входных параметров. По завершении анализа были разработаны модели, отражающие математические зависимости между входными и выходными показателями.

В ходе эксперимента при различных комбинациях входных параметров и условий смазки-охлаждения измерялись показатели шероховатости обработанных поверхностей. В частности, определялись значения среднего арифметического отклонения профиля от средней линии (Ra), а также максимальной высоты профиля от наивысшей точки до наинизшей в пределах одной базовой длины (Ry). Метод смазки-охлаждения был обозначен в двух вариантах: жидкость без наночастиц (WO) и жидкость с добавлением наночастиц дисульфида молибдена (MoS_2).

Заключение. В данной работе на основе плана эксперимента Тагути было исследовано влияние наночастиц, введённых в смазочно-охлаждающую жидкость, на эффективность процесса обработки. В ходе исследования была доказана возможность успешного и стабильного фрезерования инструментальной стали. Полученные результаты свидетельствуют о том, что охлаждение и смазка с применением наночастиц дисульфида молибдена обеспечивают значительно более высокие показатели по сравнению с использованием стандартной эмульсии. При применении наночастиц дисульфида молибдена шероховатость обработанной поверхности снизилась в среднем на 20%, а поверхность приобрела гладкое состояние. В тех же условиях смазки и охлаждения было зафиксировано снижение составляющей силы резания Fx, влияющей на размерную точность, в среднем на 12%. Все функции обрабатываемости были успешно смоделированы с помощью соответствующих математических моделей..

.

Список литературы

[1]. Sharma, A.K., Tiwari, A.K., Dixit, A.R. (2016). Effects of Minimum Quantity
[2]. Lubrication (MQL) in machining processes using conventional and nanofluid based cutting fluids:
[3]. A comprehensive review. Journal of Cleaner Production, 127, 118.
[4]. Saidur, R., Leong, K.Y., Mohammad, H.A. (2011). A review on applications and
[5]. challenges of nanofluids. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(3), 16461668.
[6]. Vasu, V., Pradeep Kumar Reddy, G. (2011). Effect of minimum quantity lubrication
[7]. with AlOnanoparticles on surface roughness, tool wear and temperature in turning of hardened
[8]. steel. International Journal of Machining and Machinability of Materials, 9(12), 84103.
[9]. Khandekar, S., Sankar, M.R., Agnihotri, V., Ramkumar, J. (2012). Nano-cutting fluid
[10]. for enhancement of metal cutting performance. Materials and Manufacturing Processes, 27(9),
[11]. 963967.
[12]. Nam, J.S., Kim, D.H., Chung, H., Lee, S.W. (2015). Optimization of environmentally
[13]. benign micro-drilling process with nanofluid minimum quantity lubrication using response surface
[14]. methodology and genetic algorithm. Journal of Cleaner Production, 102, 428436.
[15]. Hegab, H., Umer, U., Soliman, M., Kishawy, H.A. (2018). Effects of nano-cutting fluids
[16]. on tool performance and chip morphology during machining Inconel 718. International Journal of
[17]. Advanced Manufacturing Technology, 96(912), 34493462.

ЛОГИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕРМИНАЛА И СКЛАДА

М. Кобулов

Ферганский государственный технический университет
boburbekqobulov71@gmail.com Телефон: +998 90 408 4009
(Получена 16.04.2026 г.)

Аннотация. *В рассматриваемой статье рассматриваются современные подходы к организации деятельности терминального склада. Все большее число российских предприятий осознает важность использования информационной поддержки для повышения эффективности своей деятельности. В связи с этим автором рассматриваемой статьи были рассмотрены и проанализированы основные подходы к организации складской деятельности, такие как системный и процессный подходы.*

Ключевые слова: *Системный подход, процессный подход, терминально-складская деятельность, логистика.*

Abstract. *The article under consideration herein explores contemporary approaches to the organization of terminal warehouse activities. A growing number of Russian enterprises are recognizing the importance of leveraging information support to enhance their operational efficiency. In this regard, the author of the paper under review has considered and analyzed the main approaches to the organization of warehousing activities, such as system and process approaches.*

Key words: *Systems approach, process approach, terminal warehousing, logistics.*

Введение. В условиях современного экономического развития и глобализации рынка эффективность логистических процессов имеет первостепенное значение для устойчивого функционирования предприятий и повышения их конкурентоспособности. Важной составляющей логистической системы является управление рабочими процессами на терминалах и складах. Эти объекты играют ключевую роль в цепях поставок, способствуя беспрепятственному движению материальных потоков и обеспечивая эффективное использование ресурсов.

На современном этапе развития наиболее востребованными для организации терминально-складской деятельности являются информационные системы и технологии. Эти продукты призваны повысить эффективность складских процессов, а также способствовать интеграции внутрипроизводственных механизмов и развитию комплексной логистической терминально-складской инфраструктуры [1].

Терминалы и склады выполняют двойную задачу, функционируя не только как складские помещения, но и как центральные пункты перераспределения, сортировки, консолидации и подготовки грузов к последующей транспортировке. Для обеспечения эффективной работы этих объектов необходим комплексный, системный подход, основополагающим инструментом которого является логистика. Применение логистического подхода позволяет оптимизировать процессы, снизить затраты, повысить уровень сервиса и обеспечить гибкость в ответ на меняющиеся требования рынка [2].

Литературный обзор. Современные исследования в области логистики и управления складами демонстрируют заметный уклон в сторону интеграции инновационных технологий с целью повышения эффективности, прозрачности и адаптивности логистических операций. Обзор литературы позволяет выявить несколько основных тенденций, отражающих эволюцию подходов к управлению логистическими центрами и складами.

Одним из часто рассматриваемых инновационных решений является внедрение системы управления складом (WMS), которая представляет собой программное обеспечение, предназначенное для оптимизации работы складов. По мнению А. В. Дмитриева (2020), внедрение WMS приводит к существенному повышению точности учета, сокращению времени обработки заказов и снижению влияния человеческого фактора. Эти системы автоматизируют процессы приемки, размещения, комплектации и отгрузки товаров [3].

Кроме того, значительное внимание привлекают Интернет вещей (IoT) и технологии сквозной цифровизации. В исследовании М. Р. Кадырова (2021) показано, что интеграция датчиков, RFID-меток и телеметрии позволяет в режиме реального времени отслеживать местоположение, состояние и перемещение товаров, повышая тем самым контроль и предсказуемость логистических операций.

Роботизация и автоматизация складских процессов представляют собой значительную область, которой уделяется большое внимание как в научной, так и в прикладной литературе. Согласно публикациям С. Н. Петрова и Е. Ю. Кузнецовой (2022), внедрение роботизированных тележек, сортировщиков и автоматических стеллажных систем позволяет повысить производительность труда, особенно в условиях высокой интенсивности складской деятельности [4].

Метод исследования. Обзор существующей литературы показывает, что преобладающими методологиями организации складской деятельности являются системный и процессный подходы. Каждый из этих подходов имеет свои преимущества и недостатки при построении терминально-складской деятельности и инфраструктуры [5] (см. табл. 1).

Таблица 1

Подходы к организации терминально-складской деятельности

	Преимущества	**Недостатки**
Системный подход	- Объединение различных научных областей; - Объединение знаний из различных научных областей; - Отражаются общие черты в объектах и процессах, что позволяет рассматривать процесс проектирования как систему; - Используется множество моделей проектирования; - Основным результатом системного подхода является общий экономический эффект, который обеспечивает разработку высокоэффективных технологий.	Системный подход основан на ряде методологий, которые не были тщательно проверены или разработаны. К ним относятся, в частности, следующие: - выявление дефектных элементов системы; - методы определения номенклатуры альтернатив; - методы определения тактики и стратегии решения проблемы; - оценка последствий решения проблемы. Кроме того, системный подход предполагает отсутствие одного из основополагающих принципов логистики: «целостность и единство».
Процессный подход	- Обеспечивает оптимизацию системы управления предприятием, так как этот метод позволяет более точно выявлять отклонения в деятельности предприятия. - Направлена на решение стратегических целей и задач. - При построении, развитии и управлении моделью используются информационные системы и технологии. - Каждый элемент системы взаимосвязан с предыдущими и последующими элементами системы. - Возможно использование показателей KPI на всех этапах модели. - Это повышает эффективность модели.	Внедрение процессного подхода - сложная задача.

Соответственно, при тщательном рассмотрении достоинств и недостатков системного подхода к моделированию складских процессов выясняется, что указанное направление позволяет сделать ряд ключевых выводов. Главным из них является определение структурной схемы склада, а также идентификация и организация элементов, целей, параметров и операций. Кроме того, оно позволяет выявить внутренние свойства складской логистической системы и создать таксономию составляющих ее звеньев [6].

Соответственно, при тщательном рассмотрении преимуществ и недостатков, присущих системному подходу в моделировании складских процессов, можно сделать вывод, что данное направление позволяет определить структуру склада, выявить и систематизировать элементы, цели, параметры и задачи, а также выявить и классифицировать внутренние свойства складской логистической системы. Кроме того, оно способствует выявлению и классификации связей между элементами вышеупомянутой системы и выявлению неопределенностей, влияющих на функционирование складских процессов. Кроме того, она позволяет определить и специфицировать целесообразные последовательности действий [7].

Последующей методологией управления операциями складской логистики является процессный подход, определяемый как серия действий или видов деятельности, в которых задействованы ресурсы для преобразования входов в выходы.

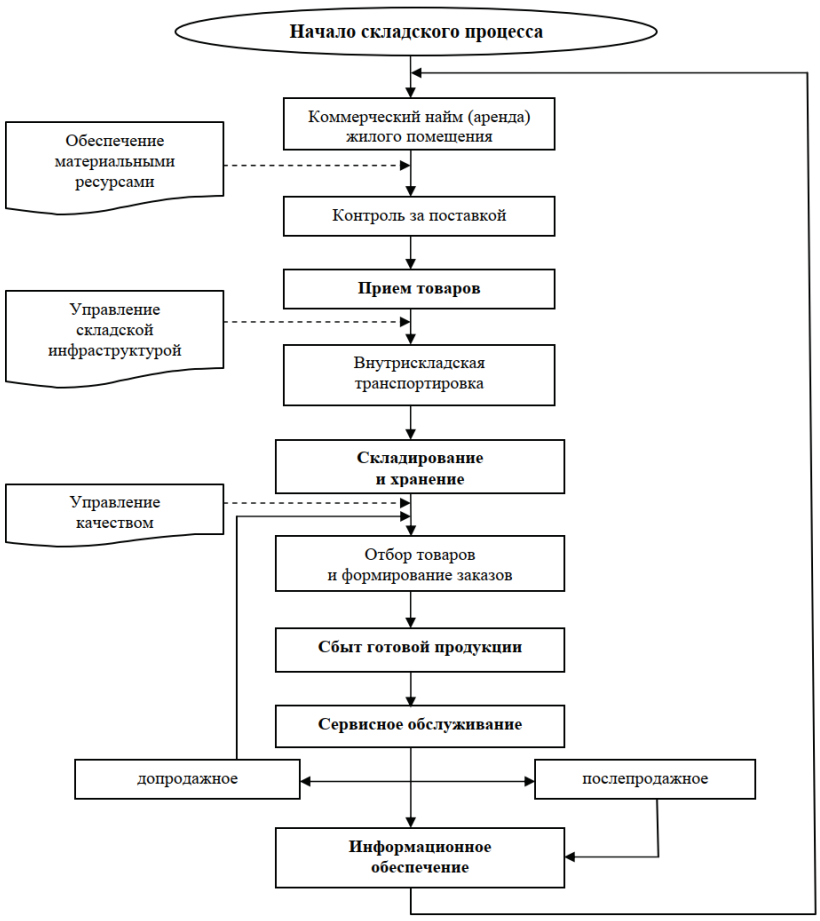


Рисунок 1. Модель процессного подхода терминально-складского комплекса.

Результаты исследования. Чтобы эффективно функционировать, организации должны определять и управлять многочисленными взаимосвязанными и взаимодействующими процессами. Часто выход одного процесса служит входом для последующего процесса. Систематическое определение и управление процессами, применяемыми организацией, и, прежде всего, их взаимодействие, можно считать «процессным подходом» [8].

На рисунке 1 представлена модель процессного подхода, иллюстрирующая его применение в контексте управления терминальным складом.

Как показано на рисунке 1, в основе процессного подхода лежит формализация и декомпозиция процессов складской логистики на операции. Согласно ГОСТ Р ИСО 9000-2001, модель процессного подхода включает в себя первичные и вторичные процессы [9].

Как показано на рисунке 1, процесс складирования в основном характеризуется следующими операциями:

1) Поставка запасов представляет собой комплекс взаимосвязанных логистических мероприятий, обеспечивающих формирование и предоставление складских запасов, а также их последующую обработку и комплектацию для конечного потребителя. К основным

логистическим операциям относятся прием транспортных средств, разгрузка, приемка товара и другие сопутствующие действия;

2) Приемка товара включает в себя ряд процедур и методов проверки количества и качества товара, а также обеспечение склада товарами. К основным логистическим операциям относятся проверка сопроводительной документации, осмотр тары и упаковки, транспортировка на склад и т. д.;

3) Складирование и хранение представляют собой комплекс мероприятий, направленных на рациональное размещение и хранение на складе с последующей доставкой товара конечному потребителю в целях удовлетворения его потребностей. К основным логистическим операциям относятся упаковка, маркировка, комплектация заказа и отпуск товара со склада (продажа);

4) Реализация готовой продукции — совокупность различных средств и методов, направленных на доведение готовой продукции до конечного потребителя. К основным логистическим операциям относятся разработка вариантов систем дистрибуции готовой продукции и/или услуг, формирование каналов дистрибуции и другие сопутствующие виды деятельности;

5) Сервисное обслуживание охватывает комплекс услуг, предоставляемых в процессе доведения готовой продукции и/или услуг до потребителя. К вышеупомянутым логистическим операциям относятся гарантийное обслуживание, обмен, консультирование потребителей и т. д.;

6) Информационное обеспечение представляет собой совокупность единых информационных систем, которые взаимосвязаны между собой и обеспечивают эффективное управление предприятием, а также всеми логистическими процессами на складе. Основные логистические операции включают в себя сбор, обработку и систематизацию информации, а также другие функции.

Необходимо признать существование вспомогательных процессов, которые являются неотъемлемой частью эффективного функционирования складской логистики. Отсутствие рациональной и эффективной реализации этих вспомогательных процессов может препятствовать решению многочисленных проблем, тем самым ставя под угрозу эффективность складской логистики [10].

В данной модели процессного подхода (рис. 1) выделяются три вспомогательных логистических процесса: обеспечение материальными ресурсами, управление складской инфраструктурой и управление качеством. Кроме того, эти вспомогательные процессы могут включать в себя ряд сервисных операций. Как видно из данных на рис. 1, эти услуги включают в себя предпродажные операции, такие как передача информации о количестве товаров, хранящихся на складе, в отдел продаж, и послепродажные операции, включая замену товаров и прием бракованной продукции [11].

Вспомогательные логистические процессы, как и их основные аналоги, выполняют ряд различных функций и задач:

- Во-первых, необходимо обеспечить доступность материальных ресурсов, а также осуществить процессы переработки, хранения и распределения грузов в строго ограниченные сроки. Эти процессы должны выполняться с требуемым качеством и количеством;
- Во-вторых, управление складской инфраструктурой подразумевает деятельность по решению проблем ремонта и обслуживания складского оборудования. Это и организация складских и транспортных работ, и определение оптимальных зон хранения и грузопереработки, и определение пропускной способности склада и др.;
- В-третьих, внедрение менеджмента качества предполагает выполнение комплекса мероприятий, направленных на достижение высокого уровня логистических процессов в области качества. Эти мероприятия должны включать в себя внедрение и использование высокотехнологичных систем и методов контроля над складскими логистическими процессами.

Выводы. Необходимость процессного подхода к управлению в целом и к управлению рисками в частности обусловлена преимуществами процессного подхода к организации деятельности на предприятии. К этим преимуществам относятся непрерывность процесса управления рисками и охват всех видов деятельности предприятия. Такой подход позволяет всесторонне рассмотреть все потенциальные риски и определить эффективные стратегии управления. Кроме того, он способствует упорядоченной координации процесса под надзором одного руководителя, который берет на себя ответственность за результаты процесса.

Список литературы

[1]. Аникеева, О. И. Логистика: современная теория и практика управления цепями поставок. М.: Юрайт, 2022.
[2]. Балдин, К. В., Ситников, А. В. Инновационные технологии в логистике. — СПб.: Питер, 2021.
[3]. Дмитриев, А. В. Автоматизация логистических процессов на складах и терминалах. // Логистика сегодня, №3, 2020.
[4]. Кузнецова, Е. Ю., Петров, С. Н. Роботизация логистических центров как фактор повышения производительности труда. // Вестник транспорта, №2, 2022.
[5]. Калашников, И. А. Цифровая трансформация логистических систем: технологии и практика применения. — М.: КНОРУС, 2023.
[6]. Ковальчук, И. П. Информационные технологии в логистике. — М.: Форум, 2020.
[7]. Винокуров, А. В. Применение IoT и Big Data в складской логистике. // Управление цепями поставок, №4, 2021.
[8]. Глухов, В. В., Малышева, М. И. Логистика и управление цепями поставок. — СПб.: Политехника, 2022.
[9]. Zhang, Y., Wang, L., & Liu, Q. Smart Warehouse Management Based on IoT and AI Technologies. // Journal of Logistics and Sustainable Transport, Vol. 12(2), 2021.
[10]. Christopher, M. Logistics & Supply Chain Management. — 6th ed. — Pearson Education, 2020.
[11]. Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. The Handbook of Logistics and Distribution Management. — 6th ed. — Kogan Page, 2022.
[12]. Государственный портал открытых данных Республики Узбекистан — https://data.gov.uz

SHAHAR CHORRAHALARIDA TRANSPORT OQIMINI SUN’IY INTELLEKT ASOSIDA ADAPTIV BOSHQARISH MODELLARI VA ALGORITMLARINI TAHLIL QILISH

X.X. Soliyev[1]*, A.Sh. Qosimov[2]

[1,2]Namangan davlat texnika universiteti
[2]Farg‘ona davlat texnika universiteti
**Mas’ul muallif, e-mail: qosimovabbosjon1997@gmail.com*

(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Jadal urbanizatsiya va transport vositalariga egalik qilish darajasining ortishi shahar chorrahalarida transport tirbandligi muammolarini sezilarli darajada kuchaytirdi. An'anaviy qat'iy vaqtli (fixed-time) svetofor tizimlari dinamik o'zgaruvchan transport sharoitlarida ko'pincha samarasiz bo'lib, bu transport vositalarining to'xtab qolishi, yoqilg'i sarfining ortishi va atrof-muhitning ifloslanishiga olib kelmoqda. Mazkur tadqiqotda shahar chorrahalarida qo'llaniladigan zamonaviy sun'iy intellekt asosidagi adaptiv transport boshqaruvi modellari va algoritmlari tahlil qilinadi. Tadqiqot intellektual transport tizimlari (ITS), svetofor signallarini adaptiv boshqarish yondashuvlari hamda Mustahkamlovchi o'qitish (Reinforcement Learning), Deep Q-Network (DQN), Fozzi-mantiq (Fuzzy Logic) va Genetik algoritmlar kabi mashinali o'qitish usullariga qaratilgan. Sun'iy intellektga asoslangan transportni optimallashtirish tizimlari bo'yicha mavjud ilmiy tadqiqotlar va xalqaro tajribalar qiyosiy tahlil qilingan. Bundan tashqari, adaptiv transport nazorati modellarini baholashda SUMO va PTV Vissim kabi transport simulyatsiya platformalarining o'rni muhokama qilinadi. Ushbu tadqiqotning ilmiy ahamiyati O'zbekistonda "Aqlli shahar" (Smart City) konsepsiyalari doirasida kelajakdagi intellektual adaptiv transport boshqaruvi tizimlarini rivojlantirish uchun nazariy va metodologik asoslarni yaratishdan iborat.*

Tayanch so‘zlar: *sun'iy intellekt, adaptiv transport boshqaruvi, intellektual transport tizimlari, mustahkamlovchi o'qitish, SUMO simulyatsiyasi, shahar transportini boshqarish, aqlli shahar.*

1. Kirish. Shahar transport tizimlari zamonaviy shaharlarda iqtisodiy rivojlanish va ijtimoiy harakatchanlikni qo‘llab-quvvatlovchi eng muhim infratuzilmalardan biridir. Biroq, jadal urbanizatsiya va transport vositalariga egalik qilish darajasining ortishi, ayniqsa, tartibga solinadigan shahar chorrahalarida jiddiy tirbandlik muammolarini keltirib chiqardi. Transport tirbandligi yo‘l vaqtiga, yoqilg‘i samaradorligiga, ekologik barqarorlikka va yo‘l harakati xavfsizligiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. An’anaviy svetofor boshqaruv tizimlari, odatda, qat’iy vaqtli rejalashtirish usullari asosida ishlaydi. Ushbu tizimlarni amaliyotga joriy etish nisbatan sodda bo‘lsa-da, ular tig‘iz va tig‘iz bo‘lmagan vaqtlardagi o‘zgaruvchan transport sharoitlariga dinamik ravishda javob bera olmaydi. Natijada, signal vaqtining samarasiz taqsimlanishi ko‘pincha transport vositalarining ortiqcha to‘xtab qolishiga va uzun tirbandlik navbatlariga sabab bo‘ladi. So‘nggi yillarda intellektual transport tizimlari (ITS) va sun’iy intellektga (SI) asoslangan transportni boshqarish texnologiyalari butun dunyo bo‘ylab asosiy tadqiqot yo‘nalishlariga aylandi. SI texnologiyalari datchiklar, kameralar va o‘zaro bog‘langan infratuzilma tizimlari orqali to‘plangan real vaqtdagi ma’lumotlar asosida adaptiv qarorlar qabul qilish imkonini beradi. Adaptiv transport boshqaruvi tizimlari signal vaqtini optimallashtirish uchun transport zichligi, transport vositalarining tezligi, navbat uzunligi va kutish vaqtini doimiy ravishda tahlil qiladi. Mashinali o‘qitish (Machine Learning) va Mustahkamlovchi o‘qitish (Reinforcement Learning) algoritmlari murakkab transport optimallashtirish muammolarini hal qilishda yuqori samaradorlikni ko‘rsatdi. Amerika Qo‘shma Shtatlari, Xitoy, Germaniya, Yaponiya va Janubiy Koreya kabi bir qator davlatlar shahar transport tarmoqlarida intellektual adaptiv svetofor tizimlarini muvaffaqiyatli joriy etgan. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, SIga asoslangan transport boshqaruvi tizimlari tirbandlik darajasini, yoqilg‘i sarfini va atrof-muhitga chiqariladigan zararli chiqindilarni sezilarli darajada kamaytirishi mumkin. Global miqyosdagi yutuqlarga qaramay, rivojlanayotgan mamlakatlarda texnologik, infratuzilmaviy va iqtisodiy qiyinchiliklar tufayli intellektual adaptiv transport tizimlarini joriy etish cheklanganligicha qolmoqda. O‘zbekistonda shahar chorrahalarining aksariyati hali ham an’anaviy qat’iy vaqtli boshqaruv tizimlariga tayanadi. Shuning uchun zamonaviy SIga asoslangan adaptiv transport nazorati modellarini tahlil qilish shahar harakatchanligini yaxshilash va "Aqlli shahar" (Smart City) infratuzilmasini rivojlantirish uchun o‘ta dolzarbdir.

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi — shahar chorrahalarini boshqarishda qo‘llaniladigan mavjud sun’iy intellektga asoslangan adaptiv boshqaruv modellari va algoritmlarini tahlil qilish hamda ularning afzalliklari, kamchiliklari va kelajakda qo‘llanilish imkoniyatlarini aniqlashdan iborat. Ushbu tadqiqotda sun'iy intellekt texnologiyalariga asoslangan zamonaviy adaptiv transport boshqaruvi yondashuvlarini baholash uchun qiyosiy tahliliy metodlardan foydalaniladi. Ilmiy maqolalar, konferensiya materiallari, IEEE nashrlari va transport sohasidagi so'nggi tadqiqotlar tizimli ravishda tahlil qilindi.

Intellektual transport tizimlari (ITS)

Intellektual transport tizimlari transport samaradorligi va xavfsizligini oshirish maqsadida aloqa texnologiyalari, datchiklar, sun'iy intellekt va transport boshqaruvi infratuzilmasini o'zaro integratsiya qiladi.

ITS komponentlari quyidagilardan iborat:

Aqlli svetoforlar;

Transport monitoringi kameralari;

Radar va datchik (sensor) tizimlari;

Transport vositalarini aniqlash texnologiyalari;

Real vaqt rejimida ma'lumotlarni qayta ishlash platformalari.

Adaptiv transport boshqaruvi tizimlarining arxitekturasi, odatda, ma'lumotlarni to'plash, ma'lumotlarni tahlil qilish, qaror qabul qilish va boshqaruvni ijro etish modullaridan tashkil topadi.

Adaptiv transport nazorati modellari

Svetofor signallarini adaptiv boshqarish tizimlari real vaqtdagi transport sharoitlariga qarab signal vaqtini dinamik ravishda o‘zgartiradi. Asosiy maqsad transport tirbandligini minimallashtirish va oqim samaradorligini maksimallashtirishdir.

Transportni optimallashtirishning asosiy parametrlari quyidagilardan iborat:

Transport vositalarining kutish vaqti;

Navbat uzunligi;

Transport zichligi;

Chorrahani o‘tkazuvchanlik qobiliyati;

O‘rtacha kechikish vaqti.

Optimallashtirish maqsadi quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$min\sum_{i=1}^{n}(W_i + Q_i + D_i) \quad (1)$$

bu yerda: W_i — transport vositasining kutish vaqti, Q_i — navbat uzunligi, D_i — transportning kechikish vaqti.

Sun’iy intellekt algoritmlari

Mustahkamlovchi o‘qitish (Reinforcement Learning - RL) Mustahkamlovchi o‘qitish — adaptiv transport boshqaruv tizimlarida eng keng tarqalgan SI yondashuvlaridan biridir. RL agentlari transport muhiti bilan o‘zaro aloqa qilish orqali optimal svetofor signallari strategiyalarini o‘rganadi. O‘qitish jarayoni umumiy mukofotni maksimallashtirishga asoslangan:

$$Q(s,a) = Q(s,a) + \alpha[r + \gamma\, max\, Q(s',a') - Q(s,a)] \quad (2)$$

Afzalliklari:

Real vaqt rejimida moslashish;

Mustaqil o‘rganish qobiliyati;

Dinamik sharoitlarda samarali optimallashtirish. Kamchiliklari:

Yuqori hisoblash murakkabligi;

Uzoq o‘qitish davrlari.

Deep Q-Network (DQN) DQN algoritmlari murakkab transportni optimallashtirish vazifalarini bajarish uchun mustahkamlovchi o‘qitishni chuqur neyron tarmoqlari bilan birlashtiradi.

DQN afzalliklari:

Qaror qabul qilishning yuqori aniqligi;

Katta hajmdagi transport ma’lumotlarini qayta ishlash qobiliyati;

Shahar tarmoqlari uchun yaxshilangan masshtablanuvchanlik.

Fozzi-mantiq (Fuzzy Logic) Fozzi-mantiq tizimlari svetoforni boshqarishda insonning fikrlash jarayonlarini simulyatsiya qiladi. Afzalliklari: Soddalik va noaniq transport sharoitlariga mosligi. Kamchiliklari: Yuqori darajadagi dinamik muhitlarda optimallashtirish samaradorligining pastligi.

Genetik algoritmlar (Genetic Algorithms) Genetik algoritmlar evolyutsion optimallashtirish usullari orqali svetofor parametrlarini optimallashtiradi. Afzalliklari: Global optimallashtirish va ko‘p maqsadli optimallashtirish qobiliyati. Kamchiliklari: Hisoblash resurslarini ko‘p talab qilishi va yaqinlashish (convergence) tezligining pastligi.

Transport simulyatsiya platformalari

Transport simulyatsiyasi dasturlari adaptiv transport boshqaruv tizimlarini real hayotga joriy etishdan oldin ularni baholashda hal qiluvchi rol o‘ynaydi.

SUMO (Simulation of Urban Mobility) SUMO — SIga asoslangan transport tadqiqotlarida keng qo‘llaniladigan ochiq manbali mikroskopik simulyatsiya platformasi. Asosiy xususiyatlari: Real vaqtdagi simulyatsiya, transport vositalari xatti-harakatini modellashtirish va datchiklar integratsiyasi.

PTV Vissim PTV Vissim — shahar transportini batafsil tahlil qilish va vizuallashtirish imkonini beruvchi professional platforma. Afzalliklari: Modellashtirishning yuqori aniqligi va SI algoritmlari bilan integratsiyalashuv.

Qiyosiy tahlillar shuni ko‘rsatadiki, sun’iy intellektga asoslangan adaptiv transport boshqaruvi tizimlari an’anaviy qat’iy vaqtli boshqaruv usullaridan sezilarli darajada ustunlikka ega.

1-jadval.

Adaptiv transport algoritmlarining qiyosiy tahlili

Algoritm	Afzalliklari	Kamchiliklari	Qo‘llanilish salohiyati
Mustahkamlovchi o‘qitish (RL)	Real vaqt rejimida o‘rganish	O‘qitish uchun uzoq vaqt talab etiladi	Yuqori
Deep Q-Network (DQN)	Yuqori optimallashtirish aniqligi	Hisoblash murakkabligi	Juda yuqori
Fozzi-mantiq (Fuzzy Logic)	Oddiylik	Moslashuvchanlikning pastligi	O‘rtacha
Genetik algoritmlar	Global optimallashtirish	Sekin yaqinlashish (konvergensiya) tezligi	Yuqori

Xalqaro tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, sun’iy intellektga (SI) asoslangan adaptiv transport nazorati tizimlari quyidagilarga erishish imkonini beradi:

O‘rtacha transport kechikishini 20–40% ga qisqartirish;

Navbat uzunligini 15–35% ga kamaytirish;

Yoqilg‘i sarfini 10–25% ga tejash;

Chorrahalarning o‘tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish;

CO_2 chiqindilarini kamaytirish.

Bundan tashqari, adaptiv tizimlar yo‘l-transport hodisalari, yo‘llarni ta’mirlash ishlari yoki tig‘iz paytlardagi kutilmagan tirbandliklar kabi sharoitlarda yuqori operatsion moslashuvchanlikni ta’minlaydi.

Biroq, tizimni joriy etishda bir qator qiyinchiliklar mavjud:

Infratuzilma xarajatlarining yuqoriligi;

Ilg‘or datchik (sensor) texnologiyalariga bo‘lgan ehtiyoj;

Ma’lumotlarni real vaqt rejimida qayta ishlashdagi cheklovlar;

Kiberxavfsizlik masalalari;

Mavjud transport tizimlari bilan integratsiya qilish murakkabligi.

O‘zbekiston va boshqa rivojlanayotgan mamlakatlar uchun intellektual adaptiv transport tizimlarini bosqichma-bosqich joriy etish strategiyalari yanada amaliyroq bo‘lishi mumkin.

Xulosa: Mazkur tadqiqotda shahar chorrahalarini boshqarish tizimlarida qo‘llaniladigan zamonaviy sun’iy intellektga asoslangan adaptiv transport nazorati modellari va algoritmlari tahlil qilindi. Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, SI yordamida boshqariladigan transport texnologiyalari an’anaviy qat’iy vaqtli svetofor tizimlariga qaraganda transport samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Tahlil qilingan yondashuvlar orasida Mustahkamlovchi o‘qitish (Reinforcement Learning) va Deep Q-Network (DQN) algoritmlari o‘zining dinamik o‘rganish va qaror qabul qilish qobiliyati tufayli real vaqtdagi adaptiv optimallashtirish uchun eng yuqori salohiyatga ega ekanligini ko‘rsatdi.

Tadqiqotda, shuningdek, intellektual transport tizimlarini amaliyotga joriy etishdan oldin ularni baholashda SUMO va PTV Vissim kabi transport simulyatsiya platformalarining ahamiyati alohida ta’kidlandi.

Ushbu tadqiqot O‘zbekistonning "Aqlli shahar" (Smart City) transport infratuzilmasi doirasida adaptiv transport boshqaruvi tizimlarini kelajakda rivojlantirish uchun nazariy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Kelajakdagi tadqiqot yo‘nalishlari quyidagilarni o‘z ichiga olishi mumkin:

Mahalliy sharoitga moslashtirilgan SI transport modellarini ishlab chiqish;

Ko‘p chorrahali transport koordinatsiyasini tashkil etish;

Buyumlar interneti (IoT) infratuzilmasi bilan integratsiya qilish;

Real sharoitda (dala sinovlari) tatbiq etish;

Avtomobil-Infratuzilma (V2I) aloqa tizimlari.

Intellektual adaptiv transport boshqaruvi tizimlarining joriy etilishi barqaror shahar harakatchanligi, atrof-muhitni muhofaza qilish va transport xavfsizligiga salmoqli hissa qo‘shadi.

Adabiyotlar

[1]. Y. Wei, “Colight: Learning Network-Level Cooperation for Traffic Signal Control,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 22, no. 1, pp. 578–589, 2021.

[2]. X. Liang, “Deep Reinforcement Learning for Traffic Signal Control,” IEEE Access, vol. 11, pp. 22411–22428, 2023.

[3]. M. Abdoos, “Traffic Light Control in Non-Stationary Environments,” Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 45, pp. 168–179, 2020.

[4]. P. Mannion, “Reinforcement Learning for Adaptive Traffic Signal Control,” Transportation Research, vol. 12, no. 3, pp. 55–69, 2021.

[5]. SUMO Documentation, German Aerospace Center, 2025.

[6]. H. Wang and K. Gao, “Adaptive Urban Traffic Control Using Artificial Intelligence,” Transportation Research Part C, vol. 140, 2022.

[7]. IEEE ITS Society, “Smart Transportation Technologies,” IEEE Access, 2024.

[8]. T. Bellemans, “Microscopic Traffic Simulation in Urban Networks,” Transportation Engineering, vol. 18, 2022.

[9]. J. Zhang, “Urban Traffic Congestion Prediction Using Machine Learning,” Future Internet, vol. 15, no. 1, 2023.
[10]. R. Sutton and A. Barto, Reinforcement Learning: An Introduction, MIT Press, 2021.
[11]. A. M. de Souza, “Traffic Management in Smart Cities,” Journal of Network and Computer Applications, vol. 172, 2021.
[12]. S. Gronlund, “Intelligent Traffic Systems for Smart Cities,” Sensors, vol. 24, no. 2, 2024.
[13]. M. Chen, “Artificial Intelligence for Sustainable Urban Mobility,” Sustainability, vol. 16, no. 2, 2025.
[14]. PTV Group, “PTV Vissim User Manual,” Karlsruhe, Germany, 2024.
[15]. L. Li, “Traffic Signal Timing via Deep Reinforcement Learning,” IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, vol. 9, no. 3, pp. 451–463, 2022.

AVTOMOBILLARNI AMALIY BOSHQARISHDA HAYDOVCHILARNING KO‘NIKMALARINI SHAKLLANTIRISH

N.R. Aslonov[1], X.Sh. Chariyev[2], O.F. Ashurov[3], J.A. Axunov[4]

[1]*O‘zbekiston Respublikasi Jamoat xavfsizligi universiteti, naslonov1986@mail.ru*
[2/3]*Toshkent davlat transport universiteti, ashurov1983@mail.ru*
[4]*Farg‘ona davlat texnika universiteti, axunov.aja@mail.ru*
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

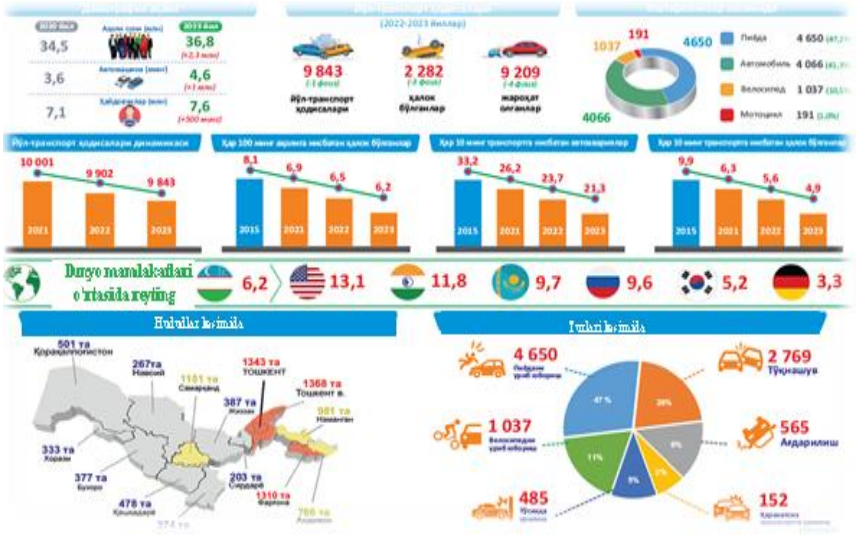
Annotatsiya. *Maqolada avtomobilga to‘g‘ri o‘tirish va boshqarish, yekstremal vaziyatlarda keskin tormozlanish, keskin lar hamda yetarlicha ko‘rinmaslik holatlarida haydovchilarning ko‘kmalari bo‘yicha olib boriladigan ishlar bayon etilgan.*
Tayanch so‘zlar: *Avtomobil, yekstremal, manyovr, yetarlicha ko‘rinmaslik, haydovchi, yo‘l-transport hodisalari, piyoda, tezlik, tormozlanish, sirpanish.*
Аннотация. *В статье рассматриваются требования к правильной посадке водителя и технике управления автомобилем, а также особенности действий в экстремальных ситуациях, включая резкое торможение, выполнение сложных манёвров и движение в условиях ограниченной видимости. Освещены основные типичные ошибки водителей и мероприятия по их предотвращению с целью повышения безопасности дорожного движения.*
Ключевые слова: *автомобиль; экстремальные ситуации; манёвры; ограниченная видимость; водитель; дорожно-транспортные происшествия; пешеход; скорость; торможение; скольжение.*
Annotation. *The article examines the requirements for the correct driving posture and vehicle control techniques, as well as drivers’ actions in extreme situations such as sudden braking, complex manoeuvres, and driving under limited visibility conditions. It highlights common driver errors and outlines measures to prevent them in order to enhance road traffic safety.*
Keywords: *automobile; extreme situations; manoeuvres; limited visibility; driver; road traffic accidents; pedestrian; speed; braking; skidding.*

Mamlakatimizda so‘nggi yillarda yo‘l harakati xavfsizligini ta’minlash tizimini takomillashtirish sohasida keng qamrovli tashkiliy-amaliy ishlar amalga oshirilmoqda. Ushbu ko‘rilayotgan chora-tadbirlarga qaramasdan, insonlar o‘limiga sabab bo‘layotgan yo‘l-transport hodisalarining soni yuqori bo‘lib, yo‘l harakati xavfsizligini ta’minlash tizimini takomillashtirish zarurligini ko‘rsatmoqda.

Butunjahon sog‘liqni saqlash tashkilotining bergan ma’lumotiga ko‘ra, har yili dunyo bo‘ylab yo‘l-transport hodisalari (keyingi o‘rinlarda – YTH) oqibatida 1,5 millionga yaqin insonlar halok bo‘ladi, 50 millionga yaqin odam turli hildagi tan jarohatlarini olishadi. Bundan kelib chiqadiki, har soatda dunyoda 170 nafar inson ushbu hodisaning qurboni bo‘lmoqda. Bu ko‘rsatkich dunyoda sodir bo‘layotgan qurolli to‘qnashuvlar, qo‘poruvchilik harakatlari va tabiiy ofat natijasida halok bo‘layotganlardan bir necha baravar ko‘pdir.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018-yil 06-martdagi PQ-3589-sonli "Avtomobil transportini boshqarish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida"gi Qarorida ham avtomobil transportini boshqarish tizimini yanada takomillashtirish, avtomobil transportida tashishlar xavfsizligini ta’minlash borasida haydovchilarning madaniyatini oshirish borasida bir qancha ishlarni amalga oshirish lozimligi qayd etilgan.

Shu o‘rinda yurtimizda va rivojlangan mamlakatlarda sodir etilgan yo‘l transport hodisalarini tahlil qiladigan bo‘lsak, quyidagi natijalarni ko‘rishimiz mumkin.



1-rasm. Yo‘l-transport hodisalari tahlillari.

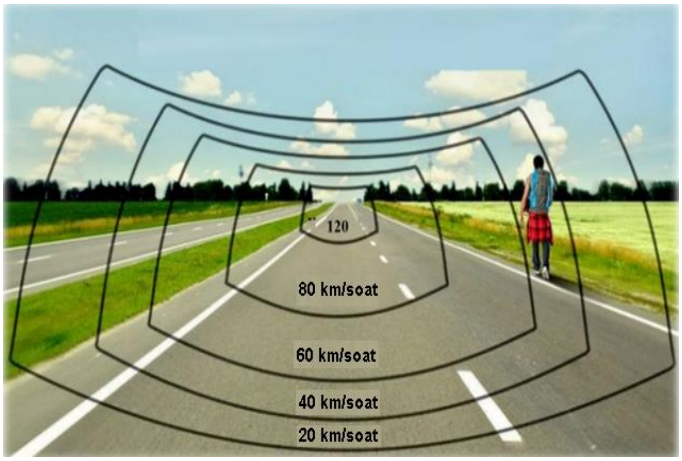
Shu boisdan avtomobilni boshqarishda har bir haydovchining amaliy ko‘nikmalari shakllangan bo‘lishi kerak.

Avtomobilni boshqarish haydovchining avtomobilga xavfsiz o‘tirishi bilan boshlanadi. Haydovchi avtomobil o‘rindig‘iga o‘tirganda boshqaruv organlari uning o‘tirish holatiga mos bo‘lishi lozim. Bu avtomobillarni yekstremal vaziyatlarda keskin tormozlanishi, keskin manyovr olishida muhim rol o‘ynaydi.

Haydovchi avtomobilga o‘tirganda quyidagilarni e’tibor qaratishi lozim: ikkala qo‘lini rul chambaragining yuqori sektorida ushlashi;

- o‘rindiq suyanchig‘iga maksimal darajada suyanish;
- oyna va asboblar panelida e’tiborni tortishi mumkin bo‘lgan barcha narsalarni olib tashlash;
- avtomagnitolaning ovozini pasaytirish yoki o‘chirib qo‘yish;
- avtomobilni boshqarish vaqtida qo‘l telefonidan foydalanmaslik.

2-rasm. Avtomobilda to‘g‘ri o‘tirish tartibi.



3-rasm. Haydovchi ko‘rish maydonining tezlikka bog‘liqligi.

Haydovchi yuqori tezlikda harakatlanganda uning ko‘rish chegaralari kamayib ketadi va yo‘l chetida harakatlanayotgan piyodani ko‘rmay qolishi mumkin. Quyida keltirilgan rasmga ko‘ra, haydovchi 40 km/soat tezlikda harakatlansa, uning ko‘rish maydoniga piyoda kiradi va haydovchi uni to‘liq ko‘ra oladi. Agar tezlik 60 km/soatga oshirilsa, haydovchi piyodani ilg‘ay olish imkoniyati pasayadi.

Agar haydovchi katta tezlikda harakatlansa, yo‘lda paydo bo‘lgan piyodalarni sekin ilg‘aydi va shunga ko‘ra, uning tormozlanish yo‘li ortib ketadi. Piyoda kiyimining rangi ham haydovchi uni tezroq ilg‘ay olishiga ijobiy ta’sir ko‘rsatadi.

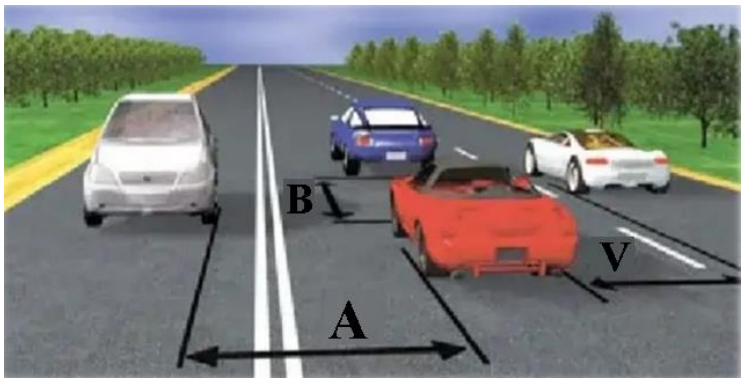
Bunday sharoitda harakat xavfsizligini ta’minlashning asosiy sharti bu oldinda harakatlanayotgan avtomobilga nisbatan ma’lum bir oraliq masofa B ni va yon tomonda harakatlanayotgan avtomobillarga nisbatan yon masofa A va V ni – xavfsizlik oralig‘ini saqlashdir.

Haydovchining oldinda harakatlanayotgan avtomobillarni kuzatish imkoniyati bo‘lsa, xavfsizlik

oralig‘ini kichikroq saqlashi lozim, chunki shu holatda oldinda harakatlanayotgan avtomobil harakatini avvaldan baholay oladi. Haydovchida bunday imkoniyat bo‘lmasa, oraliq masofani yo‘l sharoitidan kelib chiqqan holda tanlash tavsiya yetiladi. Oraliq masofani tanlashda 6-rasmdagi tavsiyaga rioya qilish lozim.

Avtomobilni sirpanchiq va yaxmalak yo‘llarda boshqarish

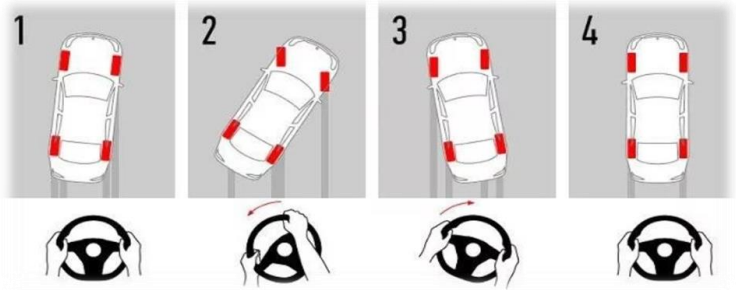
Sirpanchiq, muzlagan yoki qor bosgan yo‘llarda avtomobilni bir xil tezlikda boshqarish lozim, chunki uzatma o‘zgartirilganida avtomobil tezda inersiyasini yo‘qotadi, natijada g‘ildiraklar bir joyda aylanadi yoki dvigatel o‘chib qoladi va avtomobil pastlikka tomon harakatlana boshlaydi. Keskin, sirpanchiq tepaliklardan ishonchli va xavfsiz o‘tishda yo‘llarga qum, tosh sepiladi yoki oldindan sirpanishga qarshi zanjirlar g‘ildiraklarga o‘rnatiladi.



4-rasm. Mashinalar orasidagi xavfsizlik masofasi.

Tezlik ozgina oshirilsa, avariya holatlarida tormoz yordam bermaydi. Muzlagan yo‘llarda harakatlanishda o‘ta ehtiyotkorlik talab qilinadi. Yeng avvalo, harakat tezligi soatiga 20 km dan oshmasligi lozim. Yaxmalakda yo‘lning yuzasi sirpanchiq muz qatlami bilan, ayrim hollarda nam muz qatlami bilan qoplanadi, buning natijasida ilashish koeffitsiyenti pasayib, normal tebranish o‘rniga sirpana boshlaydi va avtomobilning boshqaruvi buziladi.

Avtomobil tezligini kamaytirish va to‘liq to‘xtatish tormoz tizimi orqali amalga oshiriladi. Tormozlanish jarayonida bosib o‘tilgan yo‘l tezlikka, haydovchining reaksiyasiga, yo‘l va shinaning holatiga bog‘liq bo‘ladi. Tormozlanish asosan ikki turga bo‘linadi: haydovchining hoxishiga ko‘ra, ohista va ekstremal vaziyatdagi keskin tormozlanish. Siz 72 km/soat tezlikda harakatlanganingizda sekundiga 20 metr masofani bosib o‘tasiz! Rasmdan ko‘rinib turibdiki yengil avtomobilda o‘rta yoshdagi haydovchi 40 km/soat tezlikda 8 m masofani qaror qabul 42 qilguncha va tormoz pedalini bosguncha bosib o‘tadi. 9 m masofani esa tormoz tizimidagi bo‘ladigan jarayonlar natijasida bosib o‘tadi. Jami 17 m masofada to‘xtadi. 80 km/soat tezlikda esa 17 m masofani qaror qabul qilguncha, 36 m masofani esa tormoz tizimidagi bo‘ladigan jarayonlar natijasida bosib o‘tdi. Jami 53 m masofada to‘xtadi. Agar haydovchi toliqqan yoki stress holatida bo‘lsa uning reaksiyasi oshib ketadi va tormoz yo‘li ortib ketadi. Agar yo‘l sirpanchiq yoki loy bo‘lsa tormoz yo‘li ikki barabar ortishi mumkin



5-rasm. Avtomobilni yekstremal sharoitlarda boshqarishda rul chambaragini burish holatlari.

Haydovchi tormozlanish vaqtida quyidagilarga e’tibor berishi lozim:

- avtomobilni tormozlashda uzatmalar qutisini dvigateldan ajratmang;
- sirpanchiq yo‘llarda tormoz pedali bilan ilashish muftasini (ssepleniya) birgalikda bosish g‘ildiraklarni blokirovkalanib sirpanishga olib keladi;
- pastlikka qarab harakatlanganda tormoz pedalini bosib-bosib qo‘yib yubormang;
- ABS tormoz tizimi o‘rnatilgan avtomobillarda tormozlanish qoidalari bilan tanishing.

Bunday avtomobillarda ba’zi hollarda tormoz yo‘li oddiy tormoz tizimiga nisbatan uzun bo‘ladi.

Sirpanish alomatlari sezilganda dvigatel tirsakli valining aylanishlar sonini kamaytirish lozim. Sirpanish boshlanganda rul chambaragini sirpanish tomonga avtomobil to‘g‘ri holatga kelguncha burish kerak bo‘ladi.

Burilish yoki harakatlanish bo‘lagidan chiqish zarurati tug‘ilganda boshqarish chambaragini asta-sekinlik bilan, yo‘lning burilishlarida tormozlanishdan saqlangan holda burish lozim. Bundan tashqari, avtomobilni yo‘ldan chiqib ketishiga harakatlanish davomida dvigatel tirsakli vali aylanishlar sonini birdan o‘zgartirish, shinalardagi havo bosimining har xilligi, kuzovdagi yuklarning bir xilda taqsimlanmaganligi, shinalar protektorlarining yeyilib ketganligi, ilashish muftasinining juda tez qo‘shilishi, g‘ildiraklar ostiga tosh, mayda toshlar, muzlagan yer bo‘laklarining tushishi va hokazo holatlar ham sabab bo‘ladi. Shunday hollarda kombinatsiyalashgan tormozlanishdan, ya’ni dvigatel tormozidan foydalanib, tormozlash sekinlik bilan amalga oshiriladi.

Sirpanchiq yo‘llarda harakat-lanishda uchraydigan tepaliklar va pastliklarni aylanib o‘tgan ma’qul. Aylanib o‘tishning imkoniyati bo‘lmasa, ulardan past uzatmalarda o‘rnatilgan doimiy tezlik bilan o‘tish tavsiya etiladi. G‘ildiraklarga haddan tashqari tortish kuchi ta’sir etmaydigan uzatma ulanishi lozim. Rul chambaragini keskin burish mumkin yemas.

Qisqa tepaliklardan tezlikni oshirish yo‘li bilan o‘tish lozim. Agar tepalikda g‘ildiraklar bir joyda aylanib orqaga sirpana boshlasa, haydovchi rulning ravon va tez burishlar bilan avtomobilni yo‘lga nisbatan yegri burchak ostiga qo‘yishi lozim. Shuni yodda tutish lozimki, sirpanchiq tepaliklardan o‘tish, yoki ulardan tushishda, oldinda harakatlanib ketayotgan avtomobil tepalikka chiqqach, yoki undan tushganidan so‘ng harakatni boshlash lozim. Ko‘rinish cheklangan sharoitlarda, shuningdek quyosh va qor tufayli ko‘z qamashadigan yaltiragan sirpanchiq yo‘llarda minimal tezlikda harakatlanish lozim. Sirpanchiq yo‘llarda uzoq muddatli safarlarga ketayotgan haydovchilar g‘ildiraklarga sirpanishga qarshi zanjirlarni o‘rnatib olishlari lozim.

Shuningdek haydovchilar uchun yana bir yozilgan qoidalardan eng asosiylari quyidagilar deb hisoblayman.

Hurmatli haydovchi !

Hech qachon avtomobilni har qanday mastlik holatida (spirtli, giyohvand modda, sarxush qiluvchi psixotrop dori vositalar ta’siri ostida) boshqarmang. 200 gramm o‘tkir spirtli ichimlik YTH sodir etilishi ehtimolligini 5 marta, 300 gramm esa 50 marta oshirishi mumkinligini yodda tuting.

- Avtomobilni betoblikda, uyqu bosayotganda yoki harakatlanish xavfsizligiga tahdid soladigan darajada charchoqlik holatida boshqarmang.
- Qaysi tomonga burilishdan qat’iy nazar doimo piyodalarga yo‘l bering.
- Svetofor ishoralari faqat imtiyoz belgilari ta’sirini bekor qilishini yodda tuting.
- Harakatlanayotganda mobil telefon orqali gaplashmang, avtomagnitola diskini almashtirishga intilmang, monitorda videorolik tomosha qilmang, yo‘lovchilar suhbatiga berilmang, doim diqqat-e’tiborli bo‘ling.
- Yo‘l harakati qoidalari talablariga qat’iy rioya qiling.

Xulosa qilib aytganda, avtomobil inson aql-zakovatining mahsulidir. Shu boisdan aytishadiku yo‘l yetarli bilimga ega bo‘lmagan, beparvo, pala-partish harakatlanadigan haydovchilarni xoxlamaydi. Hozirgi zamon haydovchilarning avtomobillarni boshqarishdagi ko‘nikmalarini shakllantirishda yuqorida aytib o‘tilgan tavsiyalarga rioya qilish hamda haydovchilik madaniyatini oshirish bu o‘zi va boshqa haydovchi hamda yo‘lovchilarning havfsizligini ta’minlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Shu bilan birga yo‘l transport hodisalarining oldi olinadi va amaldagi yo‘l harakati qoidalariga rioya qilinishi ta’minlanadi.

Adabiyotlar

[1]. O‘zbekiston Respublikasining “Yo‘l harakati xavfsizligi to‘g‘risida”gi O‘RQ-348-son qonunining yangi tahriri. 2013 yil 10 aprel. https://lex.uz/docs/-2153411

[2]. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2022 yil 12 apreldagi “Yo‘l harakati qoidalarini tasdiqlash to‘g‘risida”gi 172-son qarori. https://lex.uz/docs/-5953883.

[3]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 4 apreldagi “Avtomobil yo‘llarida inson xavfsizligini ishonchli ta'minlash va o‘lim holatlarini keskin kamaytirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ – 190-son qarori. https://lex.uz/ru/docs/-5937573

[4]. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2022 yil 20 iyuldagi “Avtomototransport vositalari haydovchilarini tayyorlash, qayta tayyorlash va malakasini oshirish hamda ularni imtihondan o‘tkazish tizimini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi 393-son qarori. https://lex.uz/docs/-6123254.

[5]. Aslonov N.R., Shahar sharoitida avtomobillarni amaliy boshaqarish: O‘quv qo‘llanma – T.: Jamoat xavfsizligi universiteti. 2023 yil – 98 b.
[6]. Axmedov D.A., Aliboyev B.A., Gulyamov N.Sh., Umurazakov I. Avtomobil tayyorgarligi: Darslik – T.: O‘zbekiston Respublikasi Milliy gvardiyasi Harbiy-texnik instituti, 2020. – 444 b.
[7]. Xamidov va G‘.S.,b.q. Harbiy avtotransport va avtomobil tayyorgarligi: Darslik. – T.: O‘zbekiston Respublikasi Milliy gvardiyasi Harbiy-texnik instituti, 2018. – 695 b.
[8]. Janiyev Sh.E., Keskin vaziyatlarda avtomobilni boshqarish asoslari. O‘quv qo‘llanma. T.: –2018. O‘zR MG HTI. 83 b.

IKKI BOSQICHLI REKRISTALLANISH ASOSIDA UGLERODLI VA ASBOBSOZLIK PO‘LATLARINING STRUKTURAVIY HOLATI HAMDA MEXANIK XOSSALARINI OPTIMALLASHTIRISH

N.K. Boboyev

Andijon davlat texnika instituti
E-mail: boboyevnodirbek@mail.com
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Mazkur tadqiqot uglerodli va asbobsozlik po‘latlarida ikki bosqichli rekristallanish jarayonlarining strukturaviy holat hamda mexanik xossalarga ta’sirini o‘rganishga bag‘ishlangan. Ishda rekristallanishning kechish qonuniyatlari, donador strukturaning shakllanish mexanizmlari va ularning material xossalariga ta’siri tadqiq etiladi. Turli termik va termomexanik ishlov berish rejimlarida po‘latlarning mikrostrukturasi tahlil qilinadi. Rekristallanish jarayonlarining mustahkamlik, qattiqlik va plastiklik ko‘rsatkichlariga ta’siri aniqlanadi. Struktura hosil bo‘lishining asosiy omillari va ularning o‘zaro bog‘liqligi baholanadi. Tadqiqot natijalari asosida po‘latlarning ekspluatatsion xossalarini yaxshilashga qaratilgan optimal ishlov berish rejimlari ishlab chiqiladi Olingan ilmiy natijalar mashinasozlik va metallsozlik korxonalarida qo‘llaniladigan po‘lat buyumlar sifatini oshirishga xizmat qiladi. Shuningdek, energiya va resurs tejamkor texnologiyalarni takomillashtirish uchun ilmiy asos yaratiladi. Tadqiqot natijalarining amaliyotga joriy etilishi mahsulotlarning ishonchliligi va xizmat muddatini oshirish imkonini beradi.*

Kalit so‘zlar: *Ikki bosqichli rekristallanish, uglerodli po‘latlar, asbobsozlik po‘latlari, mikrostruktura, struktura hosil bo‘lishi, donador tuzilma, termik ishlov berish, termomexanik ishlov berish, mexanik xossalar, mustahkamlik, qattiqlik, plastiklik, strukturaviy holat, fazaviy o‘zgarishlar, metallografik tahlil, ekspluatatsion xossalar, optimallashtirish.*

Kirish. Hozirgi vaqtda metallurgiya sanoatida ishlab chiqarilayotgan po‘latlarning muhim qismini legirlangan po‘latlar tashkil etib, ular orasida asbobsozlik po‘latlari alohida o‘rin egallaydi. Mashinasozlik korxonalarida qo‘llaniladigan kesuvchi va shtamplash asboblarining ishlash samaradorligini oshirish, ularning xizmat muddatini uzaytirish hamda qimmatbaho xomashyo sarfini kamaytirish dolzarb vazifalardan hisoblanadi. Ushbu masalani hal etishning samarali yo‘llaridan biri po‘latlarning struktura holatini boshqarish va termik ishlov berish texnologiyalarini takomillashtirishdir.

Asbobsozlik po‘latlari tarkibi va foydalanish sharoitlariga ko‘ra uglerodli, legirlangan, yarim issiqlikka chidamli hamda issiqlikka chidamli guruhlarga ajratiladi. Ular parmalar, frezalar, metchiklar, shtamplar, puansonlar va boshqa texnologik asboblarni tayyorlashda keng qo‘llanadi. Bunday asboblar ekspluatatsiya jarayonida yuqori mexanik yuklanishlar, zarbiy ta’sirlar va harorat o‘zgarishlari ostida ishlaydi. Shu sababli materiallardan yuqori qattiqlik, mustahkamlik, yeyilishga chidamlilik va termik barqarorlik talab etiladi.

Po‘latlarning xizmat xossalarini yaxshilash ko‘p jihatdan ularning mikrostrukturasi va fazaviy tarkibiga bog‘liq. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, rekristallanish jarayonlarini boshqarish orqali donalar o‘lchamini kamaytirish, nuqsonlar zichligini o‘zgartirish hamda mexanik xossalarni sezilarli darajada yaxshilash mumkin. Ayniqsa, ikki bosqichli rekristallanish asosidagi termik ishlov berish usullari po‘latlarning strukturaviy holatini maqsadli ravishda shakllantirish imkonini beradi.

Ikki bosqichli rekristallanishning birinchi bosqichida material yuqori haroratlarda ishlov berilib, kristall panjarada energiyasi yuqori bo‘lgan holat hosil qilinadi. Keyingi bosqichda esa optimal haroratlarda qayta qizdirish va sovitish natijasida mayda donali va bir jinsli struktura shakllanadi. Bunday yondashuv po‘latlarning qattiqligi, mustahkamligi va yeyilishga chidamliligini oshirishga xizmat qiladi.

Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi uglerodli va asbobsozlik po‘latlarida ikki bosqichli rekristallanish jarayonlarining struktura hosil bo‘lishiga ta’sirini o‘rganish, mikrostruktura va mexanik xossalar o‘rtasidagi bog‘liqliklarni aniqlash hamda samarali termik ishlov berish rejimlarini ishlab chiqishdan iborat. Olingan natijalar kesuvchi va shtamplash asboblarining xizmat muddatini uzaytirish, ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish va materiallardan foydalanish samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Metodi Rekristallanish asosidagi optimallashtirish

Tadqiqot obyekti sifatida sanoatda eritib olingan **U12A, 9XC, XVG va X12F1** markali yuqori uglerodli asbobsozlik po‘latlari tanlab olindi.

Tanlangan materiallar tarkibiga yuqori qattiqlik va yeyilishga chidamlilikka ega bo‘lgan, biroq toblanish qobiliyati hamda issiqlikka chidamliligi nisbatan past bo‘lgan evtektoid uglerodli po‘latlar, shuningdek issiqlikka chidamli bo‘lmagan legirlangan po‘latlar va yuqori xromli yarim issiqlikka chidamli po‘latlar kiradi.

1-jadval.

Tadqiq etilgan po‘latlarning kimyoviy tarkibi

Po‘lat markasi	C	Mn	Si	Cr	W	V	P	S
U12A	1,2	0,3	0,2	-	-	-	0,03	0,02
9XC	0,9	0,4	1,3	1,0	-	-	0,03	0,025
XVG	0,98	0,9	0,25	0,95	1,3	-	0,03	0,03
X12F1	1,4	0,3	0,3	11,5	-	0,8	0,03	0,025

Termik ishlov berish rejimlari oraliq bo‘shatish bilan ikki martalik toblash jarayonini o‘z ichiga oldi. Birinchi toblash standart qizdirish haroratidan boshlab 1200 °C gacha bo‘lgan turli haroratlarda amalga oshirildi. Oraliq bo‘shatish harorati 200–700 °C oralig‘ini qamrab oldi. Takroriy fazaviy rekristallanish esa standart toblash haroratlarigacha qizdirish, suvda sovitish hamda keyinchalik nitratli vannaga yoki moyga o‘tkazish orqali bajarildi.

Yakuniy bo‘shatish issiqlikka chidamli bo‘lmagan po‘latlar uchun 160–200 °C, X12F1 po‘lati uchun esa 550 °C haroratda amalga oshirildi. Ayrim hollarda turli qizdirish haroratlarida oldindan normallash qo‘llanilib, undan keyin qayta toblash va bo‘shatish bajarildi.

Barcha hollarda toblash uchun qizdirish tuz-elektrod vannalarida amalga oshirildi. Ushlab turish vaqti namunalar uchun 3–5 daqiqa, asboblar uchun esa ularning o‘lchami va konfiguratsiyasiga qarab 3–15 daqiqani tashkil etdi.

Oldingi va yakuniy termik ishlov berish bilan bog‘liq bo‘lgan strukturaviy hamda fazaviy o‘zgarishlarni o‘rganish maqsadida metallografik, rentgen difraksion, dilatometrik va elektron mikroskopik (replika usuli) tahlillar qo‘llanildi.

Rentgen difraksion tahlil DRON-2.0 qurilmasida temir anodidan hosil qilingan nurlanish yordamida bajarildi. α-fazaning (310) va (220) hamda γ-fazaning (311) rentgen chiziqlari og‘irlik markazining siljishi asosida kristall panjara parametrlarining o‘zgarishi baholandi. Rentgen chiziqlarining yoyilishi esa kristall tuzilmaning nuqsonlilik darajasini aniqlash imkonini berdi.

O‘ta to‘yingan qattiq eritmaning tetragonallik darajasi {211, 121} va {112} tekisliklar to‘plamining ajralishi natijasida hosil bo‘lgan rentgen chiziqlari kengayishi orqali aniqlandi.

Dilatometrik tadqiqotlar differensial Shevenar dilatometri yordamida olib borildi. Bunda qattiq eritmaning parchalanish jarayoni va po‘latning termik tarixiga bog‘liq ravishda bo‘shatish bosqichlarining harorat intervallari kuzatildi.

Namunalar va asboblarning qattiqligi TK-2 qattiqlik o‘lchagichlarida, mikroqattiqligi esa PMT-3 qurilmasida aniqlandi. Kesuvchi asboblarning chidamlilik sinovlari laboratoriya sharoitida bo‘ylama yo‘nishda, to‘g‘ri keskichlar yordamida, ham sovutuvchi-moylovchi suyuqlik qo‘llangan holda, ham usiz amalga oshirildi.

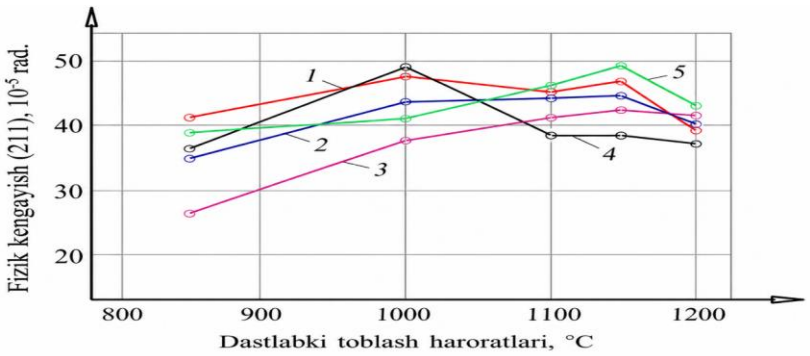
Tadqiqot natijalari Dastlabki toblash jarayonida kristall tuzilmaning nuqsonlilik darajasi qizdirish haroratiga bog‘liq bo‘ladi. U12A va 9XC po‘latlari uchun ushbu harorat 1150 °C ni, XVG po‘lati uchun esa 1000 °C va 1150 °C ni tashkil etadi. Kristall tuzilmaning maksimal nuqsonliligi po‘lat tarkibidagi qiyin eruvchi fazalarning erishi boshlanishi bilan bog‘liq. Bular legirlovchi elementlarning karbidlari yoki alyuminiy nitridlari, karbonitridlar hamda kislorod saqlovchi fazalar kabi qo‘shimcha aralashma fazalar bo‘lishi mumkin. Mazkur fazalarning erishi qattiq eritmada kimyoviy mikro-notekisliklarni yuzaga keltiradi va sovitish vaqtida γ→α fazaviy o‘zgarish jarayonida kristall panjara nuqsonliligining yanada ortishiga sabab bo‘ladi.

Dastlabki toblashdan keyin oraliq bo‘shatish amalga oshiriladi. Bo‘shatish jarayonlari legirlangan qattiq eritma tarkibiga qarab turli tezliklarda kechadi. Shu sababli subkritik haroratlar oralig‘ida po‘latning kristall tuzilmasi nuqsonliligi nafaqat dastlabki toblash haroratiga, balki bo‘shatish haroratiga ham bog‘liq bo‘ladi.

Oldindan termik ishlov berilgan (toblash va bo‘shatishdan o‘tgan) po‘latlarda fazaviy rekristallanish donalarni maydalanishini ta’minlaydi, biroq bu jarayon dastlabki ishlov berish rejimlariga qarab farqlanadi. Birinchidan, oraliq bo‘shatish harorati yetarli darajada yuqori bo‘lmaganda, takroriy fazaviy rekristallanishdan keyin austenit donalarining yiriklashishi kuzatiladi.

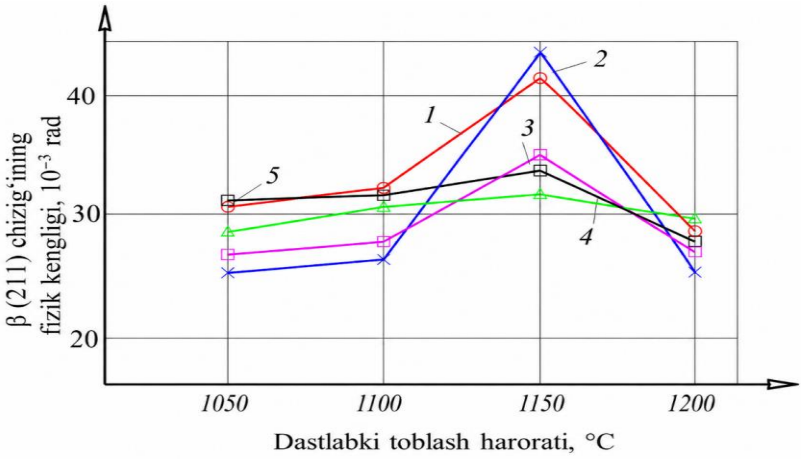
Ikkinchidan, dastlabki toblash standart qizdirish haroratidan yoki 1100 °C dan yuqori haroratlarda amalga oshirilganda donalarning samarali maydalashishi kuzatiladi. Bu holat yuqori haroratlarda toblash natijasida ortiqcha karbidlarning yo‘qolishi va 1100 °C dan yuqori haroratlarda qiyin eruvchi aralashma fazalarning erishi bilan izohlanadi. Natijada takroriy fazaviy rekristallanish austenit donalarining o‘sishini cheklovchi samarali zarrachalar mavjud bo‘lmagan sharoitda sodir bo‘ladi. Karbidlar va aralashma fazalarning ajralib chiqishini ta’minlovchi yetarlicha yuqori oraliq bo‘shatish esa ushbu kamchilikni bartaraf etadi.

Uchinchidan, yuqori xromli X12F1 po‘latida akademik V.D. Sadovskiy tomonidan ilk bor tavsiflangan donalarning tiklanish effekti kuzatiladi. Takroriy fazaviy rekristallanishdan keyin donalarni maydalashga faqat 650 °C dan yuqori haroratdagi oraliq bo‘shatish orqali erishish mumkin. Rentgen difraksion tadqiqotlar fazaviy rekristallanish jarayonida nozik struktura parametrlarining meros bo‘lib o‘tish effekti mavjudligini ko‘rsatdi. Shu sababli takroriy fazaviy rekristallanishdan keyin kristall tuzilmaning eng yuqori nuqsonlilik darajasini ta’minlaydigan dastlabki termik ishlov berish rejimlarini aniqlash imkoniyati mavjud.



1-rasm. XVG po‘latida rentgen nurlarining (220) chizig‘i fizik kengligining dastlabki toblash haroratiga bog‘liqligi.

Oraliq bo‘shatish harorati: 1 — 200 °C, 2 — 350 °C, 3 — 450 °C, 4 — 600 °C, 5 — 660 °C.



2-rasm. X12F1 po‘latida rentgen nurlarining (211) chizig‘i kengligining dastlabki toblash haroratiga bog‘liqligi.

Oraliq bo‘shatish harorati: 1 — 350 °C, 2 — 450 °C, 3 — 500 °C, 4 — 600 °C, 5 — 650 °C.

Oldindan termik ishlov berish rejimlari α-fazaning qattiq eritmasida uglerod atomlarining qayta taqsimlanishiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. U12A, 9XC va XVG po‘latlarida termik ishlov berish rejimlaridan qat’i nazar, tetragonal panjaradagi uglerod miqdori har doim kimyoviy tahlil va fazalar diagrammasi bo‘yicha aniqlangan qiymatdan kam bo‘lgan.

Ma’lumki, martensitik o‘zgarishning boshlanish harorati xona haroratidan yuqori bo‘lgan po‘latlarda uglerod atomlarining tetragonal panjaradan ajralib chiqishi toblash vaqtida sovitish jarayonidayoq boshlanadi. Biroq tetragonal qattiq eritmadagi uglerod miqdori dastlabki toblash haroratiga ham bog‘liq bo‘lgan. Ushbu miqdorning eng kichik qiymati dastlabki toblash harorati 1150 °C bo‘lganda kuzatilgan.

Standart haroratdan toblash bilan taqqoslaganda uglerod miqdoridagi farq 0,14–0,33 % gacha yetgan.dastlabki toblashning aynan shu haroratlarida kristall panjara parametrining ham eng kichik qiymati qayd etilgan (1.2-rasm).

Agar 1150 °C haroratda dastlabki toblash jarayonida ushbu po‘latlarda kristall tuzilmaning eng yuqori nuqsonlilik darajasi kuzatilganligini hisobga olsak, uglerod atomlarining ma’lum qismi qo‘shimcha ravishda kristall panjara nuqsonlariga ko‘chishini xulosa qilish mumkin.

Xulosalar. Asbobsozlik po‘latlariga termik ishlov berishda optimal struktura parametrlarini hosil qilishning texnologik jihatdan eng maqbul usuli oraliq bo‘shatish bilan ikki martalik toblash hisoblanadi. Birinchi, ya’ni yuqori haroratli toblash jarayonida shunday chegaraviy qizdirish haroratlari mavjudligi ko‘rsatildiki, ulardan sovitilgandan so‘ng α va γ fazalarning kristall tuzilmasida maksimal nuqsonlilikka ega strukturalar hosil bo‘ladi. Po‘latning legirlanish darajasiga qarab, bunday chegaraviy haroratlar 1000 °C yoki 1150 °C atrofida bitta yoki ikkita qiymatga ega bo‘lishi mumkin. Asbobsozlik po‘latlarining takroriy fazaviy rekristallanishi dastlabki submikrostruktura elementlarining irsiy ravishda saqlanib qolishi sharoitida sodir bo‘ladi. Shu sababli yakuniy termik ishlov berishdan so‘ng kristall tuzilmaning maksimal nuqsonliligini ta’minlovchi dastlabki toblash va oraliq bo‘shatishning optimal haroratlarini aniqlash mumkin. Ushbu haroratlar U12A, 9XC, XVG va X12F1 po‘latlari uchun mos ravishda dastlabki toblashda 1150 °C, oraliq bo‘shatishda esa 450 °C, 600 °C, 660 °C va 650–680 °C ni tashkil etadi. Optimal rejimlarda oraliq bo‘shatish bilan ikki martalik toblashdan so‘ng kristall tuzilmaning yuqori nuqsonlilik darajasi uglerod atomlarining qo‘shimcha sezilarli qismini (0,14–0,33 %) panjara nuqsonlariga o‘tishiga yordam berishi aniqlandi. Qattiq eritmaning bunday holati po‘latni bo‘shatish jarayonida martensit parchalanishining ikkinchi bosqichi boshlanish haroratining ortishiga olib keladi.

Adabiyotlar

[1]. Lakhtin Yu.M. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. – Moskva: Metallurgiya, 1983. – 359 b.
[2]. Gulyaev A.P. Metallovedenie. – Moskva: Metallurgiya, 1986. – 544 b.
[3]. Bernshteyn M.L., Rakhshtadt A.G. Termicheskaya obrabotka stali. – Moskva: Metallurgiya, 1983. – 432 b.
[4]. Totten G.E. Steel Heat Treatment: Metallurgy and Technologies. – Boca Raton: CRC Press, 2006. – 840 p.

[5]. Callister W.D., Rethwisch D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. – New York: John Wiley & Sons, 2020. – 992 p.
[6]. ASM Handbook. Volume 4: Heat Treating. – Materials Park, Ohio: ASM International, 2013. – 2400 p.
[7]. Sadovskiy V.D. Fazovye prevrashcheniya i struktura stali. – Moskva: Nauka, 1973. – 368 b.

METALLARNI ELEKTROKIMYOVIY ISHLOV BERISHDA PARAMETRLARNI OPTIMALLASHTIRISH VA SIRT SIFATIGA TA'SIRI

X.B. Xaydarov

Andijon Davlat texnika insituti
E-mail: xaydarovxusanboy733@mail.com
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya *Ushbu maqolada metallarni elektrofizik va elektrokimyoviy usullarda ishlov berishning asosiy metodlari va ularning sanoatdagi ahamiyati o'rganilgan. Tadqiqot doirasida elektr razryadi, ultratovush tebranishi va kimyoviy jarayonlar yordamida amalga oshiriladigan ishlov berish usullarining tasnifi tahlil qilingan. Qiyin ishlov beriladigan materiallar — qattiq qotishmalar, keramika va toblangan po'latlarni qayta ishlashda elektrotexnologik usullarning ustunliklari asoslab berilgan. Ishlov berish aniqligi, unumdorligi va energiya sarfini kamaytirish bo'yicha asosiy yo'nalishlar ko'rib chiqilgan. Zamonaviy ishlab chiqarishda ilg'or texnologiyalarni joriy etishning iqtisodiy va texnologik afzalliklari baholangan. Tadqiqot natijalari elektrofizik va elektrokimyoviy usullarning an'anaviy mexanik ishlov berishga nisbatan samaradorligini isbotlaydi. Olingan xulosalar mazkur usullarni aviatsiya, mashinasozlik va asbobsozlik sanoatida keng tatbiq etishga tavsiya sifatida taqdim etilgan..*

Kalit so'zlar: *Elektrofizik ishlov berish, elektrokimyoviy ishlov berish, elektr razryadi, ultratovush tebranishi, qattiq qotishma, keramika, toblangan po'lat, ishlov berish aniqligi, unumdorlik, energiya sarfi, dielektrik suyuqlik, elektr eroziyasi, sirt sifati, metallarni kesish, texnologik parametrlar, raqobatbardoshlik, modernizatsiya, asbobsozlik, avtomatik boshqaruv*

Kirish: Zamonaviy sanoat tarmoqlarida raqobatbardosh mahsulot ishlab chiqarish uchun ilg'or texnologik yechimlarni amaliyotga tatbiq etish tobora muhim ahamiyat kasb etmoqda. Metallarga elektrokimyoviy ishlov berish texnologiyasi ana shunday istiqbolli yo'nalishlardan biri bo'lib, u an'anaviy mexanik usullarga qaraganda bir qator muhim afzalliklarga ega. Ushbu texnologiyani ishlab chiqarish jarayonlariga joriy etish uchun zamonaviy bilim va ko'nikmalarga ega bo'lgan yuqori malakali muhandis-texnik mutaxassislar talab etiladi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevraldagi "Harakatlar strategiyasi" farmoni doirasida sanoat korxonalarini modernizatsiya qilish, texnologik qayta qurollantirish va zamonaviy usullarni keng joriy etishga alohida e'tibor qaratilgan. Elektrokimyoviy ishlov berish texnologiyasi ushbu islohotlar yo'nalishiga to'liq mos kelib, mahsulot tannarxini kamaytirish va ishlab chiqarish samaradorligini oshirishga bevosita hissa qo'shadi.

Mashinasozlik sanoati barcha tarmoqlar rivojiga turtki berib, yangi texnologik imkoniyatlar va ishlab chiqarish vositalari bilan ta'minlaydi. Elektrokimyoviy ishlov berish aynan shu sohada muhim o'rin egallaydi — u qiyin ishlov beriladigan materiallar, jumladan qattiq qotishmalar, toblangan po'lat va keramik materiallarni yuqori aniqlikda qayta ishlash imkonini beradi.

Insoniyat taraqqiyotining ilk bosqichlarida ishlab chiqarish sodda usullarga tayanган bo'lsa, bugungi kunda texnologik rivojlanish tufayli jarayonlar tubdan o'zgardi. Elektrokimyoviy ishlov berish parametrlarini — tok zichligi, elektrolit tarkibi, ishlov berish tezligi va elektrodlar orasidagi bo'shliqni — to'g'ri optimallashtirish sirt sifatiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Parametrlarning maqbul kombinatsiyasini tanlash orqali ishlov berilgan sirtning qo'polligi sezilarli darajada kamayadi, o'lchamli aniqlik oshadi va mahsulotning ekspluatatsion xususiyatlari yaxshilanadi.

Shunday qilib, elektrokimyoviy ishlov berish parametrlarini optimallashtirish masalasi nafaqat texnologik, balki iqtisodiy jihatdan ham dolzarb bo'lib, u zamonaviy mashinasozlik sanoatining taraqqiyotida asosiy omillardan biri hisoblanadi.

.[1,2].

Metodika. Tadqiqotda elektrofizik va elektrokimyoviy ishlov berish usullarining samaradorligini baholash maqsadida tahliliy va eksperimental tadqiqotni aniqlash.

Zamonaviy sanoat korxonalarida mahsulot sifatini ta'minlash oddiy texnologik yechimlardan tortib murakkab ilg'or usullargacha bo'lgan ketma-ket taraqqiyot yo'lini bosib o'tadi. Jamiyat rivojlanishi bilan bevosita bog'liq bo'lgan bu texnologik zanjir elementlari o'zaro ta'sirlashib, bir-birini takomillashtirib boradi. Metallarni elektrokimyoviy ishlov berish texnologiyasi ushbu taraqqiyotning yorqin namunasi sifatida zamonaviy mashinasozlik sanoatida muhim o'rin egallaydi.

Metall kesish dastgohlari ishlab chiqarish sohasida erishilgan yutuqlar shubhasiz katta ahamiyat kasb etadi. Biroq aviatsiya konstruksiyalari, masofadan boshqariladigan raketalar, yadro va elektron qurilmalar, gaz uzatish tizimlarining quvur elementlari, maxsus texnologik jihozlar hamda aniqlik o'lchov asboblarini ishlab chiqarish sohasida an'anaviy mexanik kesish usullarining imkoniyatlari cheklanganligi aniqlandi. Bu esa mutlaqo yangi ishlov berish metodlarini yaratishni taqozo etdi.

Volfram va titan karbidi asosidagi qattiq qotishmalar, tabiiy olmos, magnit xususiyatli qotishmalar va toblangan po'lat kabi o'ta mustahkam materiallar, shuningdek, keramika, kvars, shisha va ferrit kabi mo'rt materiallarni an'anaviy usullarda qayta ishlash jiddiy muammolarga olib keladi. Ayniqsa, bunday materiallardan ko'r teshiklar va tor yoriqlar hosil qilish jarayonida an'anaviy asboblar ojizlik qiladi.

Qiyin ishlov beriladigan materiallardan murakkab geometrik shakldagi detallarni samarali tayyorlash zarurati elektrofizik va elektrokimyoviy ishlov berish usullarining yaratilishiga asos bo'ldi. Metallarni elektrokimyoviy ishlov berishda parametrlarni to'g'ri optimallashtirish — tok zichligi, elektrolit konsentratsiyasi, ishlov berish tezligi va elektrodlar orasidagi masofa — sirt sifatiga bevosita ta'sir etadi. Ushbu usul elektr, elektrokimyoviy, elektromagnit va nurlanish ta'sirlarining kombinatsiyasi asosida qattiq jismlarga zarur hajm va shakl berishni ta'minlaydi hamda issiqlik-mexanik va kimyoviy jarayonlar bilan o'zaro uyg'unlashib, yuqori sifatli ishlov berish natijalarini kafolatlaydi.

Elektrofizik va elektrokimyoviy ishlov berish usullarining tasnifi.

1-jadval

Elektrofizik va elektrokimyoviy ishlov berish usullari											
Elektrofizik ishlov berish usullari										Elektrokimyoviy ishlov berish usullari	
Elektroerozion ishlov berish				Nur yordamida ishlov berish		Ultratovush yordamida ishlov berish					
Elektr uchqun usuli	Elektr impuls usuli	Elektr kontakt usuli	Anod-mexanik usul	Yorug'lik nuri yordamida	Elektron-nur ishlov berish	Erkin abraziv ishlov berish	Erkin abraziv ishlov berish	Yo'naltirilgan abraziv ishlov berish	Triolit namunasini ishlov berish	Ultratovush tebranishi yordamida kesish	Anod-gidravlik ishlov berish

Materiallarni elektr usulida ishlov berishda qo'llaniladigan texnologiyalarning xilma-xilligi, shuningdek, boshqa ko'plab metodlarning mavjudligi har bir metodning boshqalari orasidagi o'rnini va ularning o'zaro bog'liqligini yagona tavsif asosida ifodalashni qiyinlashtiradi. 1.1-jadvalda elektr razryadi, ultratovush tebranishi, oqim tokining energiyasi yoki kimyoviy jarayonlar yordamida

amalga oshiriladigan elektrofizik va elektrokimyoviy ishlov berish usullarining asosiy tasnifi keltirilgan. [3].

Elektrofizik va elektrokimyoviy ishlov berish usullarini rivojlantirishga quyidagi olimlar muhim hissa qo'shgan. 1928 yilda L.A.Gusev birinchi bo'lib anod-gidravlik ishlov berishni tavsiya etdi. 1943 yilda esa B.R.Lazarenko va N.I.Lazarenko elektr uchqun usuli bilan ishlashni o'rgandilar.

Lazer payvandlash — bu eritma payvandlash usuli bo'lib, unda detal qizdirish uchun lazer nurlanishi energiyasidan foydalaniladi. XX asrning 60-yillarida fiziklar N.G.Basov va A.M.Proxorov hamda amerikalik fizik Ch.Taunslarning ishlari asosida optik kvant generatorlari yoki lazerlar ishlab chiqildi va ular Nobel mukofotiga sazovor bo'ldi. Metallarni lazer yordamida payvandlash to'g'risidagi birinchi ma'lumotlar 1962 yilga to'g'ri keladi. [4].

1964-1966 yillarda yoqut qattiq jismli lazerlar ishlab chiqilgandan so'ng lazer qurilmalari yaratildi. Lazer payvandlashda issiqlik manbai sifatida maxsus qurilmadan olinadigan quvvatli va konsentrlangan yorug'lik nuri — texnologik lazer ishlatiladi.

Lazer payvandlash jarayonida kichik hajmdagi metallarni qisqa vaqt ichida yuqori haroratda qizdirish eritish jarayonini o'z ichiga oladi. So'ngra ular lazer nurlarining energiyasi hisobiga eriydi va bir-biriga qo'shiladi. Payvand zonasidagi izga qarab lazer nurlanishining asosiy parametrlari lazer nuri o'sha joyga yo'naltirilgan vaqt bo'yicha aniqlanishi mumkin. [2].

Payvandlash lazer nurining quvvati taxminan 10^5–10^6 Vt/sm² ni tashkil etishi mumkin. Bundan kam miqdordagi nurlanish metallarni payvandlashga qodir bo'lmasligi mumkin. Ortiqcha quvvat esa materiallarni bug'latib yuborishi mumkin.

Lazer nurlanishi yordamida payvandlashning quyidagi afzalliklari mavjud:

1. jarayon qisqa vaqt ichida amalga oshiriladi;
2. yuqori energiya konsentratsiyasiga ega bo'ladi;
3. payvand joyidagi nurlanish vaqt jihatidan minimal ta'sir ko'rsatadi.

Natijalar. Hozirgi vaqtda elektrofizik va elektrokimyoviy ishlov berish usullari sanoatning turli tarmoqlarida keng qo'llanilmoqda hamda doimiy ravishda rivojlanib va takomillashib bormoqda. Elektrotexnologiya sohasidagi asosiy ish yo'nalishlari materiallarni ishlov berishning aniqligi va unumdorligini oshirish, jarayonlarda energiya sarfini kamaytirish, yangi yo'nalishdagi texnologiyalarni izlash va ularni inson ishtirokisiz avtomatik boshqarish uchun moslashtirishdan iborat.

O'zbekistonda innovatsion rivojlanishning zamonaviy modeliga o'tish uchun barcha zarur shart-sharoitlar yaratilgan. Ushbu model mavjud ilmiy-texnik salohiyatdan keng va samarali foydalanishga, fundamental va amaliy yutuqlarni, chuqur ilmiy talab qilinadigan texnologiyalarni amaliyotga keng joriy etishga, yuqori malakali va iste'dodli ilmiy kadrlar sonini ko'paytirishga asoslanadi.

Bu mamlakatimizning jahon iqtisodiyoti va sanoati rivojlangan davlatlar qatoriga kirishi uchun zarur shart va mustahkam zamindir. Metall qurilmalarni korroziyadan himoya qilish maqsadida ularning yuzasida izolyatsion qoplamalar hosil qilinadi. Biroq shakllangan izolyatsion qoplamalar vaqt o'tishi bilan yeyiladi va buziladi. Natijada erigan tuzlar tarkibidagi namlik metallga kirib, uning yuzasida mahalliy galvanik elementlar hosil qiladi va ob'ektning korroziyalanishiga sabab bo'ladi.

Izolyatsion qoplamalarning yuqori sifat darajasini ta'minlash orqali (ko'z bilan ko'rish va maxsus asboblar yordamida tekshirish) ob'ektning uzluksiz ishlash muddati uzaytiriladi. Izolyatsion qoplamalardan tashqari, yer osti va yer usti metall qurilmalar elektrokimyoviy himoya usullari (katod, protektor va elektrodrenaj) yordamida ham himoyalanadi. Elektrokimyoviy usullarning afzalligi shundaki, turli oddiy ob'ektlarni ionlashtirish yo'li bilan kumush, oltin, qo'rg'oshin, mis va boshqa qimmatbaho materiallar bilan qoplash mumkin.

Turli metallar yuzasiga korroziyaga chidamlilik xususiyati berish va turli bezaklar qo'llash uchun elektrokimyoviy usullardan keng foydalanish mumkin. Hatto avtomobilsozlik sanoatida ham bu usullar keng qo'llanilmoqda. Masalan, O'zbek avtomobil zavodi JM ham avtomobillar sifatini yaxshilash uchun O'zbekistonda keng foydalanadi. Ma'lumki, avtomobil kuzovi bir necha marta

bo'yaladi, bu bo'yash ishlarining birinchi bosqichi elektrokimyoviy ishlov berishning elektroliz ionizatsiyasi yordamida bo'yoq to'ldirilgan vannada bir necha daqiqa davomida amalga oshiriladi. Buning asosiy sababi bo'yoqni bir tekis taqsimlash va yuza jilosini yo'qotmaslikdir.

Ma'lumki, temir buyumlar havo va namlik ta'sirida zanglaydi. Natijada metall qurilmalar va mashina detallari asta-sekin yemiriladi, barcha turdagi uskunalar yaroqsiz holga keladi. Bu har yili milliy iqtisodiyotga katta zarar yetkazadi.

Metallarning yemirilish jarayoni korroziya deb ataladi (lotincha corrodere — yeyuvchi so'zidan). Metallarni elektrokimyoviy ishlov berish natijasida ularning foydalanish muddatini uzaytirish va moddiy jihatdan xomashyoni tejash mumkin. Ma'lumki, mamlakatimizda, ya'ni O'zbekistonda, bunday mahsulotlarni o'zimiz ishlab chiqarmaganimiz sababli ularni xorijdan sotib olishga majbur bo'lmoqdamiz. Elektrokimyoviy ishlov berish usullari ushbu mahsulotlardan tejamkor foydalanishga yordam beradi. Masalan, elektrokimyoviy ishlov berish orqali korroziyaning oldini olish yoki buyum ustki qatlamini qimmatbaho material bilan qoplash mumkin. Bu bizga katta iqtisodiy yordam ham ko'rsatdi. Chunki buyumning ustki qatlamini qimmatbaho materialdan qoplash maqsadga muvofiqdir. Elektrokimyoviy ishlov berish usullarini kengaytirish va ularni ishlab chiqarishda yanada keng tatbiq etish zarur.

Texnologiya — ma'lum bir mahsulotni tayyorlashda uzoq vaqt davomida muayyan ishlab chiqarish sharoitlarida qo'llanilishi mumkin bo'lgan usullar majmui bo'lib, u shu asosda ishlab chiqiladi.

Ilg'or texnologiya — ishlab chiqarish sharoitida kam xarajat bilan yuqori sifatli mahsulot olish usulidir. Ilg'or texnologiyani ishlab chiqarishga joriy etishdan maqsad — past unumdorlikdagi xarajatlarni kamaytirish va natijada mahsulotning kerakli sifatini ta'minlashdan iborat.

Yuqori darajadagi mexanizatsiya va avtomatlashtirish zamonaviy ilg'or texnologiyalarning asosiy ko'rsatkichlaridan biri hisoblanadi. Mexanizatsiya va avtomatlashtirishsiz mahsulot ishlab chiqarish jarayonini tasavvur qilish qiyin, chunki busiz uning ishlab chiqarishiga sarflanadigan mehnat zichligi ortadi va natijada mahsulot tannarxi oshadi.

Ilg'or texnologiya boshqa texnologiya turlaridan ekologiyani muhofaza qilish bilan ajralib turadi (tabiatdan foydalanish, ishlatilgan suvni qayta ishlatish, chiqindisiz texnologiya yoki chiqindilarni qayta ishlash).

Konstruksion materiallarni mexanik ishlov berishning zamonaviy texnologiyasi rivojlanib, yaxshi natijalarga erishdi, ishlab chiqarilayotgan metall kesish dastgohlari yuqori darajadagi mukammallik va yuqori unumdorlikka ega bo'ldi, bu esa turli darajadagi murakkab vazifalarni bajarishda ulkan muvaffaqiyat keltirmoqda. Biroq aviatsiya texnikasining, masofadan boshqariladigan raketa sanoatining, atom va elektron apparaturasining, gaz quvurlari tuzilmasining, asbob-uskunalar ishlab chiqarishning va o'lchov asboblari tuzilmasining jadal rivojlanishi materiallarni mexanik ishlov berish jarayonlarini og'ir mehnat sarf etmasdan yoki umuman bu usuldan foydalanmasdan amalga oshirish mumkinligini isbotladi. Ushbu materiallar o'ta yuqori mustahkamlikka, yuqori sindirish ko'rsatkichiga va magnit xususiyatlariga ega materiallar sifatida tan olinadi. Ko'r teshiklar, tor tirqishlar, fazoning bir qismi va murakkab shakldagi detallarni tayyorlash zaruriyati yuzaga kelganda bu materiallarni ishlov berishda alohida qiyinchiliklar kuzatiladi.

Qiyin ishlov beriladigan materiallardan murakkab shakldagi detallarni samarali qayta ishlash zarurati bir qator yangi ishlov berish usullarini yaratishni belgilab berdi. Ularga elektrofizik va elektrokimyoviy ishlov berish usullari kiradi.

Metallarni elektrofizik va elektrokimyoviy usullarda ishlov berish deganda, qattiq jismga hajm va shakl berish maqsadida unga elektr, elektrokimyoviy, elektromagnit va nurlanish jarayonlarining majmuaviy ta'siri tushuniladi. Ushbu jarayonlar issiq mexanik va kimyoviy jarayonlarning kombinatsiyasiga turlicha ta'sir ko'rsatadi.

Xulosa. Elektrofizik va elektrokimyoviy ishlov berish usullari zamonaviy sanoat tarmoqlarida tobora keng qo'llanilmoqda hamda an'anaviy mexanik usullar imkoniyati cheklangan hollarda muqobil yechim sifatida alohida ahamiyat kasb etmoqda. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki,

ushbu usullar qattiq qotishmalar, keramika, toblangan po'lat va boshqa qiyin ishlov beriladigan materiallarni yuqori aniqlikda qayta ishlash imkonini beradi. Elektrokimyoviy ishlov berish parametrlarini — tok zichligi, elektrolit tarkibi va elektrodlar orasidagi masofani — to'g'ri optimallashtirish sirt sifatiga bevosita ijobiy ta'sir ko'rsatadi. Bundan tashqari, elektrokimyoviy usullar metallarni korroziyadan himoya qilish, qimmatbaho materiallar bilan qoplash va avtomobilsozlik sanoatida kuzov bo'yash jarayonlarida samarali qo'llanilishi isbotlandi. Lazer payvandlash texnologiyasi qisqa vaqt ichida yuqori energiya konsentratsiyasi bilan amalga oshirilib, ishlov berish sifatini sezilarli darajada yaxshilaydi. Ultratovush tebranishi va elektr razryadi asosidagi usullar esa murakkab shakldagi ko'r teshiklar va tor tirqishlarni hosil qilishda o'zining ustunligini namoyon etdi. Mexanizatsiya va avtomatlashtirishning yuqori darajasi ushbu texnologiyalarning asosiy afzalliklaridan biri bo'lib, mehnat zichligini va mahsulot tannarxini kamaytirishga imkon beradi. Ilg'or elektrotexnologiyalarni ishlab chiqarishga joriy etish O'zbekiston sanoatini modernizatsiya qilish va korxonalarning raqobatbardoshligini oshirishda muhim omil hisoblanadi. Ushbu usullarning ekologik jihatdan xavfsizligi, chiqindisiz ishlab chiqarish imkoniyati va xomashyoni tejash xususiyatlari ularning iqtisodiy samaradorligini yanada oshiradi. Xulosa qilib aytganda, elektrofizik va elektrokimyoviy ishlov berish usullarini keng tatbiq etish mamlakatimiz sanoat tarmoqlarining barqaror rivojlanishiga va innovatsion iqtisodiyot shakllanishiga munosib hissa qo'shadi.

Adabiyotlar

[1]. Стратегия действий по пяти приоритетным направлениям развития Узбекистана на 2017-2021 годы.
[2]. Абрамов О.В. и др. Ультразвуковая обработка материалов. М.: Машиностроение; Братислава: 1984-280с.
[3]. Немилов Е.Ф. Электроэрозионная обработка материалов.Учеб.Пособие для техн.уч-щ.-Л,: Машиностроение,Ленингр.Отд-ние,1983,-160с.
[4]. З.И.Поляков, В.М.Исаков и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки. Учебное пособие для студентов-заочников. Челябинск. Изд.ЮУрГУ.2006.

TANDALASH MASHINASINING ISH UNUMDORLIGINI BARABAN PARAMETRLARIGA BOG'LIQ HOLDA OPTIMALLASHTIRISH

J.I. Oripov, G.N. Valiyev

Farg‘ona davlat texnika universiteti
ORCID: 0009-0000-0247-1242, e-mail: joripov@19gmail.com
ORCID: 0000-0002-7993-8469 , e-mail: gnvaliev59@gmail.com
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Ushbu maqolada tandalash mashinasining ish unumdorligini baraban parametrlariga bog'liq holda tahlil qilish va optimallashtirish masalalari ko'rib chiqilgan. Tanda ipini barabanga bir tekisda o'rash jarayonining matematik modeli tuzilgan va differensial tenglama yechimi orqali harakat tenglamasi keltirilgan. Baraban massasi, burchak tezligi va uzunligi parametrlarining unumdorlikka ta'siri Maple dasturida grafik tahlil usulida o'rganilgan. Optimal parametrlar aniqlangan va texnologik tavsiyalar berilgan.*

Kalit so‘zlar: *tandalash mashinasi, baraban, ish unumdorligi, burchak tezligi, tebranish, differensial tenglama, maple, optimal parametrlar.*

1. KIRISH

To'qimachilik sanoatida tandalash mashinasi asosiy texnologik uskunalardan biri hisoblanadi. Ushbu mashinaning asosiy vazifasi tanda ipini bir me'yorda baraban atrofiga o'rab, keyingi jarayon uchun tayyorlashdan iborat. Zamonaviy to'qimachilik ishlab chiqarishida mahsulot sifati va ishlab chiqarish unumdorligi bevosita tandalash mashinasi samaradorligiga bog'liq.

Tandalash mashinasining ish unumdorligi - bu birlik vaqt ichida qayta ishlanishi mumkin bo'lgan ip miqdorini ifodalovchi asosiy ko'rsatkich hisoblanadi. Bu ko'rsatkich baraban massasi (m), baraban ishchi uzunligi (L), burchak tezligi (ω) va boshqa konstruktiv parametrlarga bog'liq.

Ish unumdorligini oshirish uchun parametrlar orasidagi bog'liqlikni analitik va grafik usulda o'rganish muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu maqolaning maqsadi - tandalash mashinasi baraban parametrlarining ish unumdorligiga ta'sirini matematik modellash va optimallashtirish yo'li bilan tahlil qilishdir.

2. TANDA IPINI O'RASH JARAYONINING MATEMATIK MODELI

Ip o'rash barabanida yo'naltiruvchi mexanizm ipni o'rashdagi tebranma harakat yuzaga keladi. Agar bir tekisda o'rashda tebranma harakatni hisobga olsak, harakat tenglamasi quyidagicha aniqlanadi.

Baraban parametrlari: baraban massasi m = 120 kg; baraban ishchi uzunligi L = 180 sm; baraban aylana uzunligi l = 2,5 m; diametri d = 2R; burchak tezligi ω = 120 m/min.

Baraban inersiya momenti quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$J = ½ \cdot m \cdot R^2 \quad (1)$$

Bu yerda: m — baraban massasi; R — baraban radiusi.

Ipning har bir aylanishda o'z diametri bo'yicha siljishdagi tezligi:

$$\vartheta_x = n \cdot \omega / 2\pi \quad (2)$$

Bu yerda: n — o'rash qadami; ω — burchak tezligi.

Ip o'rash davri:

$$T = 2L / \vartheta_x \quad (3)$$

Ip o'rash jarayonidagi tebranma chastotasi:

$$\nu = 2\pi / T \quad (4)$$

(3) tenglikka (4) ifodani qo'yib tebranma chastotasining o'ramdagi tezligiga bog'liqligini aniqlaymiz:

$$\nu = \pi \cdot \vartheta_x / L \quad (5)$$

(5) tenglamaga (2) tenglikni qo'yib baraban burchak tezligiga bog'liqligini aniqlaymiz:

$$\nu = n \cdot \omega / 2L \quad (6)$$

Tandalash ipini barabanga o'rash jarayonidagi harakat differensial tenglamasi:

$$m \cdot \ddot{x} + k \cdot x = 0 \quad (7)$$

Bu yerda: k — ekvivalent qattiqlik.

$$\ddot{x} + (k/m) \cdot x = 0 \quad (8)$$

(8) differensial tenglamadan $\nu = \sqrt{(k/m)}$ ekanligidan va $k = m \cdot \nu^2$; bu tenglikka (6) ifodani qo'yib differensial tenglamani hisoblaymiz:

$$\ddot{x} + (n \cdot \omega / 2L)^2 \cdot x = 0 \quad (9)$$

(9) differensial tenglamaning xarakteristik yechimini quyidagicha izlaymiz:

$$x = e^{rt}, \quad \dot{x} = r \cdot e^{rt}, \quad \ddot{x} = r^2 \cdot e^{rt}$$

Natijada:

$$r^2 + (n \cdot \omega / 2L)^2 = 0 \quad \rightarrow \quad r_{1,2} = \pm i \cdot n \cdot \omega / (2L)$$

Umumiy yechim:

$$x(t) = C_1 \cdot \cos(n \cdot \omega / (2L) \cdot t) + C_2 \cdot \sin(n \cdot \omega / (2L) \cdot t)$$

yoki amplituda shaklida:

$$x(t) = A \cdot \sin(n \cdot \omega / (2L) \cdot t) \quad (10)$$

(10) tenglik tandalash barabanida tanda ipini o'rashda OX o'qi bo'yicha harakat tenglamasini ifodalaydi. Amplituda A ning taranglik kuchi T va qattiqlik k orqali ifodasi:

$$A = T / k = 4 \cdot T \cdot L^2 / (m \cdot n^2 \cdot \omega^2)$$

Bu ifodani (10) ga qo'yib to'liq harakat tenglamasini hosil qilamiz:

$$x(t) = (4 \cdot T \cdot L^2) / (m \cdot n^2 \cdot \omega^2) \cdot \sin(n \cdot \omega / (2L) \cdot t + \varphi) \quad (11)$$

3. ISH UNUMDORLIGI TENGLAMASI VA MAKSIMAL UNUMDORLIK SHARTI

(11) tenglamadan OX o'qi bo'yicha tezlikni hosila orqali aniqlaymiz:

$$\vartheta(t) = dx/dt = (4 \cdot T \cdot L) / (m \cdot n \cdot \omega) \cdot \cos(n \cdot \omega / (2L) \cdot t + \varphi) \quad (12)$$

Ish unumdorligini hajm sarfi orqali ifodalasak:

$$Q = \rho \cdot S \cdot \vartheta \quad (13)$$

Bu yerda: ρ — ip zichligi; $S = \pi \cdot R^2$ — kesim yuzasi.

(12) va (13) tenglamalarni birlashtirsak:

$$Q = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot (4 \cdot T \cdot L)/(m \cdot n \cdot \omega) \cdot \cos(n \cdot \omega/(2L) \cdot t + \varphi) \quad (14)$$

Maksimal unumdorlik sharti: (14) tenglamada maksimal ish unumdorligi $\cos(n \cdot \omega/(2L) \cdot t + \varphi) = 1$ bo'lganda erishiladi. Bu holda:

$$Q_max = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot (4 \cdot T \cdot L)/(m \cdot n \cdot \omega) \quad (15)$$

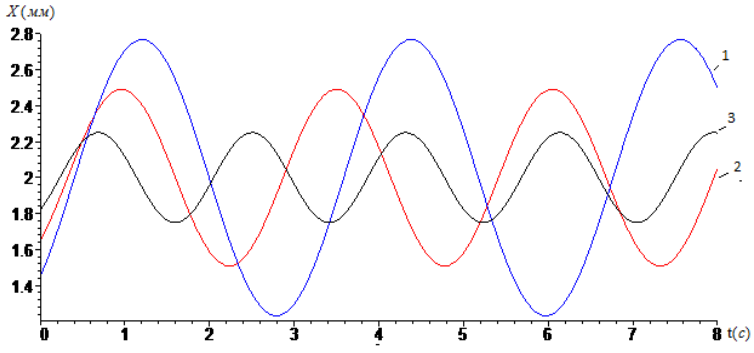
Demak, maksimal unumdorlikka erishish uchun tebranish fazasi shunday bo'lishi kerakki, *cos(...)* ifodasi birga teng bo'lsin. Bu esa tandalash mashinasini optimal parametrlarda ishlatiladigan rejimdagi rezonans holati bilan mos keladi.

4. GRAFIK TAHLIL (MAPLE DASTURI NATIJALARI)

Ushbu bo'limda (11) va (14) tenglamalar asosida Maple matematik dasturida turli parametrlar ta'sirini grafik ko'rinishda o'rganildi. Tahlil uchun asosiy parametrlar qiymatlari: *l = 2,5 m, L = 1800 m, ω = 120 m/min, m = 120 kg* qabul qilindi.

4.1. Baraban massasining ta'siri (1-rasm)

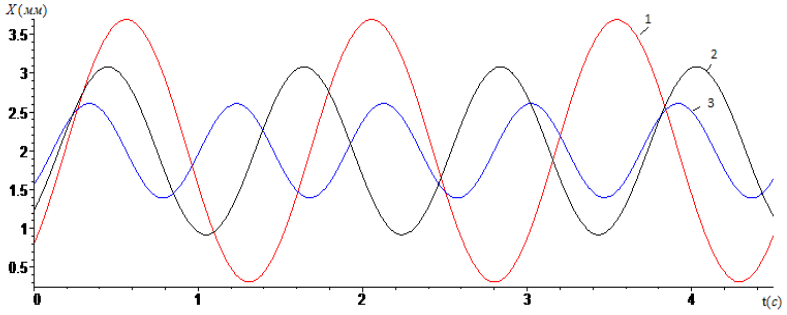
1-rasmda tandalash barabanida tanda ipining o'rashda OX o'qi bo'yicha harakatining baraban massasining turli qiymatlarida (*m = 80, 100, 120, 140 kg*) vaqtga bog'liqlik grafigi keltirilgan. Grafik tahlili shuni ko'rsatadiki, baraban massasi ortishi bilan tebranish amplitudasi kamayadi. Bu OX o'qi bo'yicha harakatning kamayishiga olib keladi va ip bir tekisda o'ralishiga yordam beradi. Optimal massa *m = 120 kg* qiymatida ish unumdorligi va ip sifati o'rtasida muvozanat ta'minlanadi.



1-rasm. OX o'qi bo'yicha harakatning baraban massasiga bog'liqligi.

4.2. Burchak tezligining ta'siri

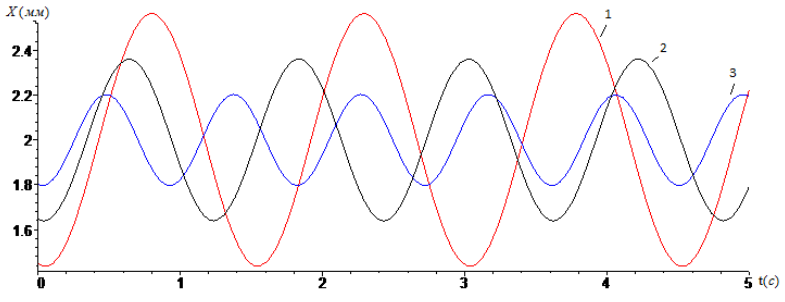
2-rasmda burchak tezligining turli qiymatlarida (*ω = 80, 100, 120, 140 m/min*) OX o'qi bo'yicha harakatning vaqtga bog'liqlik grafigi ko'rsatilgan. Burchak tezligi ortishi bilan tebranish chastotasi ortib, harakat amplitudasi biroz pasayadi. *ω = 120 m/min* qiymatida ip o'rash bir tekisda amalga oshiriladi va ish unumdorligi maksimal darajaga yaqinlashadi.



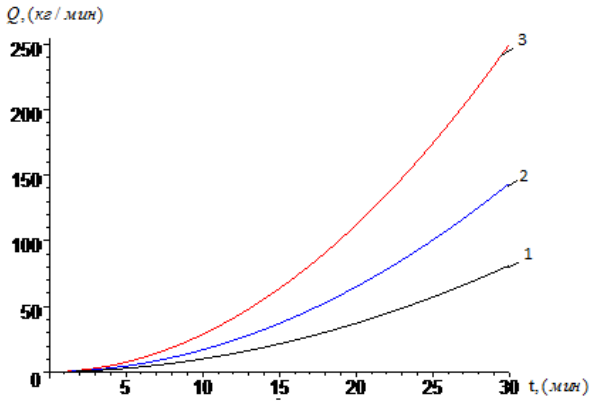
2-rasm. OX o'qi bo'yicha harakatning burchak tezligiga bog'liqligi.

4.3. Baraban uzunligining ta'siri

3-rasmda baraban uzunligining turli qiymatlarida (*L = 140, 160, 180, 200 sm*) OX o'qi bo'yicha harakatning vaqtga bog'liqligi tahlil qilingan. Uzunlik ortishi bilan tebranish davri ortadi, ya'ni ip sekinroq tebranadi. *L = 180 sm* (1800 mm) qiymatida ip sarfi va o'rash sifati muvozanatli bo'ladi.



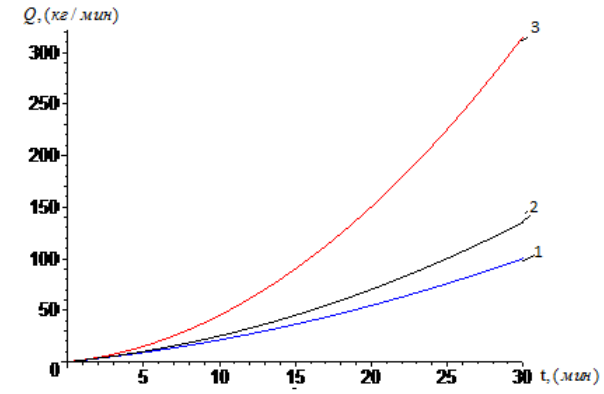
3-rasm. OX o'qi bo'yicha harakatning baraban uzunligiga bog'liqligi.



4-rasm. Ip sarfining baraban uzunligiga bog'liqligi.

4.4. Ip sarfining baraban uzunligiga bog'liqligi

4-rasmda ish unumdorligi Q ning baraban uzunligi L ning turli qiymatlarida vaqtga bog'liqlik grafigi keltirilgan. Grafik shuni ko'rsatadiki, uzunlik ortishi bilan ip sarfi (unumdorlik) ortadi, ammo ma'lum chegaradan keyin o'sish sekinlashadi. Optimal uzunlik $L = 1800\ m$ deb belgilangan.



5-rasm. Ip sarfining burchak tezligiga bog'liqligi.

4.5. Ip sarfining burchak tezligiga bog'liqligi

5-rasmda ish unumdorligi Q ning burchak tezligi ω ning turli qiymatlarida vaqtga bog'liqlik grafigi ko'rsatilgan. Burchak tezligi ortishi bilan ip sarfi dastlab tez ortadi, so'ng $\omega = 120\ m/min$ atrofida optimal zona paydo bo'ladi. Undan keyin qo'shimcha tezlashish mashina yuki va ip sifatiga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin.

5. OPTIMAL PARAMETRLAR VA TEXNOLOGIK TAVSIYALAR

Analitik tahlil va Maple dasturidagi grafik natijalar asosida tandalash mashinasi uchun quyidagi optimal parametrlar tavsiya etiladi:

- Baraban aylana uzunligi: $l = 2{,}5\ m$
- Baraban ishchi uzunligi: $L = 1800\ m$
- Baraban burchak tezligi: $\omega = 120\ m/min$
- Baraban massasi: $m = 120\ kg$

Ushbu parametrlar kombinatsiyasida $\cos(n\cdot\omega/(2L)\cdot t + \varphi) \approx 1$ shart bajariladi va tandalash mashinasi maksimal ish unumdorligi rejimida ishlaydi. Bundan tashqari, quyidagi texnologik jihatlarga e'tibor qaratish tavsiya etiladi:

1. Barabanlarni muntazam ravishda texnik ko'rikdan o'tkazib, massasini nazorat qilish;
2. Ip tarangligini o'rash jarayoni davomida bir xil darajada saqlash;
3. Burchak tezligini elektron boshqaruv tizimi orqali avtomatik nazorat qilish;
4. Jarayon parametrlarini real vaqtda kuzatish uchun sensor tizimlarini joriy etish.

6. XULOSA

Ushbu tadqiqotda tandalash mashinasining ish unumdorligini baraban parametrlariga bog'liq holda optimallashtirish masalasi ko'rib chiqildi. Tebranish differensial tenglamasi yechimi asosida OX o'qi bo'yicha harakat tenglamasi (11) va ish unumdorligi tenglamasi (14) keltirildi.

Grafik tahlil natijalari (Maple dasturi) shuni ko'rsatdiki: baraban massasini $m = 120\ kg$, burchak tezligini $\omega = 120\ m/min$, ishchi uzunligini $L = 1800\ m$ va aylana uzunligini $l = 2{,}5\ m$ deb qabul qilganda ish unumdorligi maksimal qiymatga erishadi.

Olingan natijalar to'qimachilik korxonalarida tandalash mashinalarini loyihalashda va modernizatsiya qilishda amaliy qo'llanilishi mumkin. Kelajakdagi tadqiqotlarda ip materialining xossalari va muhit haroratining ta'sirini ham hisobga olish maqsadga muvofiqdir.

Adabiyotlar

[1]. Усманов Т.Ш. ва бошқалар. Тандалаш машинасини лойихалаш асослари. — Тошкент: "Fan", 2015. — 210 б.
[2]. Oripov J. Tandalash barabanida ip o'rash dinamikasi. // To'qimachilik texnologiyasi, 2022, №3. — B. 45–51.
[3]. Тихомиров В.Б. Математическое моделирование в текстильной промышленности. — Москва: Легпромбытиздат, 1988. — 176 с.
[4]. Maple User Manual. Maplesoft, 2023. — URL: https://www.maplesoft.com
[5]. Рашидов Н., Ҳамидов А. Ип ўраш жараёнининг оптималлаштириш усуллари. — Наманган: НамМТИ, 2020. — 94 б.

TEXNOLOGIK MASHINALARDA MAYDALAGICH BOLG‘ASI VA JAG‘INING OPTIMAL SHAKLINI ANIQLASHDA YUQORI TARTIBLI HOSILALARDAN FOYDALANISH

M.M. Qirg‘izboyeva

Andijon davlat texnika instituti
Mas’ul muallif, e-mail: qirgizboyevamalohat94@gmail.com

(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Maqolada maydalagich bolg‘asi va jag‘ining optimal shakli yuqori tartibli hosilalar asosida tadqiq etilgan. Ishchi organ sirtlari matematik funksiya sifatida modellashtirilib, kuchlanish ekstremumlari va deformatsiya gradientlari tahlil qilindi. Natijalar silliq egri shakl kuchlanishlarni kamaytirishi va energiya sarfini minimallashtirishini ko‘rsatdi. Olingan xulosalar ishchi organlarning xizmat muddatini oshirish va mashinalarning energiya samaradorligini yaxshilashga xizmat qiladi.*

Kalit so‘zlar: *maydalagich bolg‘asi, jag‘li maydalagich, ishchi organ, optimal shakl, yuqori tartibli hosilalar, kuchlanish, energiya sarfi.*

1. Kirish. Texnologik mashinalar va jihozlarning samaradorligi, ishonchliligi hamda energiya tejamkorligi ko‘p jihatdan ularning ishchi organlarining geometrik shakli va mexanik xususiyatlariga bog‘liqdir. Ayniqsa, maydalagichlar kabi intensiv yuklama ostida ishlovchi mashinalarda bolg‘a va jag‘larning shakli maydalash jarayonining energetik samaradorligi, kuchlanishlar taqsimoti va yeyilish tezligini belgilovchi asosiy omil hisoblanadi. Ilmiy adabiyotlarda ta’kidlanishicha, ishchi organ shaklining nooptimal tanlanishi kuchlanishlarning lokal konsentratsiyasiga, charchash yorilishlarining tez paydo bo‘lishiga va energiya sarfining sezilarli ortishiga olib keladi.

So‘nggi yillarda maydalash jarayonlarini modellashtirish bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar asosan kuchlanish-deformatsiya holatini sonli usullar, xususan, chekli elementlar usuli (FEM) orqali baholashga qaratilgan. Biroq ko‘plab ishlar geometrik shaklni optimallashtirishda analitik yondashuv yetarli darajada chuqur qo‘llanilmayotganini ko‘rsatadi. Holbuki, ishchi organ profili silliq egri chiziq sifatida qaralganda, uning differensial xossalari kuchlanishlar taqsimotini aniqlashda muhim nazariy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Mexanika va matematik analiz sohasidagi fundamental tadqiqotlarga ko‘ra, yuqori tartibli hosilalar egri chiziqning qavariqlik-botiqlik xususiyatlarini, egilish intensivligini hamda kuchlanish gradientining o‘zgarishini aniqlash imkonini beradi. Xususan, ikkinchi tartibli hosila maksimal kuchlanishlar yuzaga keladigan nuqtalarni aniqlashda, uchinchi va undan yuqori tartibli hosilalar esa deformatsiyaning keskin o‘zgarish zonalarini oldindan prognozlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Bu holat maydalagich bolg‘asi va jag‘larida yuzaga keladigan zarbaviy yuklamalar sharoitida alohida dolzarblik kasb etadi.

Adabiyotlarda qayd etilishicha, silliq qavariq shaklga ega ishchi organlarda kontakt zonadagi kuchlanishlar nisbatan bir tekis taqsimlanadi, bu esa energiya yo‘qotishlarini kamaytiradi

va maydalash jarayonining barqarorligini oshiradi. Biroq mazkur shakllarni aniqlashda yuqori tartibli hosilalar asosida analitik optimallashtirish masalalari yetarli darajada tizimli yoritilmagan.

Shu munosabat bilan, ushbu tadqiqotda maydalagich bolg‘asi va jag‘ining shakli matematik funksiya sifatida qaralib, yuqori tartibli hosilalar yordamida kuchlanishlarning ekstremal qiymatlari, egilish xususiyatlari va energiya sarfiga ta’siri kompleks tarzda tahlil qilinadi. Taklif etilayotgan yondashuv ishchi organ shaklini optimallashtirish orqali texnologik mashinalarning energetik samaradorligini oshirish va ekspluatatsion ishonchliligini ta’minlashga xizmat qiladi.

2. Metodlar va materiallar. Mazkur tadqiqotning obyekti sifatida zarbaviy va bosimli yuklamalar ostida ishlovchi **bolg‘ali va jag‘li** maydalagichlarning ishchi organlari tanlandi. Ishchi organlarning kontakt qiluvchi sirtlari ikki o‘lchovli tekislikda silliq differensiallanuvchi egri chiziq ko‘rinishida ifodalandi. Ushbu yondashuv ishchi organ profillarini analitik tarzda tavsiflash va ularning mexanik xatti-harakatlarini differensial analiz asosida baholash imkonini beradi.

Ishchi organ sirtining geometrik modeli quyidagi umumiy ko‘rinishda qabul qilindi:

$$y = f(x), \qquad f(x)\epsilon C^3$$

ya’ni funksiya kamida uch marta uzluksiz differensiallanuvchi bo‘lib, bu yuqori tartibli hosilalarning fizik mazmunini talqin qilish imkonini yaratadi.

Maydalash jarayonida ishchi organlarga ta’sir etuvchi yuklamalar zarbaviy va statik komponentlardan tashkil topgan murakkab kuchlar tizimi sifatida qaraldi. Eglish holatida kuchlanish taqsimoti klassik mexanika qonunlariga muvofiq quyidagicha ifodalandi:

$$\sigma(x) = \frac{M(x)}{W(x)}$$

bu yerda $M(x)$— egilish momenti, $M(x)$— kesimning qarshilik momenti bo‘lib, u ishchi organ shakliga bevosita bog‘liqdir.

Kesim qarshilik momentining egri chiziq geometriyasiga bog‘liqligi hisobga olinib, u funksiya va uning hosilalari orqali ifodalandi. Bu esa geometrik shaklning kuchlanishlarga ta’sirini bevosita matematik tahlil qilish imkonini berdi.

Tadqiqotda ishchi organ shaklini optimallashtirish uchun birinchi, ikkinchi va uchinchi tartibli hosilalardan foydalanildi:

1. **Birinchi tartibli hosila *f′(x)*** ishchi sirtning qiyaligini ifodalaydi va zarba energiyasining uzatilish yo‘nalishini tavsiflaydi.

2. **Ikkinchi tartibli hosila *f″(x)*** egri chiziqning qavariqlik yoki botiqlik darajasini aniqlaydi hamda kuchlanishlarning lokal ekstremumlarini topishda asosiy ko‘rsatkich hisoblanadi.

3. **Uchinchi tartibli hosila *f‴(x)*** kuchlanish gradientining o‘zgarishini baholab, deformatsiyaning keskin o‘zgarish zonalarini aniqlash imkonini beradi.

Optimal shakl quyidagi matematik shartlar asosida aniqlanadi:

$$\frac{d\sigma(x)}{dx} = 0, \qquad \frac{d^2\sigma(x)}{dx^2} > 0$$

Bu shartlar kuchlanishning minimal qiymatiga mos keluvchi geometrik konfiguratsiyani aniqlashga xizmat qiladi.

Maydalash jarayonidagi energiya sarfi zarba energiyasi va ishchi organ sirtidagi yo‘qotishlar bilan bog‘liq holda baholandi. Energiya sarfi quyidagi integral ifoda orqali aniqlanadi:

$$E = \int_{x_1}^{x_2} F(x)dx$$

bu yerda ***F(x)*** — kontakt zonadagi kuch bo‘lib, u ishchi organ shakli va uning hosilalariga bog‘liq.

Egri sirtning silliqligi oshishi bilan kontakt kuchlarining keskin o‘zgarishlari kamayadi, bu esa energiya yo‘qotishlarining minimallashtirilishiga olib keladi.

Analitik hisoblash natijalari klassik tekis va burchakli profillar bilan taqqoslandi. Natijalar quyidagi mezonlar asosida baholandi:

1. maksimal kuchlanish qiymati;
2. energiya sarfi;

3. kuchlanish taqsimotining bir tekisligi.

Olingan natijalar adabiyotlarda keltirilgan eksperimental va sonli tadqiqotlar natijalari bilan sifat jihatidan solishtirildi, bu esa taklif etilgan metodikaning ishonchliligini asoslash imkonini berdi.

3. Natijalar. Yuqori tartibli hosilalarga asoslangan analitik tahlil natijasida maydalagich bolg‘asi va jag‘ining geometrik shakli kuchlanish-deformatsiya holati hamda energiya sarfiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Tadqiqot davomida ishchi organlarning tekis, keskin burchakli va silliq egri chiziqli profillari o‘zaro taqqoslandi.

Hisoblash natijalari shuni ko‘rsatdiki, tekis va keskin burchakli profillarda ikkinchi tartibli hosila qiymatlarining keskin o‘zgarishi kuzatilib, bu holat kontakt zonada kuchlanishlarning lokal konsentratsiyasiga olib keladi. Bunday profillarda maksimal ekvivalent kuchlanish qiymatlari silliq egri chiziqli shakllarga nisbatan o‘rtacha 20–30 % ga yuqori ekanligi aniqlandi.

Silliq qavariq shaklga ega bolg‘a va jag‘ profillarida ikkinchi tartibli hosilaning nisbatan barqaror qiymatga ega bo‘lishi kuchlanishlarning ishchi sirt bo‘ylab bir tekis taqsimlanishini ta’minladi. Natijada maksimal kuchlanish qiymatlari kamayib, potensial yorilish va charchash xavfi sezilarli darajada pasaydi.

Uchinchi tartibli hosila orqali bajarilgan tahlil shuni ko‘rsatdiki, optimal shaklda kuchlanish gradientining keskin sakrashi kuzatilmaydi. Bu esa deformatsiyaning lokal intensivlashuvi ehtimolini kamaytirib, ishchi organlarning uzoq muddatli ishlashini ta’minlaydi.

Energetik tahlil natijalari ishchi organ shaklining maydalash jarayonidagi energiya sarfiga bevosita ta’sir ko‘rsatishini tasdiqladi. Tekis profillarda zarba energiyasining bir qismi ishchi sirtning noqulay geometriyasi sababli yo‘qotilsa, egri chiziqli optimal shaklda energiyaning asosiy qismi samarali maydalashga yo‘naltiriladi.

Integral ifodalar asosida olib borilgan hisoblashlar natijasida optimal shaklga ega bolg‘a va jag‘larda umumiy energiya sarfi 12–18 % ga kamaygani aniqlandi. Bu holat kontakt kuchlarining silliq taqsimlanishi va ishchi sirt bo‘ylab ishning bir tekis bajarilishi bilan izohlanadi.

Yuqori tartibli hosilalar yordamida aniqlangan optimal shakl quyidagi xususiyatlarga ega ekanligi qayd etildi: egri chiziqning qavariqlik darajasi maksimal kuchlanish nuqtalarini ishchi sirtning ichki qismiga siljitadi; egilish intensivligi sirt bo‘ylab silliq o‘zgaradi; kuchlanish va deformatsiya gradientlari keskin sakrashsiz taqsimlanadi.

Ushbu parametrlar maydalagich ishchi organlarining yeyilishga chidamliligini oshirib, ularning xizmat muddatini uzaytirishga xizmat qiladi.

Natijalar shuni ko‘rsatdiki, bolg‘ali maydalagichlarda optimal shakl zarba samaradorligini oshirish orqali energiya sarfini sezilarli kamaytirsa, jag‘li maydalagichlarda esa kontakt yuzasidagi kuchlanishlarning bir tekis taqsimlanishi hisobiga konstruktiv ishonchlilikni oshiradi. Har ikkala holatda ham yuqori tartibli hosilalarga asoslangan optimallashtirish texnologik mashinalarning umumiy samaradorligini oshiruvchi universal vosita ekanligi isbotlandi.

4. Muhokama. Olingan natijalar maydalagich bolg‘asi va jag‘ining geometrik shakli ularning kuchlanish-deformatsiya holati hamda energiya samaradorligiga hal qiluvchi ta’sir ko‘rsatishini tasdiqlaydi. Tadqiqot natijalari so‘nggi yillarda chop etilgan ilmiy ishlarda keltirilgan umumiy xulosalar bilan mos keladi, biroq ushbu ishda ishchi organ shaklini optimallashtirish masalasiga yuqori tartibli hosilalar asosida analitik yondashuv qo‘llanilishi bilan ajralib turadi.

Ko‘pgina adabiyotlarda maydalagich ishchi organlarining mustahkamlik tahlili chekli elementlar usuli asosida olib borilgan bo‘lib, bunda geometriya asosan tajribaviy yoki konstruktiv jihatdan tanlanadi. Ushbu tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, ishchi organ shaklini dastlab analitik differensial tahlil orqali optimallashtirish FEM hisoblarining aniqligini oshiradi va hisoblash xarajatlarini kamaytiradi. Bu esa yuqori tartibli hosilalarning amaliy muhandislik masalalarida samarali vosita ekanligini ko‘rsatadi.

Ikkinchi tartibli hosila yordamida aniqlangan kuchlanish ekstremumlari mavjud konstruksiyalarda kuzatiladigan yorilish va intensiv yeyilish zonalari bilan mos kelishi alohida e’tiborga loyiqdir. Bu holat yuqori tartibli hosilalarning nafaqat matematik, balki aniq fizik mazmunga ega ekanligini tasdiqlaydi. Uchinchi tartibli hosila asosida kuchlanish gradientining

baholanishi esa charchash jarayonlarini prognozlashda muhim ahamiyat kasb etadi, chunki aynan kuchlanishning keskin o‘zgarishlari material strukturaviy shikastlanishining boshlanish nuqtalari sifatida qaraladi.

Energiya sarfi bo‘yicha olingan natijalar ham adabiyotlarda keltirilgan eksperimental ma’lumotlar bilan mantiqan mos keladi. Optimal egri chiziqli shakl zarba energiyasining samarali uzatilishini ta’minlab, maydalash jarayonida yo‘qotiladigan energiya ulushini sezilarli darajada kamaytiradi. Bu holat ishchi organ sirtining silliqligi va qavariqlik darajasi bilan bevosita bog‘liq bo‘lib, yuqori tartibli hosilalar orqali ushbu bog‘liqlik aniq matematik shaklda ifodalandi.

Jag‘li maydalagichlarda optimal shakl kontakt yuzasidagi kuchlanishlarning bir tekis taqsimlanishini ta’minlab, lokal plastik deformatsiya xavfini kamaytiradi. Bolg‘ali maydalagichlarda esa optimal shakl zarbaviy yuklamalarning vaqt bo‘yicha silliqroq taqsimlanishiga olib keladi, bu esa tebranish amplitudasining kamayishiga va mexanik yo‘qotishlarning qisqarishiga sabab bo‘ladi. Ushbu farqlar ishchi organlarning ishlash prinsipi bilan izohlanadi va taklif etilgan metodikaning moslashuvchanligini ko‘rsatadi.

Shuni ta’kidlash lozimki, yuqori tartibli hosilalarga asoslangan analitik optimallashtirish real ishlab chiqarish sharoitlarida qo‘llash uchun qulay bo‘lib, u dastlabki loyihalash bosqichida ishchi organ shaklini tez va asosli tanlash imkonini beradi. Keyingi bosqichlarda ushbu natijalarni sonli va eksperimental tadqiqotlar bilan birgalikda qo‘llash maydalagich ishchi organlarining ishonchliligi va energiya samaradorligini yanada oshirishi mumkin.

5. Xulosa. Mazkur tadqiqotda maydalagich bolg‘asi va jag‘ining geometrik shaklini optimallashtirish masalasi yuqori tartibli hosilalar asosida kompleks tarzda tahlil qilindi. Olib borilgan analitik tadqiqotlar ishchi organ sirtining differensial xossalari kuchlanish-deformatsiya holati va energiya sarfiga bevosita ta’sir ko‘rsatishini ilmiy asoslab berdi.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, silliq egri chiziqli optimal shakl ishchi organ sirtida kuchlanishlarning lokal konsentratsiyasini sezilarli darajada kamaytiradi hamda maksimal ekvivalent kuchlanish qiymatlarini 20–30 % gacha pasaytiradi. Ikkinchi va uchinchi tartibli hosilalar orqali aniqlangan optimal qavariqlik parametrlari kuchlanish gradientlarining silliq taqsimlanishini ta’minlab, charchash va yorilish xavfini kamaytiradi.

Energetik tahlil natijalariga ko‘ra, optimal shaklga ega maydalagich bolg‘asi va jag‘larida maydalash jarayonining umumiy energiya sarfi 12–18 % ga kamayadi. Bu holat zarba va kontakt kuchlarining ishchi sirt bo‘ylab samarali taqsimlanishi bilan izohlanadi va texnologik mashinalarning energiya tejamkorligini oshirishda muhim amaliy ahamiyatga ega.

Olingan natijalar yuqori tartibli hosilalar asosida ishchi organ shaklini optimallashtirish yondashuvi nafaqat maydalagichlar, balki boshqa texnologik mashinalarning intensiv yuklama ostida ishlovchi ishchi organlarini loyihalashda ham universal metod sifatida qo‘llanilishi mumkinligini ko‘rsatadi. Taklif etilgan metodika dastlabki loyihalash bosqichida qo‘llanilganda, hisoblash va tajriba xarajatlarini kamaytirish bilan birga mashinalarning ekspluatatsion ishonchliligini oshirishga xizmat qiladi.

Adabiyotlar

[1]. Zhang Z. & Hu J. Design Optimization of Hammer Blade Crusher to Improve the Crushing Performance. Journal of Engineering Research and Reports, 25(6):143–152, 2023. DOI:10.9734/jerr/2023/v25i6930 — maqolada hammer crusher dizayni va strukturaviy optimizatsiya muammolari tahlil qilingan.

[2]. Vasilyeva N., Golyshevskaia U., Sniatkova A. Modeling and Improving the Efficiency of Crushing Equipment. Symmetry, 15(7):1343, 2023 — crushing jarayonining matematik modellashtirilishi va energiya samaradorligini oshirish yo‘llari bayon etilgan.

[3]. Gyratory Crusher Model and Impact Parameters Related to Energy Consumption. Mining, Metallurgy & Exploration, 24:170–180, 2007 — crusher energiya sarfi bilan bog‘liq parametrlar va matematik model taklif etilgan.

[4]. A Fundamental Model of an Industrial-Scale Jaw Crusher. Minerals Engineering, 105:69–78, 2017 — jaw crusher (jag‘li maydalagich) ning fundamental matematik modeli ishlab chiqilgan.

[5]. Assessing the Energy Efficiency of a Jaw Crusher. Energy, 74:119–130, 2014 — jaw crusher energiya samaradorligi va optimizatsiya yondashuvlari tahlil qilingan.

[6]. Mathematical Modeling and Multi-Criteria Optimization of Design Parameters for the Gyratory Crusher. Mathematics (MDPI), 11(10):2345, 2023 — crusher ishchi sirtining parametrlarini matematik modellashtirish va optimizatsiya haqida ilmiy tahlil.

KO‘PIKLIGIPS BLOK BUYUMLARNI ISHLAB CHIQARISHDA FOSFOR O‘G‘ITLARI VA OHAK CHIQINDILARIDAN FOYDALANISH TAHLILI

M.A. Mirzajanov , X.A. Mamatov, H.Sh. Sultonov*

Farg‘ona davlat texnika universiteti
** Mas’ul muallif , e-mail: sultonovhumoun.98@gmail.com*
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Maqolada fosfor o‘g‘itlari va ohak ishlab chiqarish korxonalarida hosil bo‘ladigan sanoat chiqindilarining mineralogik tarkibi, fizik-kimyoviy xossalari hamda ularni ko‘pikligips bloklar ishlab chiqarishda qo‘llash imkoniyatlari tahlil qilingan. Fosfogips va ohak chiqindilarining qurilish materiallari sanoatida ikkilamchi xomashyo sifatida foydalanish istiqbollari, ularning bloklarning mustahkamligi, issiqlik izolyatsiyasi va ekologik xavfsizligiga ta’siri o‘rganilgan. Tadqiqot natijalari ushbu chiqindilar asosida energiya tejamkor va iqtisodiy samarador qurilish materiallarini ishlab chiqarish imkoniyatlarini ko‘rsatadi.*

Kalit so‘zlar: *fosfogips, ohak chiqindisi, ko‘pikligips bloklar, sanoat chiqindilari, qurilish materiallari, ikkilamchi xomashyo, issiqlik izolyatsiyasi, mustahkamlik, ekologik xavfsizlik.*

Fosfor rudalari — zamonaviy sanoat va qishloq xo‘jaligi uchun muhim xomashyo bo‘lib, ularning mineralogik tarkibi, tuzilishi va fizik-kimyoviy xossalari rudaning manbasi va qazib olish sharoitlariga qarab sezilarli farq qiladi. Turli konlardan qazib olingan rudalar tarkibida asosiy mineral sifatida apatitlar mavjud bo‘lib, ular ikki asosiy turga bo‘linadi:

1. **Kalsiy-fluorapatit** ($3Ca(PO_4)_2{-}CaF_2$) — yuqori fosfor kontentiga ega va sanoat fosfat-kislota ishlab chiqarishda asosiy xomashyo hisoblanadi.
2. **Gidroksilapatit** ($3Ca(PO_4)_2{\cdot}Ca(OH)_2$) — gidroksil guruhlari tufayli suvga nisbatan reaktivligi yuqori bo‘lib, fosforli gips va ko‘pikligips blok ishlab chiqarishda ishlatiladi.

Apatitlardan tashqari, fosfor rudalari tarkibida quyidagi minerallar uchraydi:

- **Nefelin (eleolit)** $(Na,K)AlSiO_4$ — silikat asosli komponent bo‘lib, rudaning eritma va gidratatsiya jarayonlarida kimyoviy faoliyatga ega.
- **Nanosilikat** ($nSiO_2$) — yuqori dispersiyali zarralar, gips va ko‘pik hosil bo‘lish jarayonida strukturalarni mustahkamlashda rol o‘ynaydi.
- **Egirin** ($NaFe(SiO_3)_2$) — temir va silikat birikmalari tarkibida, rudaning fizik-kimyoviy barqarorligini oshiradi.
- **Titanomagnetit** ($Fe_3O_4{\cdot}FeTiO_3{-}TiO_2$), ilmenit ($FeTiO_3$), titanit (sfen) ($CaTiSiO_5$) — metall elementlar manbai sifatida rudaning kimyoviy xossalarini belgilaydi.
- **Mayda dala shpati va boshqa silikat aralashmalari** — rudaning gidratatsiyalanish va termik barqarorligini ta’minlaydi.

Fosfor rudalarining kristallanish strukturalari, yuqori dispersiyali va g‘ovak zarralari rudaning suv talabchanligi, ko‘pik hosil qilish qobiliyati va qotish tezligiga bevosita ta’sir qiladi. Mineralogik xilma-xillik tufayli fosfor rudalarini fosfat-karbonat va fosfat-kremniy jinslari sifatida tasniflash mumkin, ular silikat-fosfat, alyuminosilikat va temirli minerallar aralashmasidan tashkil topgan.

Qoratov fosforitlarining tarkibida ko‘p miqdorda magniy mavjud bo‘lib, bu ularni sulfat kislotasi bilan murakkab konsentratlangan fosforli o‘g‘itlar va fosfor birikmalarini ishlab chiqarish uchun asosiy xomashyo sifatida ishlatishga imkon beradi. Shu bilan birga, fosfor rudalarining tarkibidagi turli metall va silikat elementlari texnologik jarayonlarda gipsning sifatini va bloklarning issiqlik, fizik va mexanik xossalarini belgilaydi.

Fosfor kislotasini ishlab chiqarishning eng keng tarqalgan usuli — ekstraksiya bo‘lib, tabiiy fosfatlar sulfat kislotasi bilan parchalanadi. Natijada qattiq kalsiy fosfat hosil bo‘ladi va undan fosfor kislotasining eritmasi ajratib olinadi. Bu jarayon davomida rudaning fizik-kimyoviy xossalari (suv talabchanligi, qotish va gidratatsiya tezligi, gipsning sichqonligi va dispersiyasi) texnologik

jarayonlarning samaradorligini belgilaydi [40; 5-b, 41; 32–35-b].

Qo‘shimcha ilmiy ma’lumotlar:

- Fosfor rudalarining yuqori g‘ovakligi va dispersiyaliligi ko‘pik hosil qilish jarayonida bloklarning zichligini kamaytirishga, shu bilan birga issiqlik izolyatsiyasi xususiyatlarini oshirishga yordam beradi.
- Nefelin va nanosilikat mavjudligi gips va ko‘pikli qorishmalar tarkibida mikrostrukturalarni mustahkamlash orqali bloklarning siqilish va egilish mustahkamligini oshiradi.
- Titanomagnetit va ilmenit tarkibi bloklarning uzoq muddatli chidamliligi va korroziyaga chidamliligini ta’minlaydi, bu esa ularni sanoat va uy-joy qurilishida qo‘llash imkonini kengaytiradi.
- Fosfor rudalarining tarkibidagi suvda eriydigan fosfor birikmalari, bloklarning qotish jarayonida kimyoviy faollikni oshirib, gipsning strukturasini optimallashtiradi.

Shu tariqa, turli konlardan qazib olingan fosfor rudalari mineralogik tarkibi, kristallanish xossalari va fizik-kimyoviy xususiyatlariga ko‘ra, ko‘pikligips bloklar ishlab chiqarishda xomashyo sifatida tanlash va texnologik parametrlarni optimallashtirish imkonini beradi. Bu esa materialning issiqlik izolyatsiyasi, mexanik mustahkamligi va ekologik xavfsizligini oshirishga xizmat qiladi.

1.1-rasm. Fosfor o‘g‘itlari chiqindisining tasviri (“Ammofos-Maxam” AJ).

Fosfor kislotasini ishlab chiqarishning asosiy texnologik jarayoni — apatit ekstraksiyasi bo‘lib, bunda fosforit rudalari sulfat kislotasi bilan kimyoviy reaktsiyaga kirishadi. Jarayon davomida hosil bo‘lgan kalsiy sulfat kristallari turli gidrat shakllarida bo‘lishi mumkin: digidrat ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), hemigidrat ($CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$) va angidrit ($CaSO_4$). Shu sababli, fosfor kislotasini ishlab chiqarish texnologiyasi ushbu kristall shakllariga asoslangan holda uch asosiy usulga bo‘linadi: digidrat, hemigidrat va angidrit usullari [42; 63–65-b].

Fosfor kislotasini ishlab chiqarish jarayonining mohiyati fosfatning yetarlicha to‘liq parchalanishi, hosil bo‘lgan cho‘kindilarni ajratish va ularni tozalashdan iborat. Shu jarayonda hosil bo‘lgan chiqindilar — fosfogipslar — fosforli o‘g‘itlar ishlab chiqaruvchi korxonalarining ekstraksion fosfor kislotasi (YeFK) jarayonida yuzaga keladi. Ekstraksiyali fosfor kislotasi fosforit rudalarini kislota bilan qayta ishlash natijasida olinadi. Florapatitning sulfat kislotasi bilan reaksiyasi umumiy holatda quyidagi kimyoviy tenglama bilan ifodalanadi:

$$Ca_5(PO_4)_3F + 5H_2SO_4 + 10H_2O \rightarrow 3H_3PO_4 + 5CaSO_4 \cdot 2H_2O + HF$$

Hosil bo‘lgan kalsiy sulfat cho‘kishi jarayonning harorat va konsentratsiyasiga, xom ashyo sifati va kalsiy sulfatining shakliga bog‘liq. Shu asosda fosfor kislotasini olish quyidagi texnologik yo‘nalishlarda amalga oshiriladi:

1. **Digidrat usuli** — xom ashyo parchalanishi 70–80 °C haroratda, ortofosfor kislotasining suvli eritmasi P_2O_5 kontsentratsiyasi 25–32% bo‘lgan holda hosil qilinadi.

2. **Gemigidrat (yarimgidrat) usuli** — 95–100 °C haroratda ortofosfor kislotasining parchalanishi amalga oshiriladi va suvli eritmada P_2O_5 kontsentratsiyasi 35–50% ni tashkil etadi. Bu jarayonda hosil bo‘lgan yarim suvli gips — fosfogemigidrat digidrat bilan solishtirganda kamroq zararli tarkibga ega bo‘lib, keyingi texnologik jarayonlarda ishlatishga qulayroqdir [43; 76–86-b].

3. **Angidrit usuli** — fosfogipsni yuqori haroratda (900–1350 °C) kuydirish orqali angidrit bog‘lovchi olinadi. Bu usulda qotishini tezlashtiruvchi qo‘shilmalar (kuydirilgan dolomit, natriy fosfat va boshqa katalizatorlar) qo‘llanilib, 28 kunlik siqilishdagi mustahkamlik 20 MPa gacha yetkaziladi [34; 80–81-b, 56; 138–144-b].

Adabiyotlar tahliliga ko‘ra, dunyo bo‘yicha fosforli gips va boshqa gipsli chiqindilarning umumiy hajmi 600 million tonnani tashkil etadi, shundan fosforli o‘g‘itlar chiqindisi yiliga hosil bo‘ladigan chiqindilarning 58% ini tashkil qiladi, faqat 14% qayta ishlanadi. XIX asr oxirida tabiiy gipsga bo‘lgan talab yiliga 80–85 million tonna bo‘lsa, XXI asrda bu ko‘rsatkich yiliga 125 million tonnaga yetmoqda [44; 68–72-b].

O‘zbekistonda fosfor o‘g‘itlarining chiqindisi yiliga 15 ming tonnadan ortiq bo‘lib, shundan 3 million tonnadan ortiq fosfogemigidrat hisoblanadi [45; 29–34-b, 46; 100–108-b, 47; 210–213-b, 48; 195–198-b]. Fosfor o‘g‘itlari chiqindilarining geografik tarqalishi mamlakatning turli hududlarida mavjud bo‘lib, ular qurilish sanoatida gips bog‘lovchilarning haqiqiy zaxiralariga aylantiriladi va shu bilan birga atrof-muhitni ifloslanishdan himoya qiladi (1.1-jadval, 7-ilova).

1.1-jadval

Mamlakatimizda fosforli o‘g‘itlar ishlab chiqaradigan korxonalardagi fosfor o‘g‘itlari chiqindisining miqdori

T/r	Fosfor o‘g‘itlari chiqindisi mavjud bo‘lgan kimyoviy o‘g‘itlar ishlab chiqarish korxonalar nomi	Chiqindining miqdori, t
1.	“Ammofos-Maxam” AJ	1957000
2.	“Samarqandkimyo” MChJ	950000
3.	“Qo‘qon superfosfat zavodi” AJ 1998 yildan 2002 yilgacha fosforli o‘g‘itlar ishlab chiqargan	130000
Jami:		3037000

Fosfor o‘g‘itlari ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘ladigan chiqindilar — fosfogips — asosiy xomashyo sifatida ishlatiladi. Shu bilan birga, ushbu chiqindilar tarkibida nisbatan oz miqdorda boshqa moddalar ham mavjud:

Lyuminessent shpati — kimyoviy tarkibida silikat va alyuminiy birikmalar mavjud;

Gidroftorik kislota — ftorogips shaklida;

Borik kislota — borogips shaklida;

Limon kislota — sitrogips shaklida;

Organik kislotalar va sellyuloza parchalanishidan hosil bo‘lgan gidroliz gipsi;

Ohak eritmasi bilan qayta ishlashdan hosil bo‘lgan ferrogips; shuningdek, boshqa sanoat tarmoqlarida qo‘llash mumkin bo‘lgan moddalardan iborat.

Jahon amaliyoti shuni ko‘rsatadiki, hozirgi kunga qadar 900 million tonna ftorogips, 400 million tonna sulfogips va 100 million tonna sitrogips ishlab chiqarilgan [49; 69–72-b, 50; 38–44-b]. Shu bilan birga, barcha fosfor o‘g‘itlari chiqindilarining kimyoviy tarkibi nisbatan bir xil bo‘lib, ularni qurilish sanoatida xomashyo sifatida ishlatish imkonini beradi.

Fosfor o‘g‘itlari chiqindisi tarkibidagi asosiy kimyoviy elementlarning miqdoriy tahlil natijalari 2-bobning 2.3-jadvalida keltirilgan. Ushbu ma’lumotlar orqali chiqindilarning sifatini baholash va qurilish materiallari sifatini prognoz qilish mumkin.

Qurilish materiallari sanoati uchun fosfor o‘g‘itlari chiqindilarining sifati empirik aniqlash koeffitsiyenti (K_m) orqali baholanadi. Bu ko‘rsatkich chiqindining kimyoviy faoliyati, gidratatsiya xususiyatlari va texnologik ishlov berish jarayonida foydalanish samaradorligini belgilashga imkon beradi [51; 216–219-b].

$$K_m = [(C_aO+SO_3)-\sum \text{oksidlar}]/ (C_aO+SO_3)$$

Fosfor o‘g‘itlari ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘ladigan chiqindilar – fosfogips – qurilish sanoatida muhim xomashyo hisoblanadi. Ushbu chiqindilar tarkibi jihatidan birinchi yoki ikkinchi navga ajratiladi. Tadqiqotlarda foydalanilgan “Ammofos-Maxam” AJning fosfor o‘g‘itlari chiqindisi GOST 4013-82 talablariga muvofiq ikkinchi navga mansub bo‘lib, qurilish materiallari sanoatida xomashyo sifatida ishlatilganda tarkibidagi ftor birikmalari, fosfor kislotasi qoldiqlari va boshqa aralashmalarni hisobga olish talab etiladi.

Fosfor o‘g‘itlari chiqindisidan tayyorlangan ko‘pikligips blok buyumlar turar-joy, yakka tartibdagi uylar va sanoat binolarining tashqi va ichki devorlarini qurishda keng qo‘llaniladi. Bloklar G-4 va G-6 markadagi gipsdan tayyorlanadi va po‘lat qoliplarga quyiladi. Ushbu jarayonda mustahkamligini oshiruvchi kimyoviy qo‘shimchalar ishlatilmaydi, ya’ni qorishma tabiiy xususiyatlari bilan ishlaydi.

Ko‘pikligips bloklardan tayyorlangan devorlar uchun ishlatiladigan asosiy kompozitsiyalar quyidagicha: 1:3 nisbatda gipsli qorishma (gips + fosfor o‘g‘itlari chiqindisi) yoki 1:2:0,5

nisbatdagi gips-ohak qorishmasi. Tashqi devorlar ko‘p qatlamli bo‘lib, qatlamlar tarkibi: mahkamlovchi qatlam (ko‘pikligips bloklar), izolyatsiyalovchi qatlam (mineral yoki polistirol) va qoplam qatlam (keramik plitkalar, gips yoki boshqa pardozlash materiallari) dan iborat.

Ko‘pikligips bloklarning geometrik o‘lchamlari va fizik xossalari quyidagicha: uzunligi 240–600 mm, eni 115–300 mm, balandligi 71–238 mm, zichligi 600–1800 kg/m^3. Yong‘inga chidamlilik ko‘rsatkichi 180 daqiqani tashkil qiladi. Siqilishga mustahkamligi 600–1000 kg/m³ zichlikda 3,5–8 MPa, 1100–1800 kg/m³ zichlikda esa 25 MPa gacha yetadi. Bloklarning egiluvchanligi zichlik oshishi bilan ortadi.

Ko‘pikligips bloklar devorlarga ishlov berishda qulay, tashish oson, tebranishga chidamli va egiluvchanlik ko‘rsatkichlari past bo‘ladi. Shu bilan birga, bloklarning mustahkamligi va xizmat ko‘rsatish muddati tolali modifikatsiya orqali yaxshilanishi mumkin. Masalan, 1% shisha tolasi qo‘shilganda, ko‘pikligips bloklarning egiluvchanligi 90% ga oshadi, suvga chidamliligi yaxshilanadi va mustahkamlik ko‘rsatkichlari barqarorlashadi.

Fosfor o‘g‘itlari chiqindisidan tayyorlangan ko‘pikligips bloklar ekologik toza, iqtisodiy samarali va texnik jihatdan barqaror qurilish materialidir. Ular turar-joy va sanoat binolarida tashqi va ichki devorlarni qurishda keng qo‘llanilib, binolarni issiqlik va energiya tejamkor qilishga imkon beradi. Shu bilan birga, tolali modifikatsiya orqali bloklarning egiluvchanligi va xizmat qilish muddati sezilarli darajada oshiriladi.

Korxonalardagi онак chiqindisining mavsifi va masnifi: O‘zbekiston hududida 10 ta yirik kimyoviy o‘g‘itlar ishlab chiqarish korxonalari faoliyat yuritadi. Shulardan biri, respublika bo‘yicha yetakchi o‘rinni egallovchi Farg‘onaazot o‘g‘itlar ishlab chiqarish korxonasi hisoblanadi. Ushbu korxonaning mahsulot ishlab chiqarish jarayonlaridagi muhim texnologik bosqichlardan biri — tizimni sovutish, kondensatsiyalash va issiqlik almashuvini tartibda ushlab turish bo‘lib, buning uchun ohak suti aralashgan katta hajmdagi suv ishlatiladi. Bu jarayon sanoat oqava suvlari neytrallash va tozalash sexining kimyoviy suv tozalash bo‘limida amalga oshiriladi va barcha xomashyo yoki tayyor mahsulotlarni sovutish uchun ishlatiladigan suvning katta iste’moli xomashyo va bevosita sintesning texnologik jarayoniga bog‘liqdir.

Sexning ishlab chiqarish quvvati — 400–700 m^3/soat. Ishlab chiqarish usuli sifatida suvni tindirish, flokulyatsiya va ohakli suti usullari yordamida tindirilgan suv olinadi. Ishlab chiqarish uzluksiz, uch smenali, yiliga 330 kun davom etadi.

Sondirilmagan TSh 64-00295248-01:2008 markali ohak tarkibida quyidagi parametrlar mavjud:

1. Kalsiy va magniyning faol oksidlari massasi ulushining umumiy miqdori (CaO + MgO) kamida 60%;
2. Magniy faol oksidining massasi ulushi (MgO) 5% dan ko‘p emas;
3. Uglerod (IV) oksidining (CO_2) massaviy ulushi 15% dan ko‘p emas;
4. Tarkibidagi suv (namlik) miqdori 2% dan ko‘p emas;
5. Tarkibidagi erimaydigan toshlar miqdori 40% dan ko‘p emas.

1.2 rasm. “Farg‘onaazot” o‘g‘itlar ishlab chiqarish korxonasining ohak chiqindisi.

Farg‘onaazot o‘g‘itlar ishlab chiqarish korxonasida, taxminan yiliga 300 ming tonnadan ortiq ohak shlami (oqava suvlardan qolgan qattiq chiqindi — OSQCH) hosil bo‘ladi. Ushbu ohak shlamini foydali va samarali utilizatsiya qilish mazkur dissertatsiya ishining asosiy maqsadlaridan biri sifatida belgilangan.

"Farg'onaazot" AJ kuniga 14-18 tonnagacha ohakli loy chiqindilar chiqaradi, bu qurilish materiallari (masalan, bo‘r va so‘nmas ohak) olish uchun xomashyo hisoblanadi. Ushbu chiqindilar ifloslangan havoni ohak suti orqali tozalash orqali olinadi, u

adsorbsiya va so‘rilishdan so‘ng ohak sutida qoladi va loyli chiqindilariga aylanadi, ya'ni atmosferaga tozalangan havo chiqariladi.

Loy chiqindilarining asosiy tarkibiy qismi 60-70% bo‘rdan iborat bo‘lib, loy chiqindilaridan bo‘r olish texnologiyasi uni xom ashyoga qarab 120-200 °C haroratda 6-12 soat davomida yoqishdan xosil bo‘ladi. Bo‘r olishni ishlab chiqilgan texnologiyasi "Ecolog" korxonasining yarim sanoat sharoitida joriy etilgan. Ko‘p yillardan davomida "Ecolog" korxonasi tomonidan ishlab chiqarilgan. Bo‘r Farg'ona viloyatida hamda boshqa viloyatlarga xam sotilmoqda. Bo‘r ishlab chiqarish uchun mahsulot sifati bo‘yicha texnologik reglament va texnik shart ishlab chiqilishi zarur.

Olingan bo‘r bo‘yoq, kauchuk mahsulotlari, shpatlyovka, gipsa bloklar va boshqa qurilish materiallariga qo‘shimcha sifatida foydalanish mumkin.

O‘zbekistonning turli sanoat chiqindilaridan, masalan, loy chiqindilari (Farg'onaazot AJ), fosfogips chiqindilari (sobiq Novokokand kimyo zavodi), kul (Farg'ona IES), 400-navli sulfomineral sement olingan. Ohak bog'lovchi moddalar ishlab chiqarish uchun xom ashyoning taxminiy 2-bobda keltirib o‘tilgan.

Jahon tajribasi ko‘rsatadiki, fosfor o‘g‘itlari chiqindisi asosidagi ko‘pikligips bloklar qurilishda yengilligi, transport xarajatlarini kamaytirishi, montaj jarayonini soddalashtirishi va binolarni isitish xarajatlarini kamaytirishi bilan ajralib turadi. Shu bilan birga, bloklar yuqori bug‘ o‘tkazuvchanligi va kam issiqlik o‘tkazuvchanligi bilan issiqlik izolyatsiyasini ta’minlaydi, binoning ichki iqlim sharoitini buzmaydi va uzoq muddat xizmat qiladi.

A. Axmedov va T.A. Ataqo‘ziyev “Fosfogips” kitobida keng qamrovli tadqiqotlar natijalari jamlangan bo‘lib, Qoratau fosforiti va fosfogips bo‘yicha olib borilgan tajriba sinovlari ko‘rib chiqilgan. Kitobda fosfogipsdan turli xil qurilish materiallari va past haroratli sementlar olishning fizik-kimyoviy tamoyillari, fosfogipsli sementlarning konstruksiyasi va texnik xususiyatlari, shuningdek, fosforit va fosfogipsni qo‘llash sohalari batafsil bayon etilgan [54; 156-b].

T.A. Ataqo‘ziyev va E.T. Ataqo‘ziyev “Bog‘lovchi moddalarning kimyoviy texnologiyasi” nomli darslikda ohak, gips, magnezial bog‘lovchi moddalar va turli xil sementlarni tayyorlashning texnologik chizmalari, ulardan olinadigan xomashyolar hamda bu materiallarning tavsifi keltirilgan. Kitobda bog‘lovchi moddalar, xususan, sementning qotishida ro‘y beradigan jarayonlar, ularning fizik-mexanik xossalari va ishlatilish sohalari yoritilgan. Shu bilan birga, atrof-muhit muhofazasi, ayniqsa, fosforli o‘g‘itlar ishlab chiqarish sanoati chiqindilarining xossalari va ularning ishlatilish imkoniyatlari haqida batafsil so‘z boradi [55; 56-65-b].

Xoljigit Kuldashevning “Sanoat chiqindilari asosida qurilish materiallarini ishlab chiqarish” o‘quv qo‘llanmasida sanoat chiqindilarining hosil bo‘lishi va ularning sinflanishi, chiqindilarni bir xil tizimga keltirib o‘rganish uchun ularni keltirib chiqaruvchi sanoat tarmoqlarini alohida guruhlarga ajratish yoritilgan [34; 65-b]. S.I. Nurmuxamedov va M.A. Toreniyazovlarning “Sanoat chiqindisi fosfogipsdan havoda qotadigan materiallar olish” maqolasida fosfogips chiqindilaridan havo bilan mustahkamlovchi bog‘lovchi moddalarni olish va uni qayta ishlash jarayoni bayon etilgan

B.H. Haydarov, J.X. Asamov va D.X. Elmurodovning “Fosforli o‘g‘itlarning klassifikatsiyasi, ishlatilishi va ahamiyati” maqolasida fosforli o‘g‘itlarning chiqindisi, ularning ishlatilishi va ahamiyati batafsil ko‘rib chiqilgan. Shuningdek, Leonid Dvorkin, Nataliya Lushnikova va Muhammad Sonebi olimlarining tadqiqotlariga ko‘ra, fosfor o‘g‘itlari chiqindisini mineral bog‘lovchi sifatida ishlatish va ular asosidagi qurilish materiallari va buyumlar ishlab chiqarishda qo‘llanilishi natijalari tahlil qilingan.

Cheklangan tabiiy gips konlariga ega bo‘lgan qurilish sanoatida gips mahsulotlari iste’molini oshirish uchun muqobil xomashyo manbalari talab qilinadi. Fosfor o‘g‘itlari chiqindisining tarkibidagi sulfat kislotasi va ftor birikmalarini zararsizlantirish uchun kimyoviy ishlov berish zarur. Eng oddiy va samarali usullardan biri ohakli qo‘shimchalardan foydalanishdir. Fosfor o‘g‘itlari chiqindisining tabiiy gips o‘rnini bosuvchi klinker bog‘lovchi qo‘shimchasi sifatidagi ta’siri o‘rganilgan. Neytrallangan fosfor o‘g‘itlari chiqindisi portland sement klinkerini kalsinlashda minerallashtiruvchi qo‘shimcha sifatida qo‘llanilishi mumkin. Regulyator sifatida 2–2,5% fosfor

o‘g‘itlari chiqindisi qo‘shilganda tabiiy gips bilan tayyorlangan aralashma bilan bir xil fizik-mexanik xususiyatlar hosil bo‘ladi. Fosfor o‘g‘itlari chiqindisining qo‘llanishi klinkerli yuqori o‘choqli sement sulfat faollashuvi hisoblanadi (klinker miqdori 19% dan kam). Natijalar shuni ko‘rsatadiki, sement tarkibiga fosfor o‘g‘itlari chiqindisi sulfat faollashtiruvchisi sifatida qo‘shilganda tabiiy gips kabi samarali ishlaydi.

Fosfor o‘g‘itlari chiqindisining biriktiruvchi xususiyatlarini yaxshilash uchun boshqa qo‘shimchalar ham ishlatilgan. Polikarboksilat asosidagi superplastifikator va so‘ndirilgan ohakdan tashkil topgan murakkab qo‘shimchalar suv sarfini kamaytirib, qotib qolgan fosfogips biriktiruvchining mexanik xususiyatlarini oshirishga yordam beradi. Shu tarzda o‘zgartirilgan bog‘lovchi sement va gips bog‘lovchi moddalari qisman yoki to‘liq almashtirish sifatida ishlatilishi mumkin. Gipsni supersulfatlangan sementlar kabi, klinker bo‘lmagan bog‘lovchi moddalarga almashtirish mumkin. Shuningdek, past alyuminiy shlak va fosfor o‘g‘itlari chiqindisi asosida supersulfatlangan sement kompozitsiyalari ishlab chiqilgan. Supersulfatlangan sementlardan tayyorlangan buyumlar oddiy og‘irlikdagi va engil beton kabi sinovdan o‘tkazilgan

Latviya davlatida ikki qavatdan oshmaydigan binolarning tashqi va ichki yuk ko‘taruvchi devorlarini qurish uchun mo‘ljallangan gips bloklarini ishlab chiqarish texnologiyasi ishlab chiqilgan. Devorlarning yuzasi shuvoq qilishni talab qilmaydi, devorlarning aniq o‘lchamlari gipsokartonlar bilan himoyalash imkonini beradi. Gips bloklarning namligi 10% bo‘lganda, mustahkamligi 3,5 MPa, quruq holatdagi o‘rtacha zichligi 1100 kg/m^3, sovuqqa chidamliligi F25 siklni tashkil qiladi. Gips blok buyumlari inson tanasi uchun qulay mikroiqlim yaratadi. Gips tarkibida metall oksidlari mavjud emas, masalan, xrom (III) oksidi (Cr_2O_3) toksik moddalarni hosil qilishi mumkin. Gips bloklarining tuzilishi tez quritilishiga yordam beradi, bu esa yangi qurilgan binolarda harorat va namlik tartibini tez barqarorlashtiradi. Gipsli qorishmalarning muvozanat namligi t=200 °C va nisbiy namlik 50% sharoitida 4-10%, gipsli qorishmalar uchun esa 15% bo‘ladi [60; 39-41-b].

G‘arbiy Yevropa mamlakatlarida fosforli kislota ishlab chiqaruvchi korxonalar asosan fosfor o‘g‘itlari chiqindisini suvga oqizish maqsadida dengiz qirg‘og‘i yoki daryolar bo‘yida joylashgan [61; 3-8-b]. Germaniya, Fransiya va Yaponiya davlatlarida fosfor o‘g‘itlari chiqindisi ohak suv bilan qayta ishlanadi. Germaniyadagi gips korxonalarida P_2O_5 miqdori 0,1% gacha bo‘lgan har qanday gips xomashyosi ishlatiladi. Yaponiyada fosfogips ishlab chiqarishning 75% qismi gips tayyorlash uchun ishlatiladi. “Nissan Chemical” kompaniyasi texnologiyasiga ko‘ra, hosil bo‘lgan fosfor o‘g‘itlari chiqindisi faqat gidratatsiya bilan neytrallanish bosqichida tozalanadi, keyin kalsiylanib eruvchan angidrit va degidrat aralashmasi hosil qilinadi. Fosfogipsda regidratsiya va granulyatsiya ishlari amalga oshiriladi [62; 14-31-b].

Germaniyada “Giulini Chemi GmbH” kompaniyasi fosfor o‘g‘itlari chiqindisini flotatsiya va quyultirgichda doimiy ravishda tozalab, degidratatsiyani avtoklavda 120ºC haroratda amalga oshiradi. Ikkita korxona mavjud bo‘lib, biri “Lyudvigsxafen-am-Raynda” 1966 yildan kuniga 150 tonna, ikkinchisi “Knapsak” 1973 yildan kuniga 200 tonna chiqindini tozalash quvvatiga ega. “Knauf” firmasi fosfor o‘g‘itlari chiqindisini qayta ishlash va tozalash jarayonini uch yo‘nalishda amalga oshiradi: birinchi va ikkinchi yo‘nalishda yuvish, flotatsiya va suvda eruvchan aralashmalarni yo‘q qilish ishlari bajariladi, keyin fosfogips quritiladi, qisman degidratga aylantiriladi va granulyatsiyalanadi; uchinchi yo‘nalishda fosfor o‘g‘itlari chiqindisi tozalash talab qilmaydi va darhol gips bog‘lovchiga qo‘shiladi [64; 6-7-b, 65; 210-211-b, 66; 24-b].

Fransiyada 1970-yillarda “Rhön-Poulenc” kompaniyasi texnologiyasini ishlab chiqib, filtrdan chiqqan nam fosfor o‘g‘itlari chiqindisini pnevmatik quritgichga yuboradi, qisman quritilgan chiqindini kuydirish va suyuq yotiqli pechda qayta ishlash ishlari amalga oshiriladi. 1971 yilda yiliga 45 ming tonna bog‘lovchi ishlab chiqarish quvvatiga ega birinchi inshoot qurilgan. 1975 yildan Fransiya “Industrie aérienne” kompaniyasi texnologiyasidan foydalangan holda yiliga 130 ming tonna bog‘lovchi ishlab chiqaradi [67; 210-212-b].

“Elayd Chemical Corp” (AQSh) firmasi fosfor o‘g‘itlari chiqindisini qayta ishlash texnologiyasini ishlab chiqdi, bunda ohak, kalsiy yoki natriy karbonatlar o‘rniga ammiakdan foydalanish taklif etildi. Mutaxassislar fikriga ko‘ra, fosfor o‘g‘itlari chiqindisidan olingan

fosfogips qurilish gipsidan sifat jihatdan ustundir [68; 280-281-b].

Yaponiyada tabiiy gipsga boy konlar mavjud emasligi sababli, fosfor kislotasining ekstraksiyasi ikki bosqichli usulda amalga oshiriladi va chiqindisi 99% tozalanadi. 1970 yilda chiqindisiz bog‘lovchi hosil qilish uchun 20 ta ixtisoslashtirilgan korxonalar ishga tushirilgan, bu esa bog‘lovchi narxini pasaytirgan [69; 14-31-b].

To‘g‘ridan-to‘g‘ri sanoat miqyosida xomashyo sifatida fosfor o‘g‘itlari chiqindisini tayyorlash yoki qayta ishlashsiz ishlatish amaliyoti hali keng qo‘llanilmagan edi. 1985 yilda Rossiya Federatsiyasining Davlat yo‘l tadqiqotlari instituti “Yo‘l qoplamalarini qurishda fosfor o‘g‘itlari chiqindisidan foydalanish bo‘yicha tavsiyalar” ishlab chiqdi [70].

AQSh va Fransiyada yo‘l qurilishida fosfor o‘g‘itlari chiqindisidan keng foydalanish amaliyoti mavjud. Fosfor o‘g‘itlari chiqindisi Germaniya, Avstriya, Janubiy Afrika va Polshada oltingugurt kislotasi va gips ishlab chiqarishda, Finlyandiya, Fransiya va Gollandiyada qog‘oz va bo‘yoq sanoatida asosiy xomashyo sifatida ishlatiladi.

Markaziy Osiyo mamlakatlarida fosforitlar Janubiy Qozog‘iston Karatau konida uchraydi. O‘zbekistonning Qizilqum fosforit konlaridan ham foydalanilmoqda. Hozirgi kunda deyarli barcha kimyo korxonalari fosforli o‘g‘itlarni Karatau fosforitlaridan ishlab chiqarmoqda [68; 481-485-b, 69; 14-31-b, 73; 53-54]. Oddiy fosforli granula holatidagi o‘g‘it kulrang rangda, mayda kukun yoki donalardan iborat bo‘lib, tarkibida 14–18% P_2O_5 mavjud. Oddiy superfosfat ishlab chiqarish texnologiyasi oddiyligi va arzonligi bilan farq qiladi, jarayon fosforitlarni sulfat kislota bilan qayta ishlashga asoslangan:

$$Ca,(PO_4)_2 + 2H_2SO_4 = Ca(N_2RO_4)_2 + 2CaSO_4$$

Hosil bo‘lgan aralashma – monokalsiy fosfat va gipsdan tashkil topgan mahsulot oddiy superfosfat deb ataladi. Tabiatdagi fosforit tarkibida karbonatlar, temir va alyuminiy birikmalari, kalsiy ftorid, qum va boshqa aralashmalar bo‘lishi mumkin. Shu sababli, fosforitni sulfat kislota bilan parchalash jarayonida sulfat kislota fosforit bilan reaksiyaga kirishib, sulfat, fosfat va ftorid hosil qiladi, ftor esa gaz holatida (HF, SiF_4) havoga chiqib ketishi mumkin. Ftor birikmalari zaharli bo‘lganligi sababli, chiqindi gazlar suv bilan tozalanadi [74; 101-119-b, 75; 22-b].

Adabiyotlar

[1]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 dekabrdagi “2022 — 2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi PF-60-sonli farmoni. (Qoonunchilik ma’lumotlari milliy bazasi, 29.01.2022-y., 06/22/60/0082-son, 18.03.2022-y., 06/22/89/0227-son, 21.04.2022-y., 06/22/113/0330-son; 10.02.2023-y., 06/23/21/0085-son; 03.01.2024-y., 06/24/221/0003-son; 28.12.2024-y., 06/24/227/1089-son; 01.03.2025-y., 06/25/27/0196-son).

[2]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 23 maydagi “Qurilish materiallari sanoatini jadal rivojlantirishga oid qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi PQ-4335-sonli qarori (Qonun hujjatlari ma’lumotlari milliy bazasi, 25.05.2019 y., 07/19/4335/3183-son; 07.05.2020 y., 07/20/4707/0545-son).

[3]. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в жилищно-коммунальной сфере. http://www.minstroyrf.ru/trades/zhilishno-kommunalnoe-hozyajstvo/22/

[4]. Баженов, Ю.М. Технология бетона. Учебник // Ю.М. Баженов.–М.: Изд-во АСВ, 2003.–500 с.

[5]. Жуков, А.Д. Технология теплоизоляционных материалов: учеб. пос. Ч. Теплоизоляционные материалы. Производство теплоизоляционных материалов // А.Д. Жуков / ГОУ ВПО Моск. гос. строит. ун-т.–М.: МГСУ, 2011.–431 с.

[6]. Горлов, Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий: Учебю для вузов по спец. «Поизводство строительных изделий и конструкций» // Ю.П. Горлов.М.: Высш.шк, 1989.–384 с.

UO‘K: 699.86

ENERGIYA SAMARADORLIGINI BAHOLASHDA KO‘P KVARTIRALI UYLARNING ASOSIY MUAMMOLARI VA ULARNING TAHLILI

M. Nabiyev, A.O. Xalimov

Farg‘ona davlat texnika universiteti
**Mas’ul muallif, e-mail: abbosbek.xalimov@fstu.uz*
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Mazkur maqolada O‘zbekiston sharoitidagi ko‘p kvartirali turar joy binolarining energiya samaradorligiga ta’sir etuvchi asosiy salbiy omillar kompleks ravishda tahlil qilingan. Tadqiqotning dolzarbligi mamlakatda binolar sektori umumiy energiya iste’molining 50–52 %ini, turar joy sektori esa qariyb 38 %ini tashkil etishi bilan izohlanadi. Ishda energiya samaradorligini baholashning amaldagi milliy me’yoriy-huquqiy hujjatlari (QMQ 2.01.18-18, O‘RQ-940-son Qonun, 690-sonli Qaror) hamda xalqaro baholash tizimlari (EPBD, BREEAM, LEED) o‘zaro qiyosiy tahlil qilindi. O‘rganish natijalariga ko‘ra, issiqlik yo‘qotishlarining sezilarli qismi tashqi devorlar va konstruktiv tirqishlar orqali 30 % gacha, deraza va eshiklar orqali esa 18–30 % gacha sodir bo‘lishi aniqlandi. Energiya samaradorligiga ta’sir etuvchi omillar tabiiy va inson omili bilan bog‘liq guruhlarga ajratilib, ularning binolarning energiya iste’moliga ta’siri baholandi. Tadqiqot yakunida ko‘p kvartirali uylarni modernizatsiya qilish, issiqlik himoyasini kuchaytirish va energiya auditini takomillashtirishga qaratilgan amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi.*

Kalit so‘zlar: *ko‘p kvartirali turar joy binolari, energiya samaradorligi, issiqlik yo‘qotishlari, issiqlik izolyatsiyasi, energiya auditi, tabiiy omillar, inson omili, EPBD, BREEAM, LEED.*

KIRISH

Energiya resurslariga bo‘lgan talabning ortib borishi hamda aholi sonining izchil ko‘payishi sharoitida turar joy binolarida energiyadan samarali foydalanish masalasi dunyo miqyosida dolzarb vazifalardan biriga aylandi. Xalqaro Energiya Agentligi (IEA) ma’lumotlariga ko‘ra, 2022-yilda binolar sektori global yakuniy energiya iste’molining qariyb 30 foizini tashkil etgan bo‘lib, issiqxona gazlari, xususan CO_2 chiqindilarining sezilarli ulushi aynan ushbu sektorga to‘g‘ri keladi. O‘zbekiston sharoitida esa mazkur ko‘rsatkichlar yanada yuqori bo‘lib, binolar sektori mamlakat umumiy energiya iste’molining 50–52 foizini, turar joy sektori esa yakuniy energiya iste’molining qariyb 38 foizini egallaydi.

Mamlakatdagi mavjud ko‘p kvartirali uy-joy fondining katta qismi 1960–1990-yillar oralig‘ida barpo etilgan bo‘lib, ularning aksariyati zamonaviy energiya samaradorligi talablariga to‘liq javob bermaydi. Ushbu binolarda issiqlik himoyasining yetarli emasligi, tashqi to‘siq konstruksiyalarining eskirishi hamda muhandislik-kommunikatsiya tizimlarining ma’naviy va jismoniy jihatdan eskirgani energiya sarfining me’yoriy ko‘rsatkichlarga nisbatan 1,5–2 baravar ortishiga sabab bo‘lmoqda. Buning natijasida energiya resurslarining samarasiz sarflanishi bilan bir qatorda, yashash qulayligi pasayib, ekologik yuklama ham ortmoqda.

So‘nggi yillarda O‘zbekistonda energiya samaradorligini oshirish va energiya resurslaridan oqilona foydalanishni ta’minlash maqsadida qator normativ-huquqiy hujjatlar qabul qilindi. Jumladan, 2024-yil 7-avgustda qabul qilingan O‘RQ-940-sonli Qonun energiyani tejash va energiya samaradorligini oshirishning huquqiy asoslarini belgilab berdi. Shuningdek, Vazirlar Mahkamasining 2024-yil 19-oktyabrdagi 690-sonli qarori energiya auditi tizimini tashkil etish va yuritish tartibini takomillashtirdi. 2025-yil 11-martdagi PQ-100-sonli qaror esa uy-joy sektorini issiqlik energiyasi bilan ta’minlash tizimini modernizatsiya qilish va uning samaradorligini oshirishga qaratilgan muhim islohotlarni nazarda tutadi [1–3].

Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi ko‘p kvartirali uylarning energiya samaradorligiga ta’sir etuvchi omillarni aniqlash va tizimli ravishda tahlil qilish, amaldagi milliy me’yoriy hujjatlar hamda xalqaro baholash tizimlarini qiyosiy o‘rganish, shuningdek energiya samaradorligini oshirish bo‘yicha ilmiy asoslangan tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat. Tadqiqot natijalari qurilish sohasi mutaxassislari, loyihalovchilar, energiya auditorlari va soha bo‘yicha qaror qabul qiluvchi tashkilotlar uchun amaliy ahamiyatga ega bo‘lishi kutilmoqda.

USULLAR VA MATERIALLAR

Tadqiqotda quyidagi ilmiy uslublar kompleks tarzda qo‘llanildi:

Normativ-huquqiy tahlil: O‘zbekiston Respublikasining KKU energiya samaradorligiga oid qonun va qarorlar (O‘RQ-940, 690-son Qaror, PQ-100) tizimli o‘rganildi.

Qiyosiy tahlil: Xalqaro baholash tizimlari — Yevropa EPBD direktivasi (EU/2024/1275), BREEAM va LEED metodikalari — respublika tizimi bilan ISO 6946:2017, EN 15217:2007 standartlari doirasida qiyoslandi.

Tizimlashtirish metodi: KKU energiya samaradorligiga ta’sir ko‘rsatuvchi omillar tabiiy/texnogen (A-guruh: A1–A6) va subyektiv (B-guruh: B1–B6) toifalarga ajratildi. Bu tasnif binoning to‘la hayotiy tsikli — loyihalash, qurilish, foydalanish — bo‘yicha qamrab oladi.

Tadqiqot ob’yekti sifatida O‘zbekistondagi turli xil turar-joy binolari (1-, 5-, 9- va undan yuqori qavatli) tahlil qilindi. Muhandislik tizimlari (isitish, shamollatish, konditsionerlash) va qo‘llanilgan qurilish materiallarining issiqlik texnik xususiyatlari ham o‘rganildi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

KKU larda issiqlik yo‘qotishlarining tuzilishi va miqdoriy tahlili

Ko‘p kvartirali binolarda amalga oshirilgan instrumental o‘lchov va hisob-kitoblar shuni ko‘rsatadiki, issiqlik yo‘qotishlarining asosiy qismi bino qobig‘i orqali sodir bo‘ladi.

Tahlil natijalari ko‘rsatmoqdaki, devorlar va tirqishlar orqali 30% gacha issiqlik yo‘qoladi. Bu ko‘rsatkich to‘suvchi konstruksiyalar issiqlik o‘tkazuvchanligini pasaytirish energiya samaradorligini oshirishdagi eng samarali yo‘nalish ekanligini isbotlaydi. Deraza va eshiklar orqali 18–30% issiqlik yo‘qotilishi ikki kamerali yoki uch kamerali deraza qo‘llash zaruratini ta’kidlaydi. Shamollatish tizimi orqali yo‘qoladigan 18% issiqlik esa issiqlikni qaytarib oluvchi rekuperatsion tizimlarni joriy etish yo‘li bilan sezilarli darajada kamaytirish mumkin.

1-jadval. KKU larda issiqlik yo‘qotish manbalari va energiya tejash potentsiali

Issiqlik yo‘qotish manbai	Yo‘qotish ulushi	Kamaytirish potentsiali	Asosiy chora-tadbir
Devorlar va tirqishlar	30% gacha	15–20%	Termoizolyatsiya qatlami oshirish
Deraza va eshiklar	18–30%	10–15%	2-3 kamerali deraza o‘rnatish
Shamollatish tizimi	18% gacha	8–12%	Rekuperator o‘rnatish
Tom qoplamasi	10–18%	5–8%	Issiqlik izolatsiyali tom tizimi
Yerto‘la/poydevor	5–10%	3–5%	Poydevor izolyatsiyasi
Boshqa yo‘qotishlar	6% gacha	2–4%	Kompleks modernizatsiya

Devor materiallarning issiqlik texnik xususiyatlari

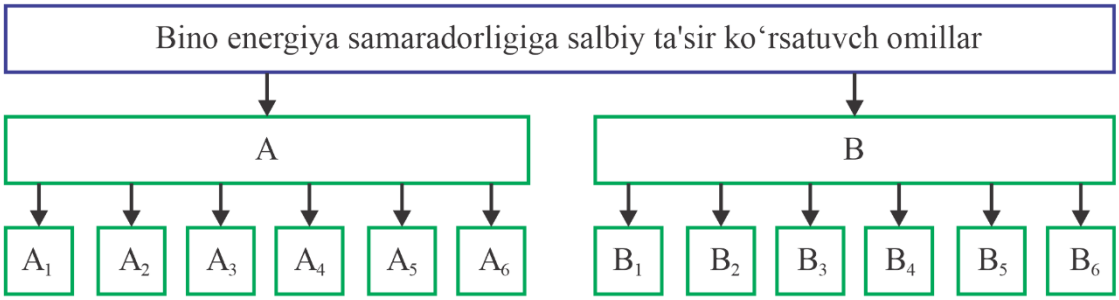
Qurilishda qo‘llanadigan materiallar tanlovi binoning energiya samaradorligini belgilovchi muhim omil hisoblanadi. Tahlil shuni ko‘rsatadiki, ko‘pikbeton (0,19 Vt/m·°C) eng past issiqlik o‘tkazuvchanlikka ega material bo‘lib, og‘ir betondan (1,52 Vt/m·°C) 8 barobar samaraliroq. Qurilish g‘ishtining issiqlik o‘tkazuvchanligi (0,67 Vt/m·°C) o‘rta darajada bo‘lib, qo‘llash uchun issiqlik izolyatsiyasi qatlami bilan birga ishlatish tavsiya etiladi. Shunga ko‘ra, yangi qurilishlarda va rekonstruksiya jarayonida past issiqlik o‘tkazuvchanlikka ega materiallarni afzal ko‘rish energiya sarfini sezilarli darajada kamaytiradi.

2-jadval. Asosiy devoriy materiallarning issiqlik o‘tkazuvchanligi (QMQ 2.01.04-18 asosida)

№	Material nomi	Zichligi (kg/m³)	Issiqlik o‘t. λ (Vt/m·°C)
1	Ko‘pikbeton	800	0,19
2	G‘ovakli g‘isht	1400	0,64
3	Qurilish g‘ishti	1600	0,67
4	Shlakobloklar	1400	0,65
5	Silikat g‘isht	1800	0,88
6	Og‘ir beton bloklari	2400	1,52

Energiya samaradorligiga ta’sir ko‘rsatuvchi omillar tasnifi

Tadqiqot doirasida KKU energiya samaradorligiga ta’sir ko‘rsatuvchi omillar ikki asosiy guruhga ajratilib, tizimli tahlil qilindi. 1-rasmda omillar ierarxik sxemasi ko‘rsatilgan.



1-rasm. Ko‘p kvartirali uylarning energiya samaradorligiga ta’sir ko‘rsatuvchi omillar sxemasi.

A-guruhga mansub tabiiy va texnogen omillar (A1–A6) binolarning energiya samaradorligiga tashqi muhit va fizik jarayonlar orqali ta’sir ko‘rsatadi. O‘zbekistonning keskin kontinental iqlimi, ya’ni qish mavsumida haroratning −20°C gacha pasayishi va yozda +40°C gacha ko‘tarilishi qurilish materiallarida takroriy kengayish hamda qisqarish jarayonlarini yuzaga keltiradi. Natijada beton va g‘isht konstruksiyalarida mikrodarzlar paydo bo‘lib, to‘siq konstruksiyalarning issiqlik himoyasi xususiyatlari yomonlashadi. Bundan tashqari, yuqori darajadagi quyosh radiatsiyasi fasad qoplamalari va tashqi konstruksiya elementlarining xizmat muddatini qisqartirib, ularning fizik-mexanik xususiyatlariga salbiy ta’sir ko‘rsatadi.

Gidrogeologik sharoitlar ham energiya samaradorligiga sezilarli ta’sir etuvchi omillardan biri hisoblanadi. Xususan, sizot suvlarining yuqori sathi va tuproq sho‘rlanishi kuzatiladigan hududlarda poydevor va pastki konstruktiv qismlarda ortiqcha namlik to‘planadi. Bu holat qurilish materiallarining yemirilishini jadallashtirib, issiqlik izolyatsiyasi qatlamlarining samaradorligini pasaytiradi. Shuningdek, seysmik ta’sirlar hamda transport va sanoat obyektlaridan kelib chiqadigan texnogen tebranishlar bino elementlarining tutashuv joylarida yoriqlar paydo bo‘lishiga sabab bo‘lib, natijada issiqlik yo‘qotishlarini oshiruvchi “sovuq ko‘priklar” hosil bo‘ladi.

B-guruhdagi subyektiv omillar (B1–B6) esa inson faoliyati bilan bog‘liq bo‘lib, binoning hayotiy siklining barcha bosqichlarida — loyihalash, qurish va foydalanish jarayonlarida yuzaga keladigan kamchiliklarni o‘z ichiga oladi. Loyihalash bosqichida issiqlik texnik hisoblarining yetarli darajada asoslanmaganligi, energiya tejamkor konstruktiv yechimlarning qo‘llanilmasligi hamda zamonaviy issiqlik izolyatsiya materiallaridan foydalanmaslik energiya samaradorligining pasayishiga olib keladi. Qurilish-montaj ishlari davomida esa konstruktiv choklarning sifatsiz bajarilishi, havo o‘tkazuvchanlikning yuqoriligi va izolyatsiya qatlamlarining texnologik talablar asosida o‘rnatilmasligi qo‘shimcha issiqlik yo‘qotishlarini keltirib chiqaradi.

Ekspluatatsiya davrida energiya samaradorligiga salbiy ta’sir etuvchi omillar qatoriga muhandislik tizimlariga o‘z vaqtida texnik xizmat ko‘rsatilmasligi, energiya iste’molini nazorat qilishning sustligi hamda foydalanuvchilarning energiya tejash madaniyatining yetarli darajada shakllanmaganligi kiradi. Ushbu omillar natijasida binolarning energiya sarfi ortib, ularning umumiy ekspluatatsion samaradorligi pasayadi [4].

Milliy va xalqaro baholash tizimlari qiyosiy tahlili

O‘zbekiston Respublikasida KKU energiya samaradorligini baholash tizimi QMQ 2.01.18-18 va 2024-yil 690-sonli Qaror asosida amalga oshiriladi. Energiya samaradorlik indeksi (ESI) bo‘yicha binolar “A” (eng yuqori samaradorlik) dan “G” gacha 7 toifaga bo‘linaadi. Foydalanish maydoni 200 m² dan ortiq bo‘lgan barcha binolar uchun toifalash majburiydir.

O‘zbekiston baholash tizimi energiya sarfi bo‘yicha xalqaro standartlarga yaqin bo‘lib, bir qator jihatlarda yaxshilanishni talab etadi. Jumladan, BREEAM va LEED tizimlari suv iste’moli, ichki muhit sifati (havo almashinuvi, akustika) va qurilish materiallarining ekologik ta’sirini ham baholaydi — bu o‘lchovlar respublika tizimida hali to‘liq qamrab olinmagan.

Yevropa EPBD direktivasi (EU/2024/1275) 2030 yilgacha binolar sektorida issiqxona gazlari chiqindilarini 2015-yilga nisbatan kamida 60% ga kamaytirish va 2050 yilgacha “nol uglerodli” bino fondiga o‘tishni mo‘ljallamoqda. Ushbu me’zon O‘zbekiston uchun uzoq muddatli maqsad sifatida ilmiy-amaliy jihatdan muhim ahamiyat kasb etadi [5-6].

3-jadval. Energiya samaradorligi toifalarini belgilash (QMQ 2.01.18-18 va 690-sonli Qaror asosida)

Toifa	ESI og‘ish kattaligi (%)	Tavsiya va talablar
A	–40 dan ko‘proq	Iqtisodiy rag‘batlantirish mumkin
B	–40 dan –26 gacha	Energiya samaradorligi yuqori
C	–25 dan –11 gacha	Yaxshi ko‘rsatkichlar
D	–10 dan +4 gacha	Me’yoriy iste’mol darajasi
E	+5 dan +14 gacha	Issiqlik yo‘qotish kamaytirish zarur
F	+15 dan +25 gacha	Jiddiy ta’mirlash talab etiladi
G	+25 dan ko‘proq	Mukammal ta’mirlash yoki rekonstruksiya

Davriy energiya auditi besh yilda kamida bir marotaba o‘kazilishi belgilangan bo‘lib, toifa “D” va undan past binolar uchun ko‘rsatmalar bajarilishi majburiydir. Bu talab KKU larni muntazam monitoring qilish va yaxshilash uchun muhim huquqiy asos yaratadi.

XULOSALAR

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, O‘zbekistondagi ko‘p kvartirali turar joy binolari mamlakat energiya iste’molining muhim qismini tashkil etadi. Tashqi devorlar, konstruktiv tirqishlar, deraza va eshiklar orqali yuzaga keladigan sezilarli issiqlik yo‘qotishlari mavjud uy-joy fondining energiya samaradorligini oshirish va binolar qobig‘ini modernizatsiya qilish zarurligini tasdiqlaydi. Tahlillar natijasida energiya sarfining ortishiga nafaqat tabiiy-iqlimiy, geologik va seysmik omillar, balki loyihalash, qurilish hamda foydalanish bosqichlarida yo‘l qo‘yiladigan kamchiliklar ham sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Ayrim hollarda ushbu omillar energiya iste’molining me’yoriy ko‘rsatkichlarga nisbatan 40–60 foizgacha oshishiga sabab bo‘lishi mumkin.

Shuningdek, issiqlik texnik xususiyatlari yaxshilangan zamonaviy qurilish materiallaridan foydalanish energiya yo‘qotishlarini sezilarli darajada kamaytirishi isbotlandi. Xususan, ko‘pikbeton, gazobeton va boshqa g‘ovak tuzilmali materiallar issiqlik himoyasini yaxshilashda samarali yechim hisoblanadi. Energiya tejamkor oynavand konstruksiyalarni qo‘llash dastlabki investitsiya xarajatlarini oshirsa-da, ekspluatatsiya davrida energiya sarfini 25–30 foizgacha kamaytirish imkonini beradi.

O‘rganishlar shuni ko‘rsatdiki, O‘zbekistonning amaldagi energiya samaradorligi bo‘yicha me’yoriy hujjatlari xalqaro standartlar bilan muayyan darajada uyg‘unlashgan bo‘lsa-da, ularni ekologik barqarorlik, ichki muhit sifati va resurslardan oqilona foydalanish mezonlari bilan yanada boyitish maqsadga muvofiqdir. Shu nuqtai nazardan, BREEAM va LEED kabi xalqaro baholash tizimlarining ilg‘or tajribalarini milliy amaliyotga bosqichma-bosqich integratsiya qilish muhim ahamiyat kasb etadi.

Energiya auditini takomillashtirish, binolarning energiya ko‘rsatkichlarini uzluksiz monitoring qilish tizimini joriy etish hamda energiya samaradorligi past bo‘lgan obyektlarni bosqichma-bosqich rekonstruksiya qilish orqali yaqin istiqbolda energiya sarfini sezilarli kamaytirish mumkin. Ushbu chora-tadbirlarning amalga oshirilishi 2030-yilga qadar binolar sektorida energiya iste’molini 30–40 foizga qisqartirish va atmosfera chiqindilarini kamaytirishga xizmat qiladi.

Adabiyotlar

[1]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025-yil 11-martdagi “Uy-joy hamda bino-inshootlarni issiqlik energiyasi bilan ta’minlash sohasini tubdan isloh qilish hamda binolarning energiya samaradorligini oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-100-son Qarori.

[2]. O‘zbekiston Respublikasining 2024-yil 7-avgustdagi “Energiya tejash, undan oqilona foydalanish va energiya samaradorligini oshirish to‘g‘risida”gi O‘RQ-940-son Qonuni. — URL: https://lex.uz/docs/7052085.

[3]. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2024-yil 19-oktyabrdagi 690-son Qarori “Yoqilg‘i-energetika resurslari iste’molchilarini hamda bino va inshootlarni energiya iste’molini energiya auditidan o‘kazish tartiblarini belgilash to‘g‘risida”.

[4]. Xotamov A.T. Shaharsozlikda uy-joy fondini eskirishini baholash metodologiyasi va monitoring tizimining ilmiy asoslari: Dissertatsiya. — Toshkent, 2021. — 18 b.

[5]. Marakaev R.Y., Norov N.N. O‘zbekiston sharoitida energiya samarador binolarni loyihalash: O‘quv-uslubiy qo‘llanma. — Toshkent, 2009. — 17 b.

[6]. Xotamov A.T., Xalimov A.O. Ko‘p kvartirali uylarni kapital ta’mirlash asosida energiya samaradorlik darajasini optimallashtirish imkoniyatlari // TAQU “Arxitektura, qurilish va dizayn” jurnali. — 2025. — Vol. 20, Issue 2. — S. 709–718. ISSN 2010-7064.

ASSESSMENT OF ENERGY EFFICIENCY AND SEISMIC STRUCTURAL RELIABILITY OF EXISTING MULTI-APARTMENT RESIDENTIAL BUILDINGS IN FERGANA: AN EXPERIMENTAL STUDY

M. Nabiyev, A.O. Khalimov

Fergana State Technical University,
**Corresponding author, e-mail: abbosbek.xalimov@fstu.uz*
(Received on April 16 th, 2026)

Abstract. *A large share of Uzbekistan’s multi-apartment housing stock was built during the Soviet era and exhibits poor energy performance. This study assessed the energy efficiency and seismic condition of two representative residential buildings in Fergana: a four-storey large-panel reinforced-concrete building (Series 1-464A, 1973) and a two-storey unreinforced brick building (Series 1-204, 1957). The methodology included field inspections, material strength testing, seismic modelling using LIRA-SAPR, infrared thermography, and thermal calculations according to QMQ 2.01.04-2018. The results revealed significant heat losses at panel joints, window and door interfaces, and wall-to-slab connections. In the reinforced-concrete building, thermal resistance values were 48–73% below regulatory requirements, while the specific heating demand reached 83.7 W/m², corresponding to the lowest energy-efficiency rating (Class G). Seismic assessment confirmed the structural suitability of the panel building for energy-efficiency retrofitting. In contrast, the unreinforced brick building did not satisfy seismic safety requirements, making major reconstruction or replacement the preferred option. The findings support informed decisions on retrofit and redevelopment strategies for aging residential buildings.*

Keywords: *energy efficiency; thermal resistance; infrared thermography; multi-apartment buildings; seismic assessment; building retrofit; energy class.*

1. Introduction

Buildings account for a significant share of global final energy consumption, making the residential sector a central target of energy-efficiency and energy-conservation initiatives worldwide. In Uzbekistan, similar to other countries of the former Soviet Union, the existing multi-apartment housing stock is predominantly composed of standardized residential buildings erected between the 1950s and 1980s. A considerable number of these buildings have already surpassed half of their intended service life and were designed under outdated thermal-performance standards that no longer satisfy current regulatory requirements. Consequently, they are associated with high heating-energy demand and frequently fail to maintain acceptable indoor thermal comfort during cold seasons.

The city of Fergana is situated within Climatic Region II of Uzbekistan, which is characterized by a sharply continental climate featuring hot, dry summers and relatively cold winters. Under these conditions, the thermal characteristics of building envelopes become a critical factor influencing energy consumption. Inadequately insulated walls, roofs, and openings contribute to substantial heat losses during the heating season, resulting in excessive energy use. At the same time, Fergana lies within a seismically active territory, requiring that any energy-efficiency improvement measures be evaluated alongside structural safety and seismic performance considerations. Therefore, determining whether existing residential buildings should be upgraded through energy retrofitting, major rehabilitation, or complete replacement remains an important engineering and economic challenge.

Among modern diagnostic methods, infrared thermography is recognized as an effective non-destructive tool for assessing the thermal condition of building envelopes. It allows the detection of

thermal bridges, insulation defects, and air infiltration paths through the visualization of surface temperature distributions, thereby supporting the identification of priority energy-saving interventions [5–6]. When combined with thermal-engineering calculations of heat-transfer resistance and specific heating-energy demand in accordance with national regulations, thermographic surveys provide a comprehensive assessment of building energy performance.

In the present study, this integrated methodology was applied to two representative residential building types located in Fergana. In addition to thermal performance evaluation, three-dimensional structural modelling and seismic analysis were carried out to determine their structural reliability. The objectives of the research were: (i) to evaluate the actual thermal performance of building-envelope components, (ii) to investigate the structural and seismic adequacy of the selected buildings, and (iii) to formulate scientifically grounded recommendations regarding energy retrofitting, comprehensive renovation, or replacement of aging residential buildings in the region.

2. Materials and Methods

2.1. Research objects

Two buildings widely represented in Fergana were selected (Table 1). The first is a four-storey large-panel reinforced-concrete residential building of series 1-464a (Fergana Street 78), commissioned in 1973 and therefore 52 years in service; more than 250 buildings of this series exist in the surrounding district. The second is a two-storey unreinforced fired-brick building of series 1-204 (Neftchilar Street 26), commissioned in 1957 and 68 years in service, with more than 100 buildings of this series in the district. Both are typical in their construction solutions and current condition and therefore serve as suitable models for assessing the regional stock. Neither building has a central heating system; ventilation is natural, and in both cases the airtightness of the original timber windows and steel entrance doors has been lost, with many apartments having replaced windows individually with single-glazed PVC or aluminium units.

2.2. Seismic modelling

The seismic suitability of each building was evaluated by three-dimensional finite-element modelling in LIRA-SAPR 10.12. A full spatial model was built from the architectural and structural drawings supplemented by on-site measurements and the building passport, with external and internal walls/panels, floor and roof slabs and foundations represented as discrete objects. Material physical–mechanical properties (density, modulus of elasticity, Poisson's ratio; for the brick building, the measured brick and mortar strength), self-weight and imposed loads (per QMQ 2.01.07-96) and seismic loads (per QMQ 2.01.03-19 [4]) were assigned. Seismic action was applied by the linear-spectral (modal) method using regional accelerograms for category II soils; natural frequencies, mode shapes and mass participation were determined, and the resulting displacements, equivalent stresses, principal stresses and shear stresses were checked against normative limits.

2.3. Infrared thermography and microclimate measurements

The thermal state of the envelopes was investigated using a UNI-T UTi260B infrared thermal imager (320 × 240 px; thermal sensitivity < 0.1 °C; accuracy ±2 °C / ±2 %), supported by a HoldPEAK HP-866B anemometer (0.3–30 m/s), a UNI-T A13T thermohygrometer (±0.1 °C; 20–95 % RH) and a UNI-T UT306S infrared pyrometer. The panel building was surveyed on 2 February 2024 (indoor +20.7 °C, outdoor +1.0 °C, wind 1.1 m/s from the north-west) and the brick building on 19 February 2024 (indoor +22.0 °C, outdoor +2.0 °C, calm). Air velocity in the natural ventilation shafts (cross-section 120 × 120 mm) was also measured to verify their operation.

2.4. Energy-efficiency calculation

The envelope thermal performance was assessed against the second level of thermal protection defined by the national code QMQ 2.01.04-2018 [1], which, relative to the first (sanitary–hygienic) level, reduces energy use by a factor of 1.4–1.8. During the heating season, heat is lost mainly through the external envelope and ventilation, so the heat balance is

$$Q_{\text{tot}} = \Sigma Q_{\text{env}} + Q_{\text{vent}} - Q_{\text{gain}} \quad (2)$$

The conduction loss of each envelope element is

$$Q_{\text{env}} = A \cdot (t_{\text{i}} - t_{\text{e}}) \cdot (1 + \Sigma\beta) \cdot n / R_0 \quad (3)$$

where A is the element area (m²), t_i and t_e the design indoor and outdoor temperatures (°C), Σβ an additional-loss coefficient depending on orientation (0.10 for north/east-facing and 0.05 for south-east/west-facing elements, per ShNQ 2.04.05-22), and n a coefficient for the element's exposure to outdoor air. The total heat-transfer resistance and the resistance of a multilayer construction are

$$R_0 = 1/\alpha_i + R_k + 1/\alpha_e, \quad R_k = \Sigma(\delta/\lambda) \tag{4}$$

with internal and external surface coefficients $\alpha_i = 8.7$ and $\alpha_e = 23$ W/(m²·°C), where δ and λ are the layer thickness (m) and thermal conductivity (W/(m·°C)). For the panel wall, the thermal-homogeneity correction $r = r_1 \cdot r_2 = 0.5$ (QMQ 2.01.04-2018, Appendix 3) was applied. The ventilation loss is

$$Q_{vent} = 0.28 \cdot L_n \cdot \rho \cdot c \cdot (t_i - t_e) \tag{5}$$

with air density ρ = 1.2 kg/m³, specific heat $c = 1$ kJ/(kg·°C) and extract air flow L_n; for residential rooms and kitchens an air change of 3 m³/h per m² is required (ShNQ 2.04.05-22). Internal heat gains are $Q_{gain} = q_{gain} \cdot A_{gain}$, with $q_{gain} = 10$ W/m². The required resistances were obtained from the heating degree-days

$$D_d = (t_i - t_m) \cdot z_m \tag{6}$$

where t_m and z_m are the mean temperature and duration of the period with daily mean ≤ 10 °C. For the panel building $t_i = 20$ °C, $t_e = -14$ °C, $t_m = 2.65$ °C and $z_m = 148$ days, giving $D_d = 2\,567.8$ °C·day. The specific heat demand $q_{sp} = Q_{tot} / A_{heated}$ was finally compared with the normative value and the building was assigned a thermal-energy class per ShNQ 2.01.18-24 [2].

3. Results

3.1. Structural condition and seismic suitability

Panel building. The survey found the prefabricated reinforced-concrete foundation in satisfactory condition with no settlement or cracking (concrete class B20). Floor slabs (120 mm, B20) showed local concrete erosion from moisture in wet rooms; the three-layer external wall panels (300 mm, B20) were generally sound, with localized loss of joint sealing requiring routine repair. The flat roof exhibited aged waterproofing and insulation below current requirements, and an unauthorized door opening had been cut in a first-floor external panel. Seismic analysis showed that stresses and displacements remained within normative limits (Fig. 1), so the building is seismically stable and suitable for an energy-oriented capital repair.

Brick building. The fired-brick strip foundation showed settlement, loss of brick cohesion and mortar degradation; the absence of a blind area allows rainwater ingress. The 380 mm load-bearing brick walls returned an average compressive strength of 5.00 MPa, corresponding to grade M50 (Table 2) — a low-strength category for which, under ShNQ 2.01.03, two-storey construction is not permitted in 8-point seismic zones. Reinforced-concrete floor slabs (220 mm) were satisfactory, but the pitched timber roof had cracks exceeding 5–10 mm in posts and purlins, damaged parapet brickwork and no thermal-insulation layer. Seismic analysis indicated deformations and stresses above normative limits, with the highest demand near the foundation walls and parts of the roof. Given that the building has exhausted its service life (68 years against a normative 80–90 years) and has never been capitally repaired, the cost-effectiveness of an energy retrofit is low, and renovation is more rational than capital repair.

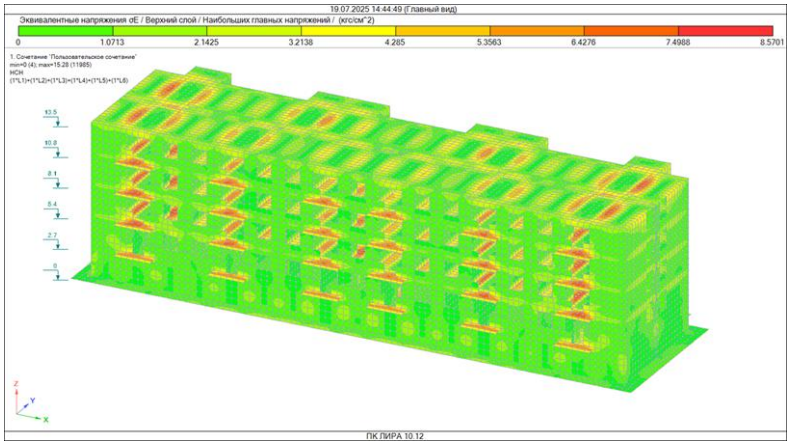


Fig. 1. Mosaic of equivalent stresses in the panel building under seismic action (LIRA-SAPR 10.12); values within normative limits.

3.2. Thermographic survey

Panel building. In the thermograms, blue tones indicate cooler zones with adequate insulation, while yellow-to-red tones mark zones of active heat loss (Fig. 2a). Elevated heat loss was concentrated at (i) horizontal and vertical panel joints, (ii) window and door perimeters, (iii) roof-to-wall junctions and (iv) the junction

between the lowest storey and the ground. The reinforced-concrete ties connecting the two concrete leaves of the wall panel act as additional thermal bridges, and heat accumulation associated with moisture or insufficient ventilation was observed in lower corners. Air velocity in the ventilation shafts averaged 0.4 m/s, indicating normal operation.

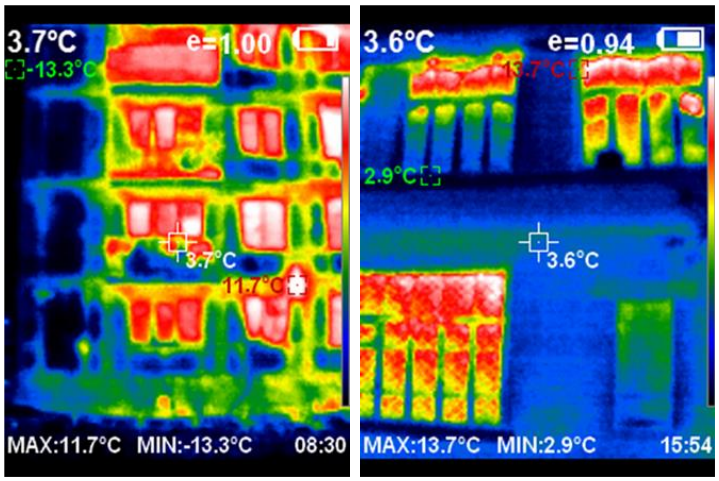


Fig. 2. Infrared thermograms of the surveyed facades: (a) four-storey panel building; (b) two-storey brick building. Red/orange zones indicate active heat loss at openings, joints and slab–wall junctions.

Brick building. The thermograms revealed pronounced heterogeneity of heating between apartments and along the facades (Fig. 2b). The largest heat losses occurred at window perimeters, especially where the frame-to-wall joint was of poor quality; at wall segments behind heating radiators, where heat escapes directly through the wall; and at the brick–concrete junctions around the floor slabs, owing to the difference in thermal conductivity and poorly insulated joints. Ventilation-shaft air velocity averaged 0.6 m/s, again within the normal range.

3.3. Envelope thermal resistance

The composition of the panel external wall is given in Table 3. Applying Eqs. (3)–(4) with the homogeneity correction yields R_0 = 0.89 m²·°C/W for the wall. For windows, single-chamber double-glazed units make up 35 % of the frames and the remainder are single glazing, giving an average R_0 = 0.22 m²·°C/W; the steel entrance door gives R_0 = 0.16; the flat roof R_0 = 1.56; and the basement floor R_0 = 0.60 m²·°C/W. With D^d = 2 567.8 °C·day, the normative required resistances are 2.20 (wall), 0.53 (window), 0.59 (door), 3.00 (roof) and 1.96 (basement floor) m²·°C/W. The calculated and required values are compared in Table 4 and Fig. 3: every element falls short of the requirement, by 48.0 % (roof), 58.5 % (window), 59.6 % (wall), 69.4 % (basement floor) and 72.9 % (door).

Table 3. Layer composition of the external wall (Building A).

No.	Layer	Density, kg/m³	δ, m	λ, W/(m·°C)
1	Reinforced concrete	2500	0.08	1.92
2	Mineral-wool board	250	0.12	0.08
3	Reinforced concrete	2500	0.10	1.92
4	Cement–sand plaster	1800	0.01	0.76
5	Gypsum plaster	1050	0.005	0.34

Table 4. Calculated vs. required thermal resistance of the envelope (Building A).

No.	Element	R_0, m²·°C/W	$R_{0,req}$, m²·°C/W	Δ, m²·°C/W	Deviation, %
1	External wall	0.89	2.20	−1.31	−59.6
2	Window	0.22	0.53	−0.31	−58.5
3	Door	0.16	0.59	−0.43	−72.9
4	Roof	1.56	3.00	−1.44	−48.0
5	Basement floor	0.60	1.96	−1.36	−69.4

3.4. Heat loss and energy class

Using the calculated resistances and the envelope areas by orientation, the conduction heat loss of each element was obtained from Eq. (3): external wall 39 113 W, windows 52 411 W, doors 2 135 W, roof 10 477 W and basement floor 27 730 W, totalling 131 866 W. Windows alone

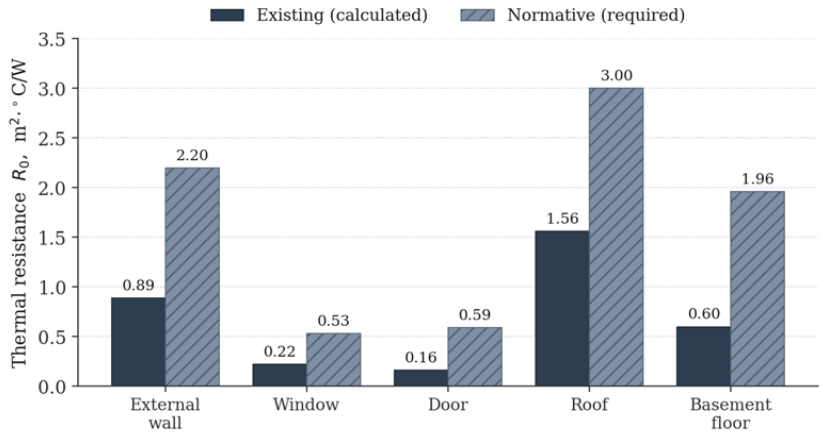


Fig. 3. Existing (calculated) and normative thermal resistance R_0 of the envelope elements (Building A).

account for about 40 % of the envelope loss. With an extract air flow L_n = 4 070 m³/h, the ventilation loss (Eq. 5) is 46 495 W and the internal gains (Eq. 6 term) are 13 570 W, so the total heating-and-ventilation loss (Eq. 2) is 164 791 W. Referred to the heated floor area of 1 967.2 m², the specific heat demand is 83.7 W/m² (Table 5) — 46.8 % above the normative value of 57 W/m² (ShNQ 2.01.18-24) — which places the building in the lowest thermal-energy class, G [6-7].

Table 5. Heat-loss balance and energy classification of Building A.

Quantity	**Value**
Envelope conduction loss, Q_{env} (Σ)	131 866 W (131.9 kW)
Ventilation loss, Q_{vent}	46 495 W
Internal heat gains, Q^g_{ain}	13 570 W
Total heating-and-ventilation loss, Q_{tot}	164 791 W (164.8 kW)
Heated floor area, A	1 967.2 m²
Specific heat demand, q_{sp}	**83.7 W/m²**
Normative specific demand (ShNQ 2.01.18-24)	57 W/m²
Relative excess over the norm	+46.8 %
Thermal-energy class	**G (lowest)**

4. Discussion

The results show that both representative buildings perform far below modern envelope standards. For the panel building, the thermographic and computational findings agree clearly: windows form both the most conspicuous heat-loss zones in the thermograms and the single largest term in the calculated balance (52.4 kW, about 40 % of the envelope loss), followed by the external walls and the basement floor. The specific heat demand of 83.7 W/m² and the class-G rating quantify a substantial energy-saving potential and indicate that a deep envelope retrofit — external wall insulation, replacement of windows and doors with energy-efficient units, and additional roof and basement-floor insulation — is required to reach the second level of thermal protection.

The central methodological point is that an energy retrofit is only justified where the structure can safely serve its remaining life, which in a seismic region must be verified explicitly. The panel building satisfies seismic requirements and is therefore a sound candidate for capital repair, whereas the brick building — with low-strength M50 masonry, advanced wear and seismic demands above the normative limits — is not; for it, renovation or replacement is the rational option. Screening buildings by structural and seismic suitability before committing to envelope upgrades avoids investing in the thermal improvement of structurally unsafe stock [8-9].

Because the panel series studied is numerous in the district (more than 250 buildings of series 1-464a), targeting deep retrofit at structurally suitable, high-occupancy typologies offers the greatest aggregate energy saving per unit of investment. Infrared thermography proved an effective, low-cost screening tool for locating thermal bridges and prioritizing measures, complementing the code-based calculation that yields the quantitative class rating.

The study has limitations. One representative building was assessed per typology; thermography is a qualitative-to-semi-quantitative, weather-dependent technique; and the energy assessment follows the steady-state code method, without dynamic simulation, measured energy bills or occupant-behaviour effects. The seismic analysis relies on regional accelerograms and as-built survey data. Future work should include dynamic energy simulation, post-retrofit measurement and verification, life-cycle cost–benefit analysis of the recommended packages, and extension to additional building series [10].

5. Conclusions

A combined experimental assessment of energy efficiency and structural–seismic suitability was carried out for two typical multi-apartment buildings in Fergana, Uzbekistan. The main findings are as follows. Both typologies — a 1973 four-storey large-panel building and a 1957 two-storey brick building — have exceeded half of their service life and exhibit poor thermal performance representative of the regional stock. Infrared thermography localized heat loss at panel joints, window and door perimeters, roof–wall and slab–wall junctions, and at reinforced-concrete thermal bridges. For the panel building, all envelope elements fall 48–73 % short of the normative thermal resistance; the specific heat demand reaches 83.7 W/m² (46.8 % above the 57 W/m² limit), placing the building in thermal-energy class G. Seismic modelling in LIRA-SAPR shows the panel building to be stable and suitable for an energy-oriented capital repair, whereas the brick building fails seismic requirements and is better addressed through renovation. Screening the stock by structural and seismic suitability and then targeting deep envelope retrofit at suitable, numerous typologies provides a rational, evidence-based basis for retrofit-versus-renovation decisions in the region.

References

[1]. QMQ 2.01.04-2018. Construction heat engineering (Qurilish issiqlik texnikasi). State Committee for Architecture and Construction, Tashkent (2018).

[2]. ShNQ 2.01.18-24. Specific energy consumption and energy classes of buildings. Ministry of Construction, Tashkent (2024).

[3]. QMQ 2.01.03-19. Construction in seismic regions. State Committee for Architecture and Construction, Tashkent (2019).

[4]. ShNQ 2.01.01-22. Building climatology. Ministry of Construction, Tashkent (2022).

[5]. O‘zDSt 3255:2017. Ceramic bricks and stones — specifications and test methods. Uzstandard Agency, Tashkent (2017).

[6]. Nabiyev, M., Salimov, O., Khotamov, A., Akhmedov, T., Nasriddinov, K., Abdurakhmanov, U., ... & Abobakirov, A. (2024). Effect of external air temperature on buildings and structures and monuments. In E3S Web of Conferences (Vol. 474). EDP Sciences.

[7]. Sagdiev, K. S., Yuvmitov, A. S., Egamberdiev, B. O., Toshpulatov, S. U., & Toshmatov, E. S. (2023). Simulation of the structure of a multistory building with seismic isolation and the testing technique on a laboratory bench under dynamic ((seismic) impacts). In E3S Web of Conferences (Vol. 402, p. 07024). EDP Sciences.

[8]. Lucchi, E.: Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 82, 3077–3090 (2018).

[9]. Sagdiev, K., Yuvmitov, A., Akhundjanov, D., & Egamberdiev, B. (2025, April). On earthquake resistance of frame-skeleton buildings constructed within the framework of building code SNiP II-A. 12-69. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3265, No. 1, p. 030013). AIP Publishing LLC.

[10]. EN ISO 6946:2017. Building components and building elements — thermal resistance and thermal transmittance — calculation methods. CEN, Brussels (2017).

AN INTEGRATED AI-GIS-BIM FRAMEWORK FOR REAL-TIME GROUNDWATER MONITORING AND PREDICTIVE MANAGEMENT IN ARID REGIONS

E.Z. Abdulkhaev, Sh.S. Abdujalilova, I.I. Inomjonov

Fergana State Technical University,
E-mail: [1]*zokhidjon@fstu.uz,* [2]shoirakho@fstu.uz

(Received on April 16 th, 2026)

Abstract. *Effective groundwater management is a pressing issue in arid and semi-arid regions under*

increasing anthropogenic and climatic pressures. This research proposes an integrated approach that combines IoT-based monitoring, GIS, BIM, and LSTM neural networks. The system collects real-time data using solar-powered sensors and processes it in a cloud environment. The LSTM model showed high accuracy (RMSE = 0.43 m, MAE = 0.31 m, R^2 = 0.92). GIS and BIM integration improves spatial analysis and decision-making, contributing to sustainable water resources management. The results demonstrate that the proposed framework significantly enhances groundwater monitoring accuracy, supports adaptive water resource management, and contributes to sustainable development in arid regions such as the Fergana Valley.

Keywords: *artificial intelligence, GIS, BIM, engineering networks, smart city.*

Introduction

The sustainable operation of modern urban infrastructure depends on the effective management of engineering networks, in particular water supply and groundwater. In the context of urbanization, climate change and increasing demand for water, the rational use of groundwater is becoming a global problem. Traditional approaches have been based mainly on physically based models, which are effective in analyzing groundwater dynamics. However, these methods have limited real-time monitoring and forecasting capabilities [1-4].

In recent years, the integration of artificial intelligence (AI), geographic information systems (GIS), and building information modeling (BIM) technologies has created new opportunities in the management of engineering systems [4-7].

However, existing research often considers these technologies in isolation and comprehensive integration has not been sufficiently implemented [8-11].

In particular, real-time monitoring, spatial and engineering data integration, and artificial intelligence-based forecasting capabilities are limited. This study proposes an integrated system that combines real-time monitoring, forecasting, and decision-making based on IoT, GIS, BIM, and AI. The proposed approach serves to accurately model groundwater dynamics and effectively manage water resources. This methodology is especially relevant for arid regions such as the Fergana Valley, and is important for sustainable development and the formation of "smart city" systems.

Methodology

The study was conducted in the Fergana region. This region has an arid and semi-arid climate, characterized by seasonal fluctuations in groundwater levels and extensive water use. Groundwater is a major resource for drinking and agriculture, so its effective management is important. The study collected real-time data (water level, pressure, temperature) from IoT sensors. Meteorological (rainfall, temperature) and hydrological (water consumption) data, as well as geospatial data, were also integrated into a single database.

The methodology is based on a multi-stage system, which includes data collection, processing, analysis through GIS, and linking to infrastructure through BIM. An LSTM model was used for forecasting, and groundwater dynamics were accurately estimated based on time series.

The groundwater level prediction model is formulated as:

$$\mathrm{GWL}_t = f(x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-n}; \theta) \quad (1)$$

where, GWL_t - groundwater level at time (t); $x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-n}$- input parameters at previous time points (precipitation, temperature, water consumption, etc.); n - time window; θ - model parameter.

The input parameters for the model were precipitation, air temperature, groundwater level, irrigation volume, and soil filtration coefficient. The data were normalized using the Min–Max method. The model consisted of an LSTM architecture with two hidden layers (64 and 32 neurons), and a dropout value of 0.2 was used to reduce overfitting. The result was formed through a dense layer. Model accuracy was assessed using RMSE, MAE, and R^2.

The forecast results were integrated into GIS and BIM systems, allowing for spatial analysis of groundwater changes, identification of risk areas, and assessment of impacts on engineering infrastructure. This approach supports effective water resource management through real-time monitoring, high-precision forecasting, and integration of IoT, GIS, BIM, and AI technologies.

A solar-powered groundwater level measuring device has been created to ensure efficient use and monitoring of groundwater.

Figure 1. Solar-powered groundwater level measuring device.

A solar-powered groundwater level meter can help determine water level changes throughout the year, develop seasonal water withdrawal plans, manage backup water sources, and prevent wells from drying out. It is also important for developing irrigation standards, improving drainage systems, and planning urban and industrial water supplies. This device allows for real-time monitoring and assessment of groundwater dynamics, helping to identify changes in water levels under the influence of climate change. Based on the data obtained, scientifically based decisions are made for modeling and effective water resource management.

Water consumption for the population is found by the following formula:

$$Q_{pop} = N \cdot q \quad (2)$$

where, Q_{pop} - total water consumption for the population (m³/day); N - is the population; q - is the average water consumption per person, l/day.

Average water consumption for each industry sector (l/s):

$$Q_{ind} = \sum_{i=1}^{n} n_i \cdot q_i \quad (3)$$

where, n_i - number of enterprises in each sector; q_i- average water consumption.

Water consumption for agriculture and irrigation, (m³/ha):

$$Q_{irr} = \sum_{i=1}^{n} S_i \cdot V_i \quad (4)$$

where: S_i - cultivated area, (ha); V_i - water rate, (m³/ha).

When analyzing groundwater levels, it is necessary to identify areas of subsidence. This is the annual water level drop (m/month). The seasonal water withdrawal schedule is compiled based on the following data:

$$Q_s = Q_p + Q_i + Q_a \quad (5)$$

Calculation of drainage volume in areas with high water levels:

$$Q_d = K_d \cdot A \quad (6)$$

where: K_d - is the drainage coefficient, A - is the area to be drained.

Fergana region receives little rainfall, with the western and central parts being particularly dry. The best humidity conditions are in the eastern part, where the annual rainfall is 170 mm. At the foot of the mountain, the rainfall increases to 270 mm.

Calculation of seasonal rainfall and water resources:

$$Q_r = A \cdot P \quad (7)$$

here: A - is the area, hectares. P - is the annual precipitation, m

For the Fergana region, the annual flow for March-September is 59%, and the maximum flow is in July-August.

Irrigation potential through Syrdarya pumping stations is determined as follows:

$$Q_a = Q_r \cdot k \quad (8)$$

Results and discussions

Groundwater monitoring was conducted in the Fergana region using a "solar-powered groundwater level measurement" device. The area of Fergana region is 6.8 thousand km². The population of Fergana region is 4.5 million people, of which 70% (3.15 million) live in urban areas and 30% (1.35 million) live in rural areas. There are 86 large industrial enterprises in the region, and agricultural land covers 288.9 thousand hectares. Since the daily water consumption rate for urban residents is 300 l/day, and for rural residents it is 150 l/day:

$Q_c = 3150000 \cdot 300 = 945\ mln.l/kun$

$Q_v = 1350000 \cdot 150 = 202{,}5\ mln.l/kun$

$Q_p = Q_c + Q_v = 1147{,}5\ mln.\text{l/d} \approx 419\ mln.m^3/y$

There are 86 large and small enterprises in the Fergana region, with an average consumption of

30 l/hour per worker. The average annual water consumption for industrial enterprises is 81 million m^3.

Table 1. Irrigation water consumption calculation

Crop type	Area (ha)	Water rate (m^3/ha)	Annual water consumption (m^3)
Cereal crop	129 600	5 500	712 800 000
Cotton	115 900	7 500	869 250 000
Vegetable/melon	11 700	6 500	76 050 000
Fodder crops	24 100	4 500	108 450 000

Total irrigation water consumption:

$Q_i \approx 1{,}766\ mln.m^3/y$

The results obtained should be compared with the existing water reserves. The calculation of water reserves is carried out as follows:

$$V_r = A \cdot h \cdot n\ , m^3 \quad (9)$$

where: A is the area irrigated by the well, hectares. h is the change in water level, m, n is the soil water retention coefficient.

In the Fergana region, the average water consumption of wells is 63–96 l/s, with a water table drop of 6.98–17.8 meters. The filtration coefficient is 19–90 m/day, and towards the peripheral parts of the region this indicator decreases to 10–15 m/day.

The groundwater level is located at a depth of 40–45 meters in the southern (upper) part, while in the northern peripheral areas it rises to a depth of 3.0–0.5 meters. The amplitude of groundwater level fluctuations is 10–12 meters in the south, while in the north this figure is around 1.5–2 meters.

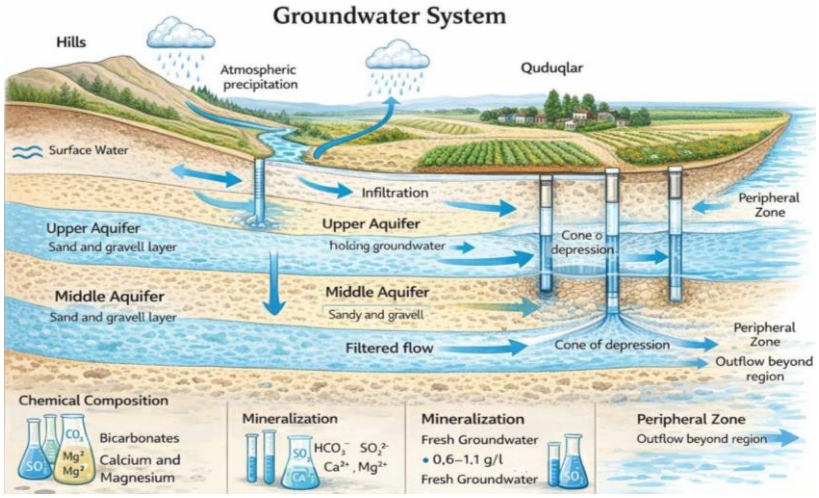


Figure 2. Hydrogeological view of groundwater.

The western and central parts of Fergana region are dry. The eastern part receives 270-447 mm of precipitation. Therefore, a drainage system is needed to drain excess water in the area. The calculation of the drainage volume is as follows:

$$Q_d = K_d \cdot A \quad (20)$$

For example, if K_d is 1.5 l/s per hectare on an area of 10,000 hectares, then Q_drainage=15,000 l/s.

Groundwater level data obtained using the device is transmitted directly to a server and analyzed in real time by artificial intelligence algorithms. The artificial intelligence system performs the following functions:

- Based on the data obtained, it forecasts changes in water levels throughout the year. It identifies seasonal changes.
- Artificial intelligence algorithms provide recommendations for limiting water withdrawals in low-lying areas, setting seasonal water withdrawal schedules, and determining when to use reserve water sources.
- Automatically detects events such as frequent or unexpected drops, heavy rain, or excess water.
- Artificial intelligence algorithms calculate irrigation rates and drainage system sizes based on the geophysical and climatic conditions of the area. They develop optimized irrigation and drainage regimes.

"Solar-powered groundwater level measurement" device and artificial intelligence integration

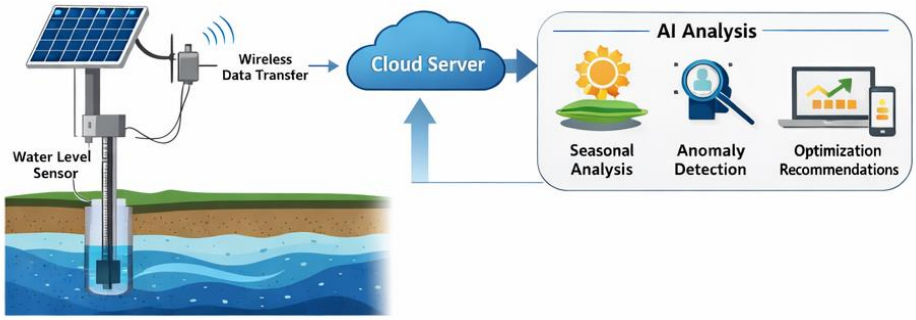


Figure 3. Solar-powered groundwater level measurement device monitoring system.

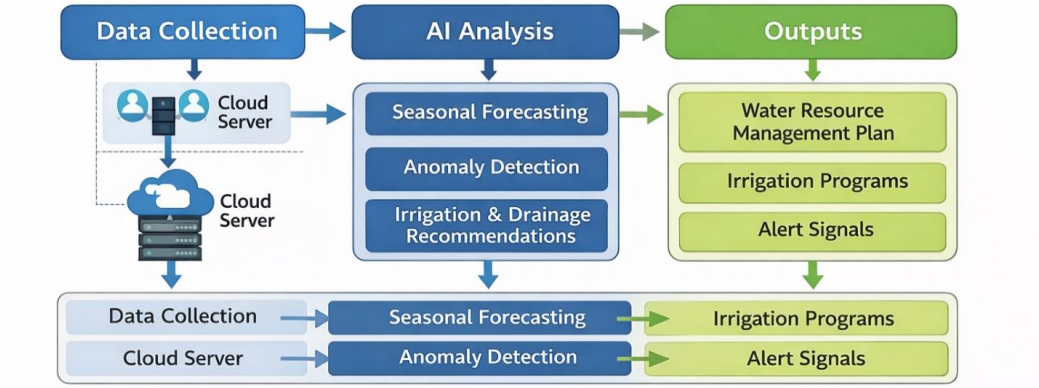


Figure 4. The process of analyzing water level data by artificial intelligence.

Based on the results obtained, it is possible to create groundwater level models and continuously update them using artificial intelligence. This approach allows for effective groundwater management, urban and industrial water supply planning, and optimization of irrigation and drainage systems in arid and semi-arid regions such as the Fergana Valley.

Conclusion

The Fergana Valley is a region rich in groundwater, with water resources replenished mainly through rivers, rain, and melting snow and ice. Seasonal fluctuations in groundwater levels in the region have been identified, with water levels rising in October-November and falling in May-June. In lowland areas, aquifers are located close to the surface of the earth, and in some cases, water can emerge close to the surface. In the deeper layers, three main aquifers allow for effective use through artesian wells.

The region's climate is continental, and the almost complete absence of precipitation in the summer months increases pressure on water resources and directly affects groundwater levels. The water consumption of the wells is 63–96 l/s, and the water level drop is observed in the range of 6.98–17.8 meters. The filtration coefficient is high in the southern region and decreases to 10–15 m/s towards the periphery. The amplitude of water level fluctuations is 10–12 meters in the south and 1.5–2 meters in the north.

Using artificial intelligence algorithms, seasonal and annual changes in groundwater levels in the area can be modeled. AI systems enable water resource forecasting, development of optimal well operation plans, and effective management of irrigation and urban-industrial needs. At the same time, AI-based monitoring systems monitor water levels in real time, helping to ensure rational use of resources and environmental safety.

As a result, the possibilities of managing and modeling groundwater in the Fergana Valley, optimizing irrigation systems, and sustainably meeting urban and industrial needs with the help of artificial intelligence will significantly increase.

Data availability

Data sets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author upon reasonable request. The data include groundwater level measurements,

meteorological observations, and hydrological parameters collected from monitoring stations in the Fergana region.

Author contributions

Zokhidjon Abdulkhaev - conceptualization of the research idea, creation of methodology, writing the first version of the article. Shoirakhon Abdujalilova - data curation, participation in the preparation of the first text of the article. Zulfiya Abdumalikova - data analysis, visualization of results. Jasurbek Ibrokhimov - provision of necessary technical tools and resources for the research, initial data processing. Umida Madmarova - methodology improvement and visualization. Jamshidbek Obidov - implementation of statistical and mathematical analysis, verification and evaluation of model results. Anvarjon Boymirzayev - presentation of results in graphical and visual form, data preparation. Elmurod Alikhonov - scientific editing and improvement of the article. All authors reviewed the final version of the article and approved its recommendation for publication.

References

[1]. Arifjanov, A., Samiev, L., Yusupov, S., Khusanova, D., Abdulkhaev, Z., & Tadjiboyev, S. (2021). Groundwater level analysis in Urgench city using MODFLOW modeling and forecasting system. E3S Web of Conferences, 263, 03010.

[2]. Arifjanov, A., Samiev, L., Abdulkhaev, Z., Abduraimova, D., Yusupov, S., & Kaletová, T. (2022). Model of urban groundwater level management in drainage systems. Acta Hydrologica Slovaca, 23(2), 172–179.

[3]. Madraximov, M., Abdulkhaev, Z., Qosimov, A., Sirojiddinov, D., Sattorov, A., & Arifjanov, A. (2023). Mitigating groundwater rise in Fergana city: A comprehensive analysis and drainage strategy. E3S Web of Conferences, 452.

[4]. Yan, Z., Jiang, L., Huang, X., Zhang, L., & Zhou, X. (2023). Intelligent urbanism with artificial intelligence in shaping smart cities. Journal of Cloud Computing, 12, 179.

[5]. Shirowzhan, S., Tan, W., & Sepasgozar, S. (2020). Digital twin and CyberGIS for infrastructure planning. ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(240).

[6]. Uzakov, S. (2021). Integrated application of BIM and GIS in smart city implementation. International Engineering Journal for Research & Development.

[7]. Zhou, D., Pei, B., Li, X., Jiang, D., & Wen, L. (2024). Innovative BIM technology application in construction management. Scientific Reports, 14, 15298.

[8]. Rahimian, F. P. (2020). Artificial intelligence integration with BIM and VR in construction engineering. Automation in Construction.

[9]. Li, X., Zhou, Y., & Zhu, Q. (2021). Application of artificial intelligence in groundwater monitoring. Journal of Hydrology, 603, 126912.

[10]. Sun, H., Gui, D., & Wang, Y. (2020). GIS-based groundwater level prediction using machine learning. Environmental Modelling & Software, 129, 104697.

[11]. Gupta, R., & Singh, V. (2019). IoT and AI integration for smart water management. IEEE Internet of Things Journal, 6(1), 744–753.

INVESTIGATION OF THE STRENGTH OF BASALT COMPOSITE REINFORCED AND COMBINED REINFORCED CONCRETE STRUCTURES ON NORMAL AND SLOPE SECTIONS

F.S. Solijonov, K.R. Kholmirzayev

Fergana state technical university
E-mail: f.s.solijonov@ferpi.uz
E-mail: qilichbekxolmirzayevri@gmail.com

(Received on April 16 th, 2026)

Abstract: *This article describes the analysis of the results of the research conducted on the study of the work of composite reinforced elements, which are widely used in the restoration of concrete structures in the buildings and structures currently being built in the Republic of Uzbekistan and in foreign countries.*

Key words: *composite, basalt, concrete, flexibility, strength, messura, polymer*

Introduction: In recent years, the President of the Republic of Uzbekistan and the Cabinet of Ministers have been making important decisions to raise the standard of living of the population and improve living conditions. In the implementation of these decisions, it is necessary to create

economically inexpensive construction structures with high durability, uniqueness, and their practical application in the construction of production enterprises, residential buildings, and engineering structures, which are necessary for the economy. The issues raised in this direction include the use of composite materials, which are relevant today. The use of composite materials in construction increases the overall reliability and technical economic efficiency of industrial, residential, public buildings and engineering structures in accepting permanent, temporary and earthquake stresses.

The use of flexible elements reinforced with composite reinforcements in industrial, residential, public buildings and engineering structures requires a scientific basis based on a new theory, confirmed by the results of experimental research. Appropriate recommendations and practical solutions should be developed based on scientific research[1-5].

Year by year, the volume of construction and improvement works is increasing in the Republic of Uzbekistan. In order to successfully implement the planned large-scale construction works, extensive use of new innovative technologies is required. The introduction of polymer composite reinforcements into the construction practice in the conditions of Uzbekistan requires their research in the conditions of our country. Therefore, conducting research in the direction of reinforcement of concrete structures with polymer composite reinforcements is an urgent problem of social and economic importance.

Therefore, it is appropriate to conduct complex experimental-theoretical studies to determine the state of stress-deformation of flexural concrete structures equipped with basalt-plastic composite reinforcements, the formation and development of cracks in them, uniformity, failure patterns and strength. . For this, it is necessary to experimentally study the resistance of bending moments and transverse forces of flexible elements reinforced with basalt plastic rods made of ordinary heavy concrete.

Materials, constructions and test models: Test models-sample beams with a rectangular cross-section were prepared for conducting experimental studies. Ordinary heavy concrete was used for the beams. Portland cement of the Turon cement plant in Beshariq district of Fergana region with an activity of 42.5 MPa was used as a binder for concrete. As fillers, quartz river sand from Akbarabad quarry, Kuva district, Fergana region, with a fraction of 5-15 mm and a bulk modulus of M2.25 was used. The composition of the concrete was chosen so that its cubic strength would have a compressive strength corresponding to the class B20 and B35. Granite limestone was sieved, washed in a special device and then dried (Table 1)[6-9].

Granulation composition of ordinary heavy concrete aggregates

Table 1.

Filler type	Residue in % by weight on a sieve with a hole size of mm								
	20	15	10	5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,07
Granite limestone	2-4	4-6	90-95	92-100	-	-	-	-	-
Quartz sand	-	-	-	-	1-2	4-5	12-15	45-50	90-100

The consumption of materials for 1 m3 concrete mixture of class B30 is given in table 2.

Concrete composition for sample beams

Table 2.

№	Naming	Amount	Unit of measure
1	Portland cement M400 of "Turon" cement factory, Beshariq district, Fergana region	380	kg
2	pebble	1170	kg
3	Quartz sand	670	kg
4	Water	165	litr
5	Density of concrete:	2385	kg/m^3
6	Concrete water/cement ratio (S/S)	0,43	

The consumption of materials for 1 m3 concrete mixture of class B20 is given in table 3.

Concrete composition for sample beams

Table 3.

№	Naming	Amount	Unit of measure
1	Portland cement M400 of "Turon" cement factory, Beshariq district, Fergana region	300	kg
2	pebble	1220	kg
3	Quartz sand	720	kg
4	Water	150	litr
5	Density of concrete:	2390	kg/m^3
6	Concrete water/cement ratio (S/S)	0,50	

The materials were dosed with an accuracy of ±0.1 kg by weight. An electronic scale with high accuracy was used for this purpose. The results of the cube tests are presented in Table 4.

Test results of cubes made of sample beam concrete

Table 4.

№	Beam cipher	Age of concrete (days)	Edge of sample cubes, cm	Compressive strength of concrete, MPa	Strength of concrete		
					R_b, MPa	R_{bt}, MPa	E_b*10^{-3} MPa
1	2	3	4	5	6	7	8
1	BKPA -1	30	10	26,35	14,3	1,33	30,1
2	BKPA -2	30	10	25,42	13,9	1,30	29,6
3	BKPA -3	30	10	25,63	14,0	1,30	29,7
4	BKPA -4	30	10	26,34	14,3	1,33	30,1
5	BKPA -5	30	10	35,84	19,3	1,63	34,2
6	BKPA -6	30	10	35,45	19,1	1,62	33,8

Together with the beam samples, cubes with dimensions of 10x10x10 cm were prepared from the same mixture. After 28 days of storage under conditions of normal temperature t=20±20C and relative humidity φ=60-65%, the sample cubes were tested in a hydraulic press until failure under compressive force.

After determining the cubic strength of concrete, the prismatic strength corresponding to it was calculated according to the expression Rb=0.75R, and its tensile strength was calculated according to the formula R_bt=0.5∛(R^2).

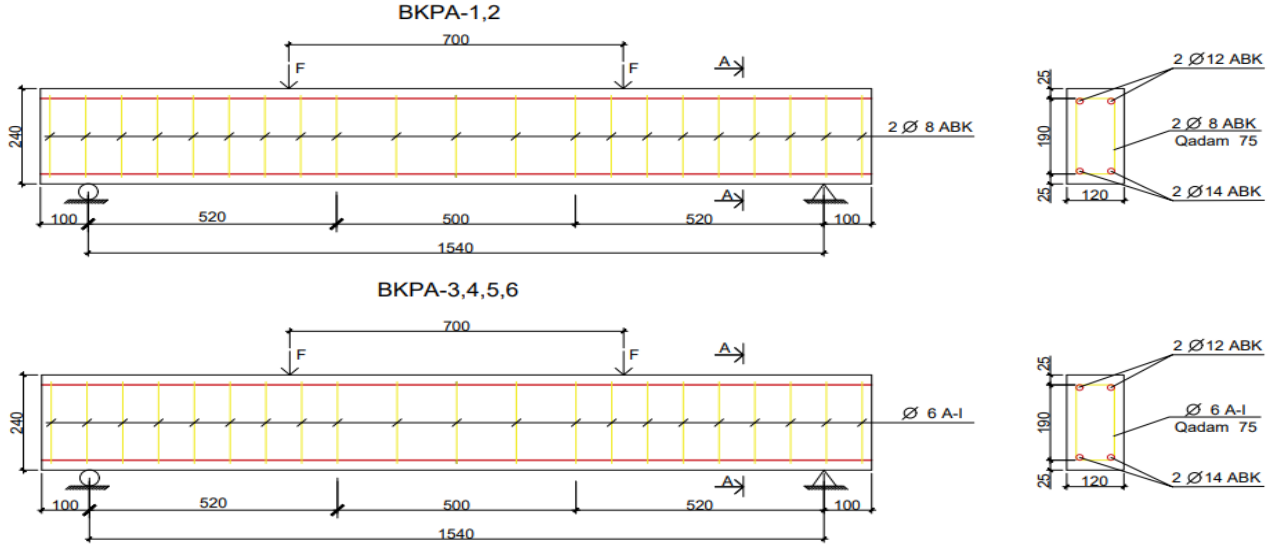


Figure 1. Schemes of reinforcement and loading of sample beams.

For experimental studies, 4 B20, 2 B30 beams with cross-sectional dimensions of 12x24 cm and length of 174 cm equipped with concrete and composite reinforcements were prepared. The beams were made in wooden molds. The inner surface of the molds was covered with metal sheets. In 2 test samples made of B20 class concrete, 2Ø14BKA reinforcements were placed in the tensile area, 2Ø12BKA in the compressive area, and Ø8BKA reinforcements were placed in 7.5 cm increments as working reinforcements (Fig. 2.2). In 2 test samples made of B20 class concrete, 2Ø14BKA was placed in the tensile area as working reinforcement, 2Ø12BKA in the compressive area, and Ø6A-I reinforcements were placed in steps of 7.5 cm as clamps (Fig. 2.3). In 2 test samples made of B30 class concrete, 2Ø14BKA was placed in the tensile area as working reinforcement, 2Ø12BKA in the compressive area, and Ø6A-I reinforcements were placed in steps of 7.5 cm as clamps (Fig. 2.3). The composite reinforcements for the tie rods were welded to the longitudinal reinforcements with mild steel wires. Reinforcement wedges were installed and fixed in the formwork at the project site. Beam samples were made from heavy concrete of B20 and B30 class. Together with the sample beams, cubes of 6 and 9 pieces with a size of 10x10x10 cm were made from the same concrete at the same time.[10-15].

The dimensions of the sample beams prepared for the experiment, the interval of application of the loads acting on the sample beams, the classes of concrete used and the number, diameter of longitudinal tensile and compressive reinforcements, transverse reinforcements (clamp) number and diameters are given in table 5.

Main characteristics of sample beams.

Table 5.

Sample №	Sample password	Dimensions, sm			Reinforcement			Load range, sm	Design class of concrete
		b	*h*	h_0	Transverse reinforcement (clamps)	Longitudinal stretchy	Longitudinal compressible		
BKPA -1		12	24	18,5	2Ø 8 BKA	2Ø 14 BKA	2Ø 12 BKA	70	B20
BKPA -2		12	24	18,5	2Ø 8 BKA	2Ø 14 BKA	2Ø 12 BKA	70	B20
BKPA -3		12	24	18,5	Ø 6 A-I	2Ø 14 BKA	2Ø 12 BKA	70	B20
BKPA -4		12	24	18,5	Ø 6 A-I	2Ø 14 BKA	2Ø 12 BKA	70	B20
BKPA -5		12	24	18,5	Ø 6 A-I	2Ø 14 BKA	2Ø 12 BKA	70	B30
BKPA -6		12	24	18,5	Ø 6 A-I	2Ø 14 BKA	2Ø 12 BKA	70	B30

The sample beams were tested in bending on a force stand. The stand is specially designed to load the beams through two cumulative forces and test the midsection in pure bending.

The beams were mounted on 2 hinged supports of the stand for testing samples. One of the hinges is fixed and the other is movable. The distance between the forces was 700 mm, and the distance from the supports to the load was 420 mm. The distance from the base to the edge of the beams is 100 mm. The load was delivered using a 24-ton manually operated hydraulic jack. For this, dividing traverses were used.

After the tests, the location of the cracks was determined, the samples were photographed and the height of the cracks was measured, the distances between them were determined, the protective layers of the working fittings were determined and the working height was measured.

During the test, the deformations of concrete and reinforcements, the time of formation of normal and oblique cracks and the amount of load, the stiffness of the beam were measured and recorded.

During the experiment, the failure of BKPA-1,2 samples occurred at values close to the calculated loads, the load of BKPA-3,4,5,6 samples was almost 2 times higher than the calculated loads. In sample beams 1, 2, it was noted that the experimental load differs from the calculated load

by 10-20% on average. In sample beams 3, 4, 5, 6, it was noted that the experimental load differs from the calculated load by 85-95% on average.

In most of the damaged samples on the slope sections, the value of the given force (0.9-0.95) after reaching the Kult values, the nodes of the connecting rods with the longitudinal reinforcements were broken and the compression areas of the beam were sheared. observed. It was observed that the concrete lost its strength after the strength value reached (0.9-0.95) Kult values in most of the samples with failure in the compressive part.

It was observed that the amount of bending moments Mcrc during the formation of cracks in the sample beams depends on the value of the distance "a" (shear interval) between the load and the support.

Conclusions:

Normal cracks in BKPA-1.2 sample beams a=42 cm (a/h=1.95) at bending moments equal to 6.8-7kN, normal cracks in BKPA-3.4 sample beams 7.6-7 At bending moments equal to .9 kN, normal cracks were formed in BKPA-5.6 sample beams at bending moments equal to 11-11.2 kN. In this case, the ratio of the crack forming moment to the breaking moment was (M_crc^t)/(M_ult^t)=0.220.

The ratio of the experimental value of the cracking moments to the calculated value of the BKPA-1,2,3,4 sample beams, the ratio of the experimental and calculated cracking moments is 1.445 and 1.458, the experimental and calculated cracking moments of the BKPA-5,6 sample beams the ratio was 2.022 and 2.004.

The values of the experimental M_crc^t and calculated M_crc^h bending moments normal to the element's longitudinal axis in the sample beams are presented in Table 6.

Formation of normal cracks in sample beams

Table 6.

Sample beam cipher	The distance between the forces, sm	Bending moment in the formation of normal cracks, kNm		M_{ult}^{t}	$\frac{M_{crc}^{t}}{M_{ult}^{t}}$	$\frac{M_{crc}^{t}}{M_{crc}^{x}}$
		Experimental M_{crc}^{t}	Accounting M_{crc}^{x}			
BKPA-1	42	3,15	2,18	14,6	0,215	1,445
BKPA -2	42	3,15	2,17	13,7	0,21	1,451
BKPA -3	42	3,15	2,16	22,7	0,229	1,458
BKPA -4	42	3,15	2,18	23,8	0,132	1,445
BKPA -5	42	4,73	2,34	26	0,175	2,022
BKPA -6	42	4,73	2,36	26,9	0,176	2,004

The opening width of normal cracks was acrc=0.2-0.35mm at loads equal to half of the destructive load, the further increase of loads caused intensive development of normal cracks and a significant increase in opening width. When the ratio of step load to breaking load reached 0.6-0.85, the opening width of normal cracks was 0.4-0.7mm. The subsequent increase in loads resulted in violent opening of normal cracks.

It was found that the results of calculation of the opening width of cracks normal to the longitudinal axis of the element according to the method presented in ShNQ satisfactorily agree with the laws and quantities of changes obtained in the experiments.

Based on theoretical calculations, the values of M_crc^h are from 4.44 kN·m to 5.37 kN·m. The average value of M_crc^h was equal to 4.9 kN·m. The difference between the average value of M_crc^h and the smallest and largest values is 0.93 kN·m (5.2%) and 0.38 kN·m (3%), respectively. In other words, almost stable values for M_crc^h were obtained in the calculations.

The ratio of the experimental M_crc^T to the calculated (theoretical) M_crc^h was greater than 1 and averaged 1.23 in BKPA-1,2 sample beams, in BKPA-3,4,5,6 sample beams and the average was 1.85. It was found that the average value of the experimental crack-forming moments

in BKPA-1,2 samples is equal to 22% of the breaking moments. In BKPA-3,4,5,6 samples, the average value of the experimental crack-forming moments was found to be 9-11% of the breaking moments.

In the process of testing the sample beams under load, cracks directed obliquely to the longitudinal axis of the element were formed a little later than normal cracks. After the formation of normal cracks, the formation of oblique cracks was observed in the sample beams only after increasing the load in at least 1-2 stages.

In the experiments, it was found that the formation, development and opening width of oblique cracks depends on the amount of reinforcement of the sample beams with collars, the diameter and pitch of the collars, the shear interval a/h_0, the amount and diameter of the longitudinal working reinforcement, and the strength of the concrete.

In theoretical calculations, the transverse force forming oblique cracks was determined according to the following formula:

$$Q_{crc}^{h} = 0{,}6\ R_{bt,ser} b\ h_0 \qquad (1)$$

For cases with a shear interval a>1.5x_0, as a result of entering the ratio h_0/a instead of the coefficient 0.6 in the above formula, it was observed that the ratios of the experimental and theoretical oblique crack-forming forces are significantly improved. In this case, the formula for finding transverse forces in the formation of oblique cracks is expressed as follows:

$$Q_{crc}^{h} = \frac{R_{bt,ser}\, b h_0^2}{a} \qquad (2)$$

but, 0.6R_(bt,ser) should not exceed bh_0.

In BKPA-1.2 sample beams (a=42cm), the initial oblique cracks were formed at loads Q_crc^h=14.2-14.8 kN, where the ratio (Q_crc^t)/(Q_ult^t) was 0, It was 8. In BKPA-3.4 sample beams (a=42cm), the initial oblique cracks were formed at loads Q_crc^h=14.5-14.9 kN, where the ratio (Q_crc^t)/(Q_ult^t) was 1, It was 25. In BKPA-5.6 sample beams (a=42cm), the initial oblique cracks were formed at loads Q_crc^h=18.2-18.9 kN, where the ratio (Q_crc^t)/(Q_ult^t) was 1, It was 37.

As the load increased, intensive opening of oblique cracks occurred. Especially at the load level of 0.8Qult and more, oblique cracks developed rapidly, their opening width was 1.0mm and more. In this way, the oblique cracks became critical cracks and the failure of the beams occurred.

At loads (0.5-0.7) Kult, the opening width of oblique cracks in the beams was in the range of 0.2-0.5 mm[16-18].

Formation of oblique cracks in sample beams

Table 7.

Sample beam cipher	Shear span (distance from support to force), sm	Transverse force in the formation of oblique cracks, kN		$\frac{Q_{crc}^{t}}{Q_{crc}^{x}}$	Q_{ult}^{t}, kN	$\frac{Q_{crc}^{t}}{Q_{ult}^{t}}$
		Experimental Q_{crc}^{t}	Accounting Q_{crc}^{x}			
BKPA -1	42	14,2	12,75	1,11	35	0,41
BKPA -2	42	14,8	12,35	1,19	34	0,44
BKPA -2	42	14,5	12,45	1,16	54	0,27
BKPA -2	42	14,9	12,65	1,18	57	0,26
BKPA -2	42	18,2	15,45	1,18	62	0,29
BKPA -2	42	18,9	15,35	1,23	64	0,30

References

[1]. Umarov, S. A. (2021). Development of deformations in the reinforcement of beams with composite reinforcement. Asian Journal of Multidimensional Research, 10(9), 511-517.

[2]. Умаров, Ш. А. (2021). Исследование Деформационного Состояния Композиционных Арматурных Балок. Ta'lim va rivojlanish tahlili onlayn ilmiy jurnali, 1(6), 60-64.

[3]. Abdug‘Ofurovich, U. S., O‘G‘Li, S. F. S., & O‘G‘Li, E. A. A. (2022). Kompozit armaturali giluvchi beton elementlarning kuchlanib-deformatsiyalanganlik holatini eksperimental tadqiq etish. *Talqin va tadqiqotlar ilmiy-uslubiy jurnali*, *4*(4), 41-46.
[4]. Абобакирова, З. А., Эркабоев, А. А. У., & Солижонов, Ф. С. У. (2022). Исследование состояния деформации при растяжении с использованием стекловолоконной арматуры в балках. *Talqin va tadqiqotlar ilmiy-uslubiy jurnali*, *4*(4), 47-55.
[5]. Abdugofurovich, U. S., & Mirzaakbarovna, M. S., & Sodiqjon o‘g‘li, S. F. (2022). Combined composite reinforced concrete beams. *Spectrum Journal of Innovation, Reforms and Development*, *8*, 317-324.
[6]. Mirzaakbarovna, M. S., & Asrorovna, A. Z., & Sodiqjon o‘g‘li, S. F. (2022). Development of effective methods of strengthening damaged walls of buildings to be reconstructed. *Spectrum Journal of Innovation, Reforms and Development*, *8*, 325-331.
[7]. Asrorovna, A. Z., Abdugofurovich, U. S., & Mirzaakbarovna, M. S., & Sodiqjon o‘g‘li, S. F. (2022). Investigation of the strength and dutness of reinforced concrete beams with glass composite reinforcements. *Spectrum Journal of Innovation, Reforms and Development*, *8*, 310-316.
[8]. Asrorovna, A. Z., Abdug‘ofurovich, U. S., & Sodiqjon o‘g‘li, S. F. (2022). Issues of improving the economy of building material-wood production. *Spectrum Journal of Innovation, Reforms and Development*, *8*, 336-340.
[9]. угли Ахмадалиев, А. Х., & угли Халимов, А. О. (2022, May). Композитное усиление изгибающий балк под нагрузкой. in *international conferences on learning and teaching* (Vol. 1, No. 7, pp. 409-415).
[10]. ogli Ahmadaliyev, A. H. (2022, May). Binolarni loyihalashda iqlimning ta’siri. In *International conferences on learning and teaching* (Vol. 1, No. 7, pp. 403-408).
[11]. Аҳмедов, Т. О. (2021). Архитектурада Готика Услуби. *Ta'lim va rivojlanish tahlili onlayn ilmiy jurnali*, *1*(6), 26-31.
[12]. Сон, Д. О., & Халимов, А. О. (2021). Управление метрологическими рисками как основа для увеличения качества продукции. *Экономика и социум*, (2-2), 202-210.

BAZALT TOLALI PLASTIK KOMPOZIT ARMATURALI BETON TO‘SINLAR

F.S. Solijonov, K.R. Kholmirzayev

Farg‘ona davlat texnika universiteti
E-mail: f.s.solijonov@ferpi.uz.
E-mail: qilichbekxolmirzayevri@gmail.com
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Ushbu maqolada O‘zbekiston Respublikasida va chet mamlakatlarda hozirgi vaqtda barpo etilayotgan bino va inshootlarda beton konstruksiyalarini tiklashda keng qo‘llanilayotgan kompozit armaturali elementlarning ishini tadqiq etish bo‘yicha bajarilgan tadqiqot ishlari natijalarining tahlili bayon etilgan.*

Kalit so‘zlar: *kompozit, bazalt, beton, solqilik, mustaxkamlik, messura, polimer.*

Kirish: Dunyoning ko‘plab mamlakatlarida qurilish sohasida temirbeton konstruksiyalarda po‘lat armaturalar o‘rniga muqobil bo‘lgan kompozit materiallardan tayyorlangan armaturalarni qo‘llash bo‘yicha tadqiqotlar o‘tkazish va ularning natijalarini qurilish amaliyotiga joriy etish ustida ilmiy ishlar olib borilmoqda va yildan-yilga ularning hajmi ortib bormoqda. Ularga misol qilib Germaniya, Rossiya, Xitoy, Yaponiya, AQSh, Kanada va boshqa mamlakatlarda amalga oshirilgan tadqiqotlar va barpo etilgan obyektlarni keltirishimiz mumkin.

Hozirgi kunda polimer kompozit armaturalar yo‘l-transport infrastrukturasi obyektlarida, yuqori elektromagnit maydonlar hosil bo‘ladigan hududlarda, kimyo sanoati, suv tayyorlash va tozalash, melioratsiya obyektlarida, dengiz portlari va port oldi inshootlarini barpo etishda, shahar muhandislik infrastrukturasi obyektlarida, metropolitenlarning shaxta va tonnellarini barpo etishda, shuningdek, bino va inshootlarning yuk ko‘taruvchi va to‘siq konstruksiyalarini barpo etish, ta’mirlash va rekonstruksiya qilishda samarali qo‘llanilib kelinmoqda.

Ayniqsa yemiruvchan muhit sharoitida ishlaydigan temirbeton konstruksiyalarning po‘lat armaturalari o‘rniga polimer kompozit armaturalarni ishlatish istiqbolli ilmiy yo‘nalish hisoblanadi.

O‘zbekiston Respublikasining iqtisodiyotini rivojlantirishda, uning moddiy-texnik bazasini yuksaltirishda yangi konstruktiv yechimlarga ega bo‘lgan, iqtisodiy jihatdan samarador bo‘lgan elementlarni nazariy va eksperimantal izlanishlar asosida amaliyotga tadbiq etish muhim ahamiyat kasb etadi.

O‘zbekiston Respublikasida yildan-yilga qurilish obodonlashtirish ishlari hajmi o‘sib bormoqda. Rejalashtirilgan ulkan hajmdagi qurilish ishlarini muvaffaqiyatli amalga oshirish uchun yangi innovatsion texnologiyalarni keng qo‘llash talab etiladi. O‘zbekiston sharoitida polimer kompozit armaturalarni qurilish amaliyotiga joriy etish mamlakatimiz sharoitida ularni tadqiq etishni taqazo qiladi. Shu sababli beton konstruksiyalarni polimer kompozit armaturalar bilan armaturalash yo‘nalishida tadqiqotlar olib borish ijtimoiy va iqtisodiy axamiyatga ega bo‘lgan dolzarb muammo hisoblanadi.

So‘nggi yillarda O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti va Vazirlar Mahkamasi tomonidan aholining turmush darajasini oshirish va yashash sharoitlarini yaxshilash uchun muhim qarorlar qabul qilinmoqda. Ushbu qarorlarni bajarishda iqtisodiyot uchun kerakli bo‘lgan ishlab chiqarish korxonalari, turar-joy binolari, muxandislik inshootlarini barpo etishda mustahkamligi, bikrligi yuqori bo‘lgan, iqtisodiy jihatdan arzon qurilish konstruksiyalarni yaratish hamda ularni amaliyotda qo‘llash talab etiladi. Ushbu yo‘nalishdagi qo‘yilgan masalalar o‘z qamroviga ko‘ra bugungi kunda dolzarb bo‘lgan kompozit materiallarni qo‘llashni ham oladi. Kompozit materiallarning qurilishda qo‘llanilishi ishlab chiqarish, turar-joy, jamoat binolari va muxandislik inshootlarining doimiy, vaqtinchalik hamda zilzila zo‘riqishlarini qabul qilish bo‘yicha umumiy ishonchliligini, texnik iqtisodiy samaradorligini oshiradi.

Ishlab chiqarish, turar-joy, jamoat binolari va muxandislik inshootlarida kompozit armaturalar bilan armaturalangan egiluvchi elementlarni qo‘llash yangi nazariyaga asoslangan, ekspremental tadqiqotlar natijalari bilan tasdiqlangan ilmiy asosni talab etadi. Ilmiy izlanishlar asosida tegishli tavsiyalar va amaliy yechimlar ishlab chiqilishi lozim.

O‘zbekiston Respublikasida yildan-yilga qurilish obodonlashtirish ishlari hajmi o‘sib bormoqda. Rejalashtirilgan ulkan hajmdagi qurilish ishlarini muvaffaqiyatli amalga oshirish uchun yangi innovatsion texnologiyalarni keng qo‘llash talab etiladi. O‘zbekiston sharoitida polimer kompozit armaturalarni qurilish amaliyotiga joriy etish mamlakatimiz sharoitida ularni tadqiq etishni taqazo qiladi. Shu sababli beton konstruksiyalarni polimer kompozit armaturalar bilan armaturalash yo‘nalishida tadqiqotlar olib borish ijtimoiy va iqtisodiy axamiyatga ega bo‘lgan dolzarb muammo hisoblanadi.[1-10]

Shu bois bir qator ilmiy tadqiqot ishlari olib borildi. Shulardan biri kombinatsiyalangan kompozit armaturali egiluvchi beton to‘sinlar ustida o‘tkazilgan tadqiqotdir. Ushbu tadqiqotni o‘tkazish uchun B20 sinfli betondan tayyorlangan 2ta sinov namunasida ishchi armatura sifatida cho‘ziluvchi sohaga 2Ø14BKA, siqiluvchi sohaga 2Ø12BKA, xomutlar sifatida Ø6A-I armaturalar 7,5sm qadam bilan qo‘yildi. Xomutlar uchun mo‘ljallangan Ø6A-I armaturalar yumshoq po‘lat simlar bilan bo‘ylama armaturalarga to‘qib-bog‘lab biriktirildi. Armatura sinchlari qoliplarga loyiha o‘rnida o‘rnatilib, fiksatsiya qilindi. To‘sin namunalarini B20 sinfli og‘ir betondan tayyorlandi. Namuna to‘sinlar bilan birgalikda o‘lchami 10x10x10sm bo‘lgan 9 donadan kublar ham bir vaqtning o‘zida xuddi shu betondan tayyorlandi. To‘sinlarning armaturalanishi 1-jadvalda keltirilgan.

Beton hajmi 0,25m^3 ga teng beton qorishtirgichda tayyorlandi va qoliplarga quyib titratgich (vibrator) yordamida zichlandi.

To‘sin namunalari, kublar qolipda 5-7 kun saqlab turilgandan keyin qoliplardan bo‘shatildi va sinovgacha laboratoriya sharoitida saqlandi. Dastlabki kublar qoliplangandan so‘ng 28 kun o‘tgach sinaldi. Keyin esa bevosita to‘sinlarni sinashdan oldin ham ularning kubik mustahkamligi aniqlandi. 28 sutkadan keyin kublarni siqilishga sinash natijalariga ko‘ra namuna to‘sinlarning betoni B20 siqilishga bo‘lgan mustahkamlik bo‘yicha sinflarga mosligi aniqlandi. Sinovlar 50 tonnalik gidravlik pressda sinovdan o‘tkazildi. Namuna-kublarni sinash buzilishgacha olib borildi. Sinovlar standart metod bo‘yicha belgilangan GOST 10180-2012 talablari asosida bajarildi. Sinov natijalari 2-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

Namuna №	Namuna to sin shifri	O‘lchamlari, sm			Armaturalanishi			Yuklar oralig‘i, cm	Betonning loyihaviy sinfi
		b	*h*	h_0	Ko‘ndalang armatura (xomutlar)	Bo‘ylama choziluvchi	Boylama siqiluvchi		
BKPA -1		12	24	18,5	Ø 6 A-I	2Ø 14 BKA	2Ø 12 BKA	70	B20
BKPA -2		12	24	18,5	Ø 6 A-I	2Ø 14 BKA	2Ø 12 BKA	70	B20

2-jadval.

Beton turi	Qotish sharoiti	Beton yoshi, sutka	R, MPa	R_b, MPa	R_{bt} MPa	E_b*10^3, MPa	ε_{bn}	γ_{bn}	W, %
Oddiy og‘ir	Tabiiy sharoitda	28	25	14,3	1,33	30,1	205	0,82	3,6

To‘sinlar stendning namunalarni sinash uchun mo‘ljallangan 2 ta sharnirli tayanchlariga o‘rnatildi. Sharnirlarning biri qo‘zg‘almas, ikkinchisi qo‘zg‘aluvchan qilib tayyorlangan. Kuchlar orasidagi massofa 700 mm, tayanchlardan yukgacha bo‘lgan masofalar esa 420mm ni tashkil etdi. Tayanchdan to‘sinlarning chetigacha bo‘lgan masofalar 100 mm danni tashkil etadi. Yuk 24 tonnalik qo‘l yordamida boshqariladigan gidravlik domkrat vositasida berildi. Buning uchun taqsimlovchi traversalar qo‘llanildi.

Sinovlar boshlanishidan oldin namuna to‘sinda o‘rnatilgan barcha priborlar bo‘yicha boshlang‘ich o‘lchovlar yozib olindi. Bu ko‘rsatkichlar “shartli nol” sifatida qabul qilindi. Yuklash sekinlik bilan bir necha bosqichda berildi. Bosqich yuki hisobiy buzuvchi yukning taxminan 10%ini tashkil etdi. Har bir bosqichda yuk berib bo‘lingandan so‘ng, 20 minutgacha uning stabillashishi kutib turildi.

Beton va armaturaning deformatsiyalari, to‘sinlarning salqiligi, yoriqlarning hosil bo‘lish vaqti (yuki) va ochilish kengligi namunalar buzilguncha o‘lchab borildi. Yukning qiymati domkratning manometridan yozib olindi. Yuk belgilangan qiymatga yetgandan so‘ng domkratning ventili bekitilib, shu qiymatda 15-20 minut ushlab turildi. Ko‘rsatkichlar priborlar orqali yozib olingandan keyin navbatdagi bosqich yuki berildi. Shu tarzda sinovlar davom ettirildi va namunalar buzilguncha olib borildi[11-19].

Tadqiqot natijalari: Sinovlar tugagandan so‘ng hosil bo‘lgan yoriqlarning o‘rni belgilandi, namunalar rasmga olinib yoriqlarning balandligi o‘lchandi, ular orasidagi masofalar aniqlandi, ishchi armaturaning himoya qatlamlari aniqlanib ishchi balandlik o‘lchandi.

Sinov paytida beton va armaturalarning deformatsiyalari, normal va qiya yoriqlarning hosil bo‘lish vaqti va yuk miqdori, to‘sinning salqiliklari o‘lchanib, qayd etib borildi.

Deformatsiyalar 300 mm bazada aniqligi 0,01 mm bo‘lgan soat tipidagi indikatorlar yordamida ko‘chma messura vositasida, salqiliklar to‘sinning uch nuqtasi bo‘yicha-oraliq o‘rtasida va tayanchlarda o‘lchash aniqligi 0,01 mmli soat tipidagi indikatorlar yordamida o‘lchandi. Cho‘ziluvchi va siqiluvchi armaturalarning, hamda beton siqiluvchi sohasining deformatsiyalari ham kesim balandligi bo‘yicha avvaldan belgilangan uchta nuqtalarda 300 mmli bazada o‘lchab borildi.

Tajriba vaqtida har bir bosqichda namuna to‘sinlarning sirti sinchiklab tekshirib borildi, dastlabki yoriqlar paydo bo‘lishi bilan ular darhol belgilanib, qayd etildi va ularning kengligi o‘lchandi. Shu vaqtning o‘zida erishilgan yuk qiymati ham belgilab qo‘yildi.

Berilayotgan yuk qiymati buzuvchi yukning taxminan 85-90% iga yetganda o‘lchov priborlari yechib olinib, namuna buzilguncha yuklandi va uning buzilish xarakteri qanday kechayotganligi

kuzatib borildi. BKPA-3 va BKPA-4 namuna to‘sinlarida buzilish to‘sinning siqiluvchi qismida betonning parchalanishi bilan yuz berdi.

Tajriba vaqtida BKPA-3 va BKPA-4 namunalarning buzilishidagi yuk hisobiy yuklardan deyarli 2 barobarga ko‘p bo‘ldi. BKPA-3 va BKPA-4 namuna to‘sinlarida tajribaviy yuk hisobiy yukdan o‘rtacha 85-95% gacha farq qilishi qayd etildi.

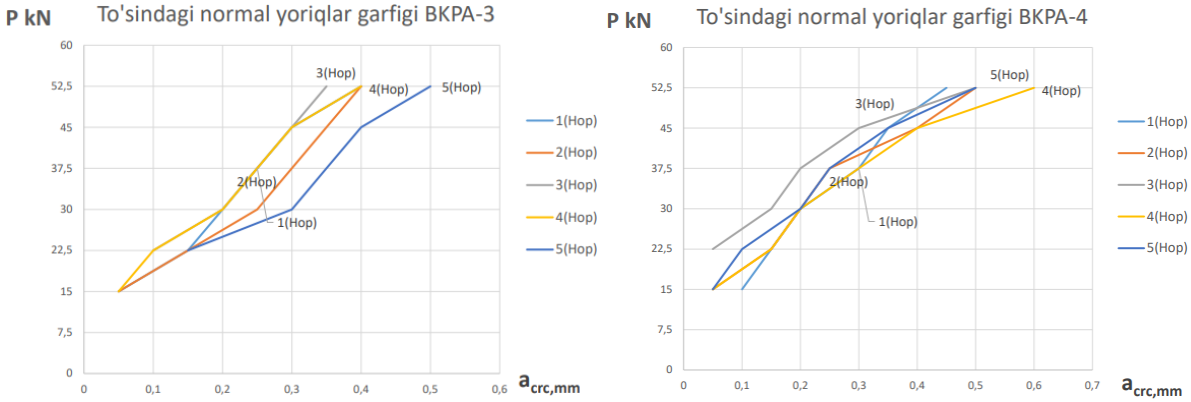
Tajribadan so‘ng namunalar stenddan yechib olinib, alohida joyga qo‘yildi va yoriqlar kartasi chizilib, rasmga olindi. To‘sinlarda yoriqlarining joylashishi, ularning o‘lchamlari, ochilish kengligi bir-biriga juda o‘xshash va yaqin bo‘lganligi qayd etildi.

Siqiluvchi qismida buzilish ro‘y bergan namunalarning aksariyatida berilayotgan kuch qiymati (0,9-0,95)Q_{ult} qiymatlarga erishgandan so‘ng beton o‘z mustaxkamligini yo‘qotganligi kuzatildi. Namuna to‘sinlarida normal yoriqlarning hosil bo‘lishi 3-jadvalda keltirilgan[20-25].

3-jadval.

Namuna to‘sinlar shifri	Kuchlar orasidagi masofa, sm	Normal yoriqlar hosil bo‘lishidagi eguvchi moment, kNm		M_{ult}^{t}	$\frac{M_{crc}^{t}}{M_{ult}^{t}}$	$\frac{M_{crc}^{t}}{M_{crc}^{x}}$
		Tajribaviy M_{crc}^{t}	Hisobiy M_{crc}^{x}			
BKPA -3	42	3,15	2,16	22,7	0,229	1,458
BKPA -4	42	3,15	2,18	23,8	0,132	1,445

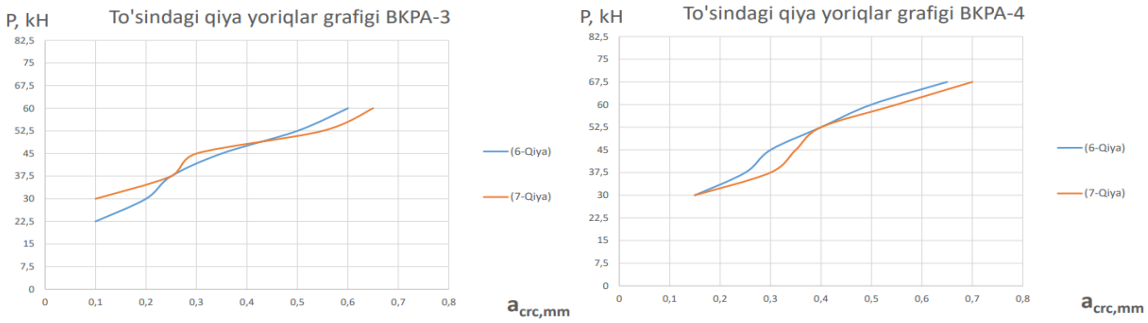
BKPA-3,4 namuna to‘sinlarga yuk berish boshlanganda yuklashning ma’lum bosqichlarida (II va undan keyingi) sof egilish sohasida to‘sinlarda dastlab 2 ta yoki 3 tagacha normal yoriqlar paydo bo‘ldi, so‘ngra yuk ortib borgani sari yana yangi normal yoriqlar hosil bo‘ldi. Dastlab hosil bo‘lgan yoriqlarning ochilish kengligi 0,05-0,09 mm ni tashkil etdi, yuklar ortib borgani sari normal yoriqlar rivojlanib bordi, ularning uchi kesim balandligi bo‘yicha ko‘tarilib borishi kuzatildi va shu vaqtning o‘zida yoriqlarning ochilish kengligi ham ortib bordi. Normal yoriqlarning ochilish grafigi 1-rasmda keltirilgan[26-28].



1-rasm. Namuna to‘sinlarida normal yoriqlarning ochilish grafigi.

Namuna to‘sinlarida qiya yoriqlarning hosil bo‘lishi **4-jadval.**

Namuna to‘sinlar shifri	Qirqilish oralig‘i (tayanchidan kuchgacha bo‘lgan masofa), sm	Qiya yoriqlar hosil bo‘lishidagi ko‘ndalang kuch, kN		$\frac{Q_{crc}^{t}}{Q_{crc}^{x}}$	Q_{ult}^{t}, kN	$\frac{Q_{crc}^{t}}{Q_{ult}^{t}}$
		Tajribaviy Q_{crc}^{t}	Hisobiy Q_{crc}^{x}			
BKPA -3	42	14,5	12,45	1,16	54	0,27
BKPA -4	42	14,9	12,65	1,18	57	0,26



2-rasm. Namuna to‘sinlarida qiya yoriqlarning ochilish grafigi.

Xulosalar:

-bazaltplastik va shishaplastik sterjenlar bilan yakka armaturalangan egiluvchi beton elementlarning yuk ko‘tarish qobilyati xuddi shunday armaturalangan po‘lat armaturali elementlarnikiga juda yaqin bo‘ladi;

-kompozit armaturalar bilan qo‘sh armaturali sxema bo‘yicha armaturalangan elementlarning yuk ko‘tarish qobilyati xuddi shunday sxema bo‘yicha po‘lat armaturalar bilan armaturalangan elemntlarning yuk ko‘tarish qobilyatidan past bo‘lishi takidlangan va bu holat kompozit armaturaning siqilishdagi qarshiligi past bo‘lishi bilan izohlangan;

-bazaltplastik va shishaplastik kompozit armaturali egiluvchi beton elementlarda yoriqlarning ochilish kengligi po‘lat armaturali elementlardagiga qaraganda sezilarli darajada yuqori (katta) bo‘lishi takidlangan, buni kompozit armaturaning kichik elastiklik moduliga (~4 barobar) egaligi bilan tushintirilgan;

-kompozit armaturali egiluvchi beton elementlarda salqiliklar ham po‘lat sterjenlar bilan armaturalangan elementlarnikidan ortiq bo‘lishi, ushbu holat ham bazaltplastik va shishaplastik armaturalarda elastiklik moduli past ekanligi bilan izohlangan; biroq normativ yuklar darajasida kompozit armaturali egiluvchi beton to‘sinlarda ham salqiliklarning miqdori temirbeton konstruksiyalar uchun qo‘yiladigan talablar darajasida ekanligi qayd etildi.

Adabiyotlar

[1]. Abobakirova Z. A., Bobofozilov O. Ispolzovanie shlakovых vyajuщix v konstruktsionnых solestoykix betonax //international conferences on learning and teaching. – 2022. – T. 1. – №. 6..

[2]. Abobakirova Z. A., Bobofozilov O. Remont betonnogo pola–vidы povrejdeniy i merы po ix ustraneniyu //international conferences on learning and teaching. – 2022. – t. 1. – №. 10. – s. 32-38..

[3]. Abobakirova, Z. A. (2021). Regulation Of The Resistance Of Cement Concrete With Polymer Additive And Activated Liquid Medium. The American Journal of Applied sciences, 3(04), 172-177.

[4]. Asrorovna A. Z. Effects Of A Dry Hot Climate And Salt Aggression On The Permeability Of Concrete //The American Journal of Engineering and Technology. – 2021. – T. 3. – №. 06. – S. 6-10.

[5]. Abobakirova Z. A. Regulation Of The Resistance Of Cement Concrete With Polymer Additive And Activated Liquid Medium //The American Journal of Applied sciences. – 2021. – T. 3. – №. 04. – S. 172-177.

[6]. Akhrarovich A. X., Mamajonovich M. Y., Abdugofurovich U. S. Development Of Deformations In The Reinforcement Of Beams With Composite Reinforcement //The American Journal of Applied sciences. – 2021. – T. 3. – №. 5. – S. 196-202.

[7]. Goncharova N. I., Abobakirova Z. A., Kimsanov Z. Technological Features of Magnetic Activation of Cement Paste" Advanced Research in Science //Engineering and Technology. – 2019. – T. 6. – №. 5.

[8]. Kimsanov Z. O., Goncharova N. I., Abobakirova Z. A. Izuchenie texnologicheskix faktorov magnitnoy aktivatsii tsementnogo testa //Molodoy uchenыy. – 2019. – №. 23. – S. 105-106.

[9]. Goncharova N. I., Abobakirova Z. A. RECEPTION MIXED KNITTING WITH MICROADDITIVE AND GELPOLIMER THE ADDITIVE //Scientific-technical journal. – 2021. – T. 4. – №. 2. – S. 87-91

[10]. Goncharova N. I., Abobakirova Z. A., Mukhamedzanov A. R. Capillary permeability of concrete in salt media in dry hot climate //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2020. – T. 2281. – №. 1. – S. 020028.

[11]. Umarov, S. A. (2021). Development of deformations in the reinforcement of beams with composite reinforcement. Asian Journal of Multidimensional Research, 10(9), 511-517.

[12]. Умаров, Ш. А. (2021). Исследование Деформационного Состояния Композиционных Арматурных Балок. TA'LIM VA RIVOJLANISH TAHLILI ONLAYN ILMIY JURNALI, 1(6), 60-64.

[13]. Abdugofurovich, U. S. (2022). Bonding of polymer composite reinforcement with cement concrete. Gospodarka i Innowacje., 24, 457-464.

[14]. Абдуллаев, И. Н., Умирзаков, З. А., & Умаров, Ш. А. (2021). Анализ Тканей В Фильтрах Систем Пылегазоочистки Цементного Производства. Ta'lim va rivojlanish tahlili onlayn ilmiy jurnali, 1(6), 16-22.
[15]. Davlyatov, S. M., & Kimsanov, B. I. U. (2021). Prospects For Application Of Non-Metal Composite Valves As Working Without Stress In Compressed Elements. The American Journal of Interdisciplinary Innovations Research, 3(09), 16-23.
[16]. Умаров, Ш. А., Мирзабабаева, С. М., & Абобакирова, З. А. (2021). Бетон Тўсинларда Шиша Толали Арматураларни Қўллаш Орқали Мустаҳкамлик Ва Бузилиш Ҳолатлари Аниқлаш. Ta'lim va rivojlanish tahlili onlayn ilmiy jurnali, 1(6), 56-59.
[17]. Тошпулатов, С. У., & Умаров, Ш. А. (2021). Инструментально-учебно-динамические характеристики средней школы и конструктивные решения средней школы№ 2 г. Ферганы. ta'lim va Rivojlanish tahlili onlayn ilmiy jurnali, 1(6), 10-15.
[18]. Mamazhonovich, M. Y., Abdugofurovich, U. S., & Mirzaakbarovna, M. S. (2021). The Development of Deformation in Concrete and Reinforcement in Concrete Beams Reinforced with Fiberglass Reinforcement. Middle European Scientific Bulletin, 18, 384-391.
[19]. Набиев, М. Н., Насриддинов, Х. Ш., & Кодиров, Г. М. (2021). Влияние Водорастворимых Солей На Эксплуатационные Свойства Наружные Стен. Ta'lim va rivojlanish tahlili onlayn ilmiy jurnali, 1(6), 44-47.
[20]. Hasanboy o‘g‘li, A. A. (2022). Stress Deformation of Flexible Beams with Composite Reinforcement under Load. American Journal of Social and Humanitarian Research, 3(6), 247-254.

SHAXAR GAZ TARMOQLARINI LOYIHALASH

S.Z. Raxmonkulova, 4-22 guruh talabasi O. Xabibullayev

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
sayramxon.raxmonkulova@fstu.uz
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Mazkur maqolada shahar gaz ta'minoti tarmoqlarini loyihalashning asosiy tamoyillari, gaz iste'molini aniqlash usullari, gaz quvurlarining optimal diametrini tanlash, gidravlik hisoblash hamda tarmoqning ishonchliligi va xavfsizligini ta'minlash masalalari yoritilgan. Shuningdek, gaz tarmoqlarini loyihalashda amaldagi me'yoriy hujjatlar talablari, zamonaviy qurilish materiallari va raqamli loyihalash texnologiyalaridan foydalanishning afzalliklari tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari shahar gaz ta'minoti tizimlarini samarali loyihalash, ekspluatatsion xarajatlarni kamaytirish va iste'molchilarni uzluksiz hamda xavfsiz gaz bilan ta'minlash bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishga xizmat qiladi.*
Kalit so'zlar: *shahar gaz tarmog'i, gaz ta'minoti, gaz quvuri, gidravlik hisoblash, gaz sarfi, bosim yo'qotilishi, loyihalash, xavfsizlik, muhandislik kommunikatsiyalari.*

Аннотация. *В данной статье рассматриваются основные принципы проектирования городских газораспределительных сетей, методы определения потребления газа, выбора оптимального диаметра газопроводов, гидравлические расчеты, а также обеспечение надежности и безопасности сети. Анализируются также требования действующих нормативных документов, преимущества использования современных строительных материалов и цифровых технологий проектирования в проектировании газовых сетей. Результаты исследования послужат основой для разработки практических рекомендаций по эффективному проектированию городских газораспределительных систем, снижению эксплуатационных расходов и обеспечению потребителей бесперебойным и безопасным газоснабжением.*
Ключевые слова: *городская газосеть, газоснабжение, газопровод, гидравлические расчеты, потребление газа, потери давления, проектирование, безопасность, инженерные коммуникации.*

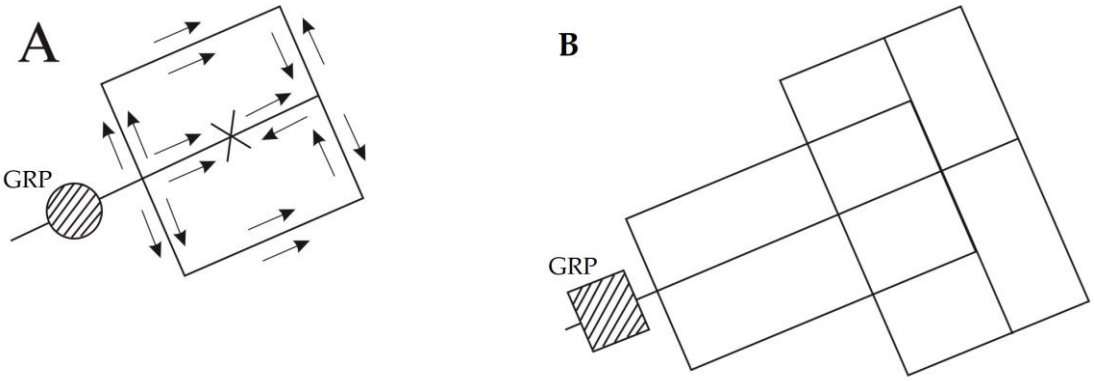
Kirish. Shahar, tuman gaz xo‘jaliklari aholi yoki sanoat, kommunal-maishiy korxonalarga tabiiy gaz yetkazib berish uchun yer osti va yer usti bo‘luvchi yoki ichki gaz quvurlari orqali beriladi. Iste’molchilarni tabiiy gaz bilan ta’minlashda magistral gaz quvurlaridan foydalaniladi.

ADABIYOTLAR TAHLILI.

Tabiiy gaz gaz qudug‘i orqali magistral gaz quvurlariga kompressorlar (bosim kuchaytirgich) orqali 57-75 kgs/sm^2 bosimda yuboriladi. Shahar, tuman, qishloq xonadonlariga tabiiy gaz Gaz taqsimlash shaxobchalari (GRS) orqali magistral gaz quvurlariga gaz taqsimlash

punklariga (GRP)lar orqali beriladi. Gaz magistral gaz quvurlariga yuborishdan oldin har xil mexanik changlardan tozalanib, hidlantirib yuboriladi.

Gaz tarmoqlarining chizmalari



1) Ikki xalqali gazlashtirilgan chizma

2) Ko'p xalqali gazlashtirilgan chizma

Gaz quvurlarining chizmasida ikkita asosiy chizma bo‘lib, ular yopiq, xalqalangan, bo‘luvchi yoki tupik ishlaydigan gaz quvurlari bo‘ladi. Chizmalarda ko‘rsatilagn yopiq yoki xalqalangan gazlashtirish tizimlariga tabiiy gaz har qanday foydalanuvchiga ikki tomondan gaz yetkazib beriladi. Buning afzalliklari gaz yetkazib berishning doimiyligi gaz taqsimotida biron bir joylar o‘chiq taqdirda ham gaz yetkazib berish uzilmaydi. Agar chizmada ko‘rsatilgan “A” nuqtasi gaz tarmog‘idan uzilganda ham gaz bosimi 2 tomonga bo‘linib ketib qolgan tabiiy gazdan foydalanuvchilar gaz bilan ta’minlanadilar. 2 tomonli xalqalanishda gaz quvurlarining ko‘proq sarflanishi hamda iqtisodiyotning ko‘proq sarflanishiga olib keladi.

Tabiiy gazning bosim va bosqichlarga bo‘linishi

Tabiiy gaz bosimlar bo‘yicha quyidagilarga bo‘linadi:

1 – past bosim 0 dan – 500 mm suv ustuni (0,05 kgs/sm^2) gacha

2 – o‘rta bosim 0,05 kgs/sm^2 dan – 3 kgs/sm^2 gacha

3 – yuqori bosim 3 kgs/sm^2 dan – 6 kgs/sm^2 gacha (2-toifa)

6 kgs/sm^2 dan – 12 kgs/sm^2 gacha (1-toifa)

12 kgs/sm^2 dan yuqori bo‘lgan gaz quvurlari bitta gaz taqsimlash stansiyasidan bir va undan ortiq shahar, qishloqlarga gaz yetkazib berishga xizmat qiladi.

Gaz quvurlari va boshqa qurilmalar o‘rtasidagi gorizontal bo‘yicha minimal masofalari (metr xisobida).

Gaz quvurlaridagi gaz bosimlari	Qurulmalar fundamentigacha	Temir yo‘l	Tramvay yo‘l	Kuchlanish kabeli	Vodoprovod	Kanalizatsiya		teploset
		Eng yaqin relsgacha						
0,05 kgs/sm^2	2,0	3,0	2,0	1,0	1,0	1,0		2,0
0,05 kgs/sm^2-3 kgs/sm^2	4,0	4,0	2,0	1,0	1,0	2,0		2,0
3 kgs/sm^2-6 kgs/sm^2	7,0	7,0	3,0	1,5	2,0	2,0		2,0
6 kgs/sm^2-12 kgs/sm^2	10,0	10,0	3,0	2,0	2,0	5,0		4,0

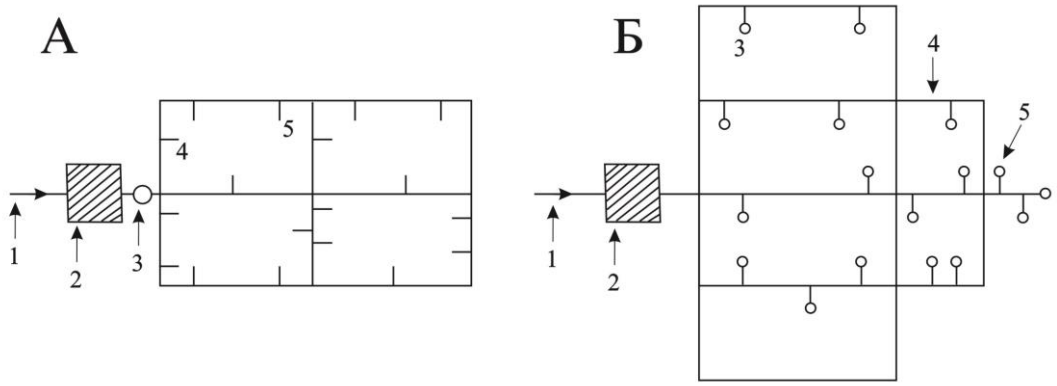
Jadvalda ko‘rsatilgan gaz quvurlardagi bosimlar ob’ektlar orasidagi minimal masofaga to‘g‘ri kelmasa bunday gaz quvurlari ishga qabul qilinmaydi.

Gaz taqsimlash bosimlarining bosqichlarga bo‘linishi

Gaz taqsimlashda uning ahamiyati bosimlar bo‘yicha tarqatilishi, shahar, aholi punktlarga berilganda quyidagi bosimlarga bo‘linadi: past bosim, o‘rta bosim va yuqori bosimlar orqali taqsimlovchi gaz quvurlari orqali yetkazib beriladi. Ular quyidagi bosqichlarga bo‘linadi.

1. Bir bosqichli gaz yetkazib berish. Bunda uzatuvchi, taqsimlovchi gaz quvurlaridan faqat bitta bosim ishtirok etadi (past bosim 0 dan 500 mm suv ustunigacha, 0,05 kgs/sm^2 dan – 3 kgs/sm^2 gacha, yuqori bosim 3kgs/sm^2 dan – 6 kgs/sm^2 gacha).
2. Ikki bosqichli yetkazib berishda gaz bo‘luvchi stansiyalar GRSdan to gaz taqsimlash punktlarigacha shahar, aholi yashovchi punktlarga past bosim orqali tabiiy gaz yetkazib beriladi.
3. Uch bosqichli gaz yetkazib berishda xamma bosimlarni birlashtiruvchi uchta bosim past, o‘rta, yuqori bosimlar ishtirok etib bunda yuqori bosim, o‘rta, past bosimlarni yuqori bosimli Gaz tartiblash punktlar (GRP) orqali katta sanoat korxonalarga gaz yetkazib beradi. Bu ko‘p bosqichli tabiy gaz yetkazib beradi. Bu ko‘p bosqichli tabiiy gaz yetkazib berish tizimiga ham kiradi.

Bir bosqichli gaz ta’minoti chizmasi.



“А”-паст босим чизмаси; “Б”- ўрта, юқори босим чизмаси.
1-магистрал газ қувури, 2-ГРС, 3-ГТП, 4-шаҳар магистрал газ қувурлари,
5-бўлувчи газ қувурлари (кириш, чиқиш).

Bir bosqichli gazlashtirish tizimida past, o‘rta, yuqori bosimlar ishtirok etishi mumkin. Lekin bir bosqichli gazlashtirish tizimida katta diametrli gaz quvurlari qo‘llansa to‘g‘ri keladi. Agar u past bosim bo‘lsa hamda gaz bosimining me’yorida berilishi ta’minlanmaydi.

Yuqoridagi kamchiliklar batamom tugatilishi mumkin, agar bir bosqichli gazlashtirish tizimida o‘rta, yuqori bosim ishtirok etsa. Bunda gaz quvurlarining gaz o‘tkazish qobiliyati yuqori bo‘ladi.

Bizda xozir foydalanilayotgan barcha gaz uskunalari faqat past bosimda ishlashini nazarda tutsak, bu xolda har bir xonadon va gaz iste’molchilarga shaxsiy gaz bosimini tartiblash uskunalari (GR) o‘rnatilishi kerak. Bunday o‘rta, yuqori bosimli gaz quvurlari ikki bosqichli gaz bilan ta’minlashda kamroq quriladi va ketadigan mablag‘ iqtisod qilinadi. Ikki bosqichli gazlashtirish nafaqat past bosim, amalda o‘rta va yuqori bosimlar ham ishtirok etadi. Albatta ular mavjud o‘rnatilgan o‘rta, yuqori, past bosimli gaz tartiblash punktlari orqali o‘tadi.

Gaz quvurlarining joylanishi

Yer osti gaz quvurlari ko‘pchilik xolatda avtomobil yo‘llari taglaridan o‘tkaziladi. Agar ko‘chalar keng bo‘lib, unda gulzorlar mavjud bo‘lsa, yer osti gaz quvurlarni shu gulzorlar tagidan o‘tkazilishi maqsadga muvofiq bo‘ladi. Agar gazlashtirilayotgan mavzelarda yangi qurilish ketayotgan joylarda yer osti gaz quvurlarini kvartallar orasidan o‘tkaziladi. Mavzelarda yer osti gaz quvurlari o‘tkazilayotgan boshqa injenerlik kommunikatsiyalari bilan birgalikda o‘tkazilishi mumkin. Bunda gaz quvurlari kamroq mexanik deformatsiyalarga tushadi, chunki bu texnik zonalarda transport qatnovi umuman bo‘lmaydi.

Yer ostiga qo‘yiladigan gaz quvurlari chuqurligi 0,8 m bo‘lgan transheyalarga yoki xandaqlarga yotqiziladi. Agar gaz quvurlari texnik zona yoki transport qatnovi bo‘lmagan joylarda 0,6 metr chuqurlikka ko‘milishi mumkin. Tajribada xozirda faoliyat ko‘rsatayotgan gaz quduqlarining chuqurligi 1,0; 1,2; 2,0; 2,5; 3,0 metrgacha bo‘ladi. Bu chuqurliklar asosan ko‘chalarni qayta va qayta asfalt yotqizilishdan yuzaga keladi.

Quduqlar asosan issiqqa va namlikka chidamli g‘ishtlar (pishirilgan) yoki temir-beton maslomalardan quriladi va ular albatta chuyan yoki betonli qopqoqlar bilan yopilishi shart.

Qopqoqlarda albatta shamolash darchalari (teshiklar) bo‘lishi kerak. Gaz quduqlarni selikat g‘ishlardan nam tortish oqibatida yemirilib ketadi.

Gaz qudiqlarning ichi doimo quruq, toza va oqlangan bo‘lishi kerak. Ular ichidagi armatura, zulfin (zadvijka), gaz quvurlari, kompensatorlar, gidrozatvorlar va kontrolnыy provodniklar, nazorat hidlash trubkalari moylangan va har xil ifloslardan tozalangan bo‘lishi kerak. Gaz quduqlarining chuqurliklari 1 metrdan oshiq bo‘lsa, ularda albatta metalldan ishlangan narvonlar bo‘lishi kerak. Quduqning qopqoqlarini ochishda faqat uchqun chiqmaydigan uchlari mislangan ilgaklardan foydalanish kerak. Quduqqa tushishdan oldin uning qopqog‘ini ochib, bir necha daqiqa quduq ichidagi havo tarkibida metan gazi SN_4 aniqlash va bu maqsadda gazoanalizatorlar ShI-10, ShI-11 foydalanish kerak. Agar quduq ichidagi havoda metan gazi me’yordan ortiq bo‘lsa, u xolda shamollatish ishlari davom ettiriladi.

OLINGAN NATIJALAR VA MUHOKAMALAR

Gazlarning yonishi. Yonuvchi gazning havodagi kislorod bilan kushilish reaksiyasi – gazlarning yonishidir. Buning kimyoviy formulasi kuyidagicha:

$SN_4 + 2O_2 = SO_2 + 2N_2O$

metan kisl. ugler. dioksi suv bugi

1 m.kub metan (SN_4) tulik yonishi uchun 2 m.kub O_2 kislorod yoki 9,5 m.kub havo kerak buladi.
1 m.kub propan (S_3N_8) tulik yonishi uchun 5 m.kub O_2 kislorod yoki 24 m.kub havo kerak buladi.

Gazlarning issiqlik ajratish xususiyati.

Yonuvchi gazlar tarkibidan kat’iy nazar yonayotgan ma’lum miqdorda issivlik ajratadi. Issivlik ajratish xususiyati – kaloriya bilan o‘lchanadi.

1 m^3 gaz yonganda qancha issiqlikning ajralishi gazning kalloriyasini belgilaydi. Tabiiy gazning issiqlik ajralishini eng past darajasi 8500 kkal/ m^3 bo‘lsa, yuqori darajasi – 9500 kkal/ m^3 ga teng.

Suyultirilgan gazniki esa, eng past darajasi – 22000 kkal/m^3, yuqorisi – 29000 kkal/ m^3.

Gazlarni alangalanish darajasi. Gazlar ma’lum haroratgacha qizdirilganda yoki shu haroratda issiqlik berilganda gazlar alangalanib yonadi. Tabiiy gaz – metanning alangalanish darajasi – 645 ^{O}S ga, suyultirilgan gaz – 490-540 ^{O}S ga teng.

Fuqarolar yashashi uchun ajratilgan xonadonlarida is gazi miqdori 0,002 mg/l, ishlab chiqarish korxonalarida 0,02 mg/l dan oshmasligi kerak.

Is gazi (SO) zaharli gaz xisoblanib, agar yopiq muhitda odam bu gaz miqdori quyidagicha bo‘lganda:

a) 0,01 – 0,05% (yopiq muhitda) 2 soatda zaharlanadi.

b) 0,2 – 0,3% 30 minut ichida o‘rtacha zaharlanadi.

v) 0,5 – 0,8% (yopiq muhitda) qisqa vaqt ichida xayot uchun xavfli darajada zaharlanadi.

Is gazi.

Is gazi odam organizmiga burun bo‘shlig‘i orqali o‘pkaga keladi. O‘pkadan qonga qo‘shilib, qonga gemoglabin bilan qo‘shiladi. Natijada kislorod yetarli darajada inson organizmiga yetib kelmaydi. Kislorod kam kelishi natijasida organizmda «kislorod ochligi» yuzaga keladi.

Is gazidan yengil va o‘rta zaharlanganda quyidagi simptom-asoratlar seziladi: bosh og‘riydi, bosh aylanadi, ko‘ngil ayniydi, qayt qiladi, quvvatsizlik – qo‘l va oyoqlar bo‘shashib qoladi.

Og‘ir zaharlanganda esa – quloq bitib qolganday bo‘ladi, fikrlash qiyinlashadi, es-xush yo‘qolishi, ba’zi vaqtda kuchli xayajonlanganda esa turli tartibsiz harakatlar qilinishi mumkin va nihoyat xushidan ketish xususiyatlari kuzatiladi.

Metan (SN_4) – inert gaz, lekin ko‘p miqdorda bo‘lganda odam organizmiga salbiy ta’sir etadi. Metan gazi odamni bo‘g‘adi. Metan gazi ko‘p miqdorda bo‘lgan muhitda nafas olgan odam organizmida ham kislorod yetishmay qoladi. Kislorodni kamayishi esa, organizmda buzilishga olib keladi. Atmosferada kislorodni foiz xisobida olganda 21% ni tashkil etadi. Agar kislorod 17% ga tushib qolsa, u xolda organizmga kislorod yetishmay uning buzilishga olib keladi. 14-15% ni tashkil etganda esa kislorod ochligi yuzaga keladi. Bunda: odam tez-tez nafas olib xansiraydi, yurak tez

uradi. 10-12% kislorod bo‘lganida odam xushidan ketishiga olib keladi. Agarda kislorod 8% ni tashkil etsa, bu xolda odam qaltiraydi va ozgina vaqt ichida halok bo‘lishiga olib keladi.

Agar uchqun chiqsa yoki alanga, elektr asboblar yoqilsa yoki o‘chirilsa albatta portlash ro‘y beradi. Portlash natijasida kuchli bosim 1 sm^2 yuzaga 8-9 kgs/sm^2 kuch ta’sir qilib, u har qanday to‘siq, devor, pol, pataloklar, eshik romlarni otilib ketishi va buzilishiga olib keladi. Portlash natijasida 2100 ^{0}S issiqlik chiqib, odamlarning kuyishi va yong‘inga olib keladi. Portlashga olib keladigan omillar quyidagi shakllarda ifodalanadi:

1-shaklda havo va tabiiy gaz va suyultirilgan gaz molekulalari bir-biridan uzoq joylashgan bo‘lib, portlash sodir bo‘lmaydi, yong‘in bo‘lishi mumkin.

2-shaklda gaz va havo malekulalari bir-biriga juda yaqin joylashgan bo‘lib, agar alanga, uchqun bo‘lsa zanjirli (sepnaya) reaksiya bo‘lib, portlash ro‘y beradi.

3-shaklda gaz va havo molekulalari bir-biriga jipslashib ketgan bo‘lib, portlash va yong‘in sodir bo‘lmaydi.

XULOSA.

Gazlarning bir qancha xavfli xususiyatlari mavjud.

1. Gazsimon yoqilg‘ilarning barcha turlari yong‘indan xavfli hisoblanadi. Gazlarning havo bilan ma’lum miqdordagi aralashmasi portlaydi. Tabiiy gazning normal xolatda portlash chegarasi yopiq muhitda: past – 5%, yuqori – 15% ga teng. Suyultirilgan gaz portlash chegaralari yopiq muhitda: past – 1,6%, yuqori – 9,8% ga teng.

Tabiiy gaz yonayotganda kamida 1950 ^{O}S issiqlik beradi. Suyultirilgan gaz yonayotganda kamida 2150 ^{O}S issiqlik ajratadi.

2. Gazsimon yoqilg‘ilarning barcha turlari yong‘indan xavfli hisoblanadi. Gazlarning havo bilan aralashmasi esa portlaydi. Tabiiy gazning portlash chegaralari yopiq muhitda: past – 5%, yuqori 15 % ga teng. Suyultirilgan gaz portlash chegaralari yopiq muhitda: past – 1,6%, yuqori 9,8 % ga teng.

Gazlar chala yonishi natijasida **SO – is gazi** ajralib chiqadi, bu esa **inson hayotiga xavfli** ta’sir etadi.

Tabiiy gazning afzalliklari va kamchiliklari

Tabiiy gaz 5 ta afzalikka egadir:

1. Uzatishga quvurlar orqali qulay;
2. Yonganda toza yonib, kul qolmaydi;
3. Gaz asboblarini avtomatlashtirish mumkin;
4. Issiqlik quvvati yuqori (8500-9500 kkal);
5. Boshqa yoqilg‘iga nisbatan arzon.

Kamchiliklari:

1. Yong‘inga xavfli;
2. Portlash darajasi juda past (5% - 15%gacha);
3. Toza gaz bo‘g‘uvchi ta’sir qiladi.

Adabiyotlar

[1]. Professor Tarik Al-Sxemerre Engineering Termodinamiks Professor of Renavable energy texnology Startfordxire University UK. Emal ttal – sheminerji statikak.uk. 150 pp

[2]. Султанова Ю.Ш. “Системы газоснабжения” учебное пособие. ТАСИ Ташкент 2021.

[3]. Султанова Ю.Ш. “Системы газоснабжения” учебник. ТАСИ Ташкент 2022.

[4]. ShNQ 2.04.08.13. “Gaz ta’minoti” O’zbekiston Respublikasi Davlat Arxitektura va Qurilish Qo’mitasi. Toshkent 2013 y.

[5]. Rashidov Yu.K. “Gaz ta’minoti”, o’quv qo’llanma. Toshkent TAQI 2000 y.79 b.

[6]. Rashidov Yu.K. “Issiqlik, gaz ta’minoti va ventilyatsiya”, Oliy o‘quv yurtlari uchun darslik. – Toshkent, Cho‘lpon, 2009. – 143 b.

[7]. Rashidov Yu.K. “Gaz ta’minoti tizimlari”, kasb-hunar kollejlar uchun darslik. – “Yangi nashr”, 2010. – 90 b.

[8]. Asadullayev A.X. “Gaz ta’minoti”, I va II qism Toshkent 1994 yil.

[9]. Aymatov R., Boboyev S., Alibekov J. “Gaz ta’minoti”, O’quv qo’llanma. Toshkent 2003 yil, 170 bet.

[10]. Яковлев Е.И. “Газовые сети и газохранилища” – М.Недра 1991г.

[11]. Бородавкин П.П., Березин В.Л. Сооружение магистральных трубопроводов – М.Недра 1987 г.

[12]. Алиев Р.А., Березинга И.В., Телегин Л.Г. и др. “Сооружение и ремонт газонефтепроводов газохранилищ и нефтебаз” – М.Недра 1988 г.
[13]. Д.Ю.Суслов. “Определение максимальных часовых расходов газа”, Методические указания – Белгород, 2015
[14]. Rashidov Yu.K. “Gaz ta’minoti tizimlari”, darslik. – Toshkent, 2010.
[15]. Rashidov Yu.K. “Gazdan foydalanish”, O‘quv qo‘llanma. – Toshkent, 2003.

UDK: 528.94:631.459:004.9

MASOFADAN ZONDLASH MA’LUMOTLARI ASOSIDA EROZIYAGA UCHRAGAN YERLARNI MONITORING QILISH METODIKASI

Sh.Sh. Yakubov, M.R. Abdujabborova

Farg‘ona davlat texnika universiteti
**Mas’ul muallif, e-mail: muxlisaabdujabborova304@gmail.com*
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada eroziyaga uchragan yerlarni monitoring qilishda GIS texnologiyalari va masofadan zondlash ma’lumotlaridan foydalanishning ilmiy-amaliy asoslari yoritilgan. Tadqiqotda Landsat va Sentinel-2 sun’iy yo‘ldosh tasvirlari, UAV ma’lumotlari, geodezik va dala kuzatuvlari, raqamli relyef modeli, tuproq hamda yer qoplami haqidagi ma’lumotlarni yagona geoaxborot muhitida integratsiyalashning metodik bosqichlari bayon qilindi. Eroziya jarayonlarini baholashda qiyalik, relyef, yog‘in miqdori, tuproq xususiyatlari, o‘simlik qoplami va yer foydalanish intensivligi asosiy omillar sifatida ko‘rib chiqildi. NDVI, SAVI, NDWI kabi indekslar hamda RUSLE modeli omillari yordamida eroziya xavfi zonalari ajratildi va monitoringning texnologik ketma-ketligi ishlab chiqildi. Natijalar GIS va masofadan zondlash ma’lumotlarini birgalikda qo‘llash eroziyaga uchragan hududlarni tezkor aniqlash, fazoviy tahlil qilish, tematik xaritalar yaratish hamda qaror qabul qilishni ilmiy asoslashda samarali ekanini ko‘rsatadi.*

Kalit so‘zlar: *eroziya, GIS, masofadan zondlash, monitoring, Landsat, Sentinel-2, UAV, NDVI, SAVI, NDWI, RUSLE, raqamli relyef modeli, tematik xarita.*

Kirish

Yer eroziyasi qishloq xo‘jaligi va tabiatdan foydalanish tizimidagi eng dolzarb ekologik va iqtisodiy muammolardan biri hisoblanadi. Eroziya natijasida unumdor tuproq qatlami yuvilib ketadi, yerning meliorativ holati yomonlashadi, suv rejimi buziladi va qishloq xo‘jaligi hosildorligi pasayadi. Ayniqsa, tog‘ oldi va qiya relyefli hududlarda yog‘in, yuzaki oqim, noto‘g‘ri agrotexnika, o‘simlik qoplamining siyraklashuvi hamda yer resurslaridan noo‘rin foydalanish eroziya jarayonlarini tezlashtiradi.

Zamonaviy geoaxborot tizimlari va masofadan zondlash texnologiyalari eroziya jarayonlarini kuzatish va baholash uchun keng imkoniyat yaratadi. Sun’iy yo‘ldosh tasvirlari va UAV ma’lumotlari hududning vaqt bo‘yicha o‘zgarishini, geodezik hamda dala kuzatuvlari esa yer yuzasining real holatini aks ettiradi. Ushbu ma’lumotlarni GIS muhitida birlashtirish eroziya xavfi zonalarini ajratish, dinamikani kuzatish va hududlar kesimida boshqaruv choralarini ishlab chiqish imkonini beradi.

Mazkur maqolaning maqsadi GIS texnologiyalari va masofadan zondlash ma’lumotlari asosida eroziyaga uchragan yerlarni monitoring qilishning metodik asoslarini yoritish, ma’lumotlarni integratsiyalash va tahlil qilish bosqichlarini tavsiflash hamda monitoring natijalarini boshqaruv qarorlariga bog‘lashdan iborat.

Material va metodlar

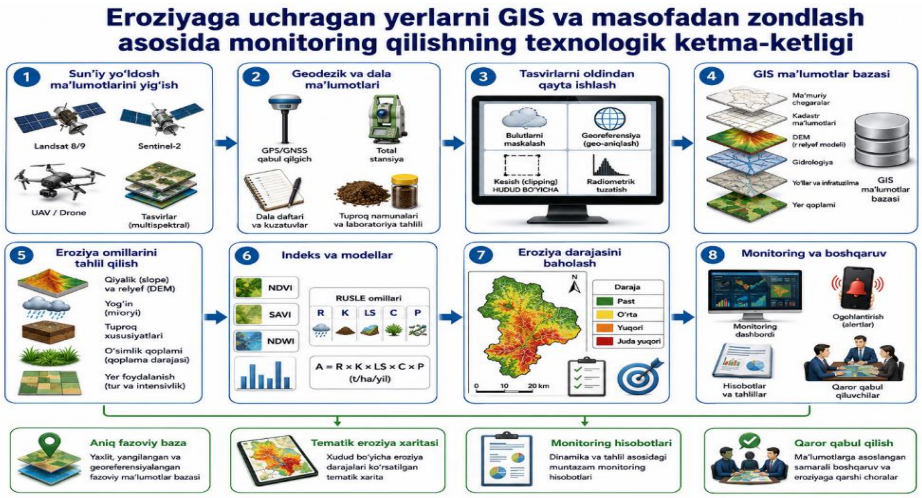
Tadqiqotda ko‘p manbali ma’lumotlardan foydalanildi: Landsat 8/9 va Sentinel-2 tasvirlari, UAV orqali olingan ortofoto hamda multispektral tasvirlar, GNSS va dala kuzatuvlari, topografik hamda kadastr ma’lumotlari, tuproq tahlillari, yog‘in ko‘rsatkichlari va raqamli relyef modeli. Ushbu ma’lumotlar georeferensiyalangan holda yagona GIS ma’lumotlar bazasiga kiritildi va fazoviy tahlil uchun tayyorlandi.

Masofadan zondlash tasvirlari bilan ishlashda bulutlarni maskalash, georeferensiya, kesish (clipping), radiometrik tuzatish kabi oldindan qayta ishlash amallari bajarildi. Eroziya omillarini baholashda qiyalik va relyef (DEM), yog‘in, tuproq xususiyatlari, o‘simlik qoplami va yer foydalanish qatlamlari tahlil qilindi. O‘simlik holatini ifodalash uchun NDVI va SAVI, namlik sharoitlarini aniqlash uchun NDWI indekslari hisoblandi.

Eroziya xavfini baholashning analitik asosi sifatida RUSLE modeli omillaridan foydalanildi. Mazkur model quyidagi tenglama bilan ifodalanadi: $A = R \times K \times LS \times C \times P$, bu yerda A – o‘rtacha yillik tuproq yo‘qotilishi, R – yog‘in erozivligi omili, K – tuproq erodibilligi omili, LS – qiyalik uzunligi va tikligi omili, C – o‘simlik qoplami omili, P – muhofaza amaliyotlari omili. Model natijalari GIS muhitida integratsiyalashgan holda klassifikatsiya qilinib, eroziya darajasi xaritalari tuzildi.

1-jadval. Eroziyaga uchragan yerlarni monitoring qilishda foydalaniladigan asosiy ma’lumotlar

Ma’lumot turi	Mazmuni	Amaliy vazifasi
Masofadan zondlash ma’lumotlari	Landsat, Sentinel-2, UAV, ortofoto, multispektral tasvirlar	Hududning vaqt bo‘yicha holatini baholash va tezkor kuzatish
Geodezik va dala ma’lumotlari	GNSS nuqtalari, topografik s’yomka, dala kuzatuvlari, tuproq namunasi	Fazoviy aniqlikni ta’minlash va validatsiya
Raqamli relyef modeli	DEM, qiyalik, ekspozitsiya va balandlik qatlamlari	Eroziya jarayonlariga ta’sir etuvchi morfometrik omillarni aniqlash
Tematik qatlamlar	Kadastr, gidrologiya, yer qoplami, yer foydalanish	Eroziya xavfi zonalarini fazoviy jihatdan tahlil qilish
Meteorologik ma’lumotlar	Yog‘in, iqlim va namlik ko‘rsatkichlari	RUSLE modelining erozivlik omilini baholash



1-rasmda Eroziyaga uchragan yerlarni GIS va masofadan zondlash asosida monitoring qilishning texnologik ketma-ketligi.

Natijalar va ularning tahlili

1-rasmda eroziyaga uchragan yerlarni GIS va masofadan zondlash asosida monitoring qilishning texnologik ketma-ketligi keltirilgan. Ushbu jarayon sun’iy yo‘ldosh va dala ma’lumotlarini yig‘ishdan boshlanib, oldindan qayta ishlash, GIS ma’lumotlar bazasini shakllantirish, eroziya omillarini tahlil qilish, indeks va modellarni hisoblash, eroziya darajasini baholash hamda monitoring va boshqaruvgacha bo‘lgan izchil bosqichlarni o‘z ichiga oladi. Bunday tizimli yondashuv monitoring natijalarining ishonchliligini oshiradi.

2-rasmda monitoringning integratsion geoaxborot modeli tasvirlangan bo‘lib, unda masofadan zondlash bloki, geodezik va dala kuzatuvlari bloki hamda GIS va modellashtirish bloki yagona

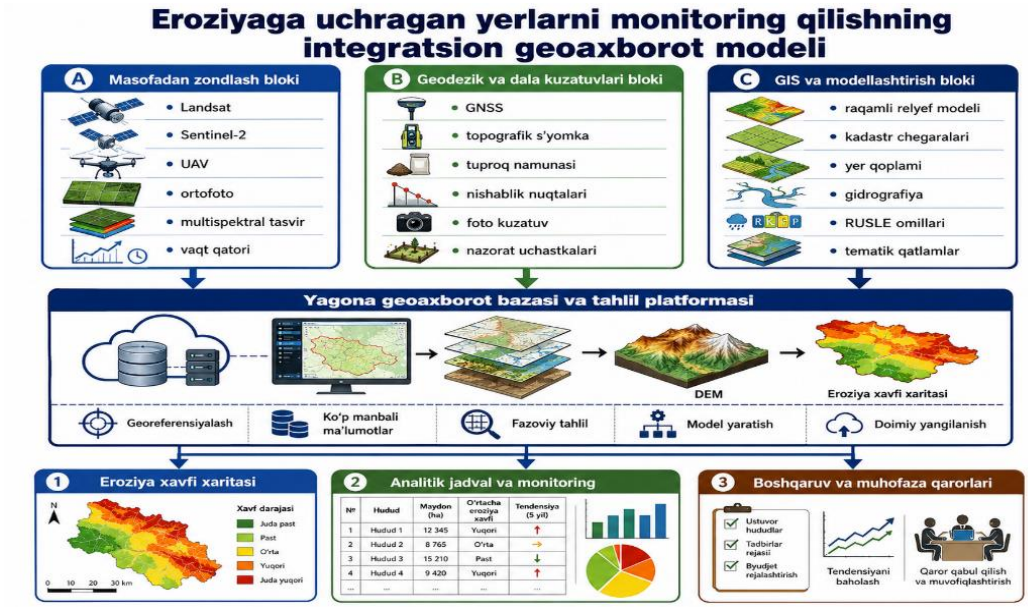
tahlil platformasiga birlashtirilgan. Mazkur model georeferensiyalash, ko‘p manbali ma’lumotlarni integratsiyalash, DEM va boshqa tematik qatlamlar asosida fazoviy tahlil qilish, eroziya xavfi xaritasi va monitoring hisobotlarini shakllantirish imkonini beradi.

Eroziya xavfi xaritalari bo‘yicha hududlar odatda juda past, past, o‘rta, yuqori va juda yuqori sinflarga ajratiladi. Bunda qiyalik kattalashgan, o‘simlik qoplami siyraklashgan, yog‘in intensivligi yuqori va muhofaza choralarisiz qoldirilgan yerlar yuqori xavfli sinflarga kiradi. Aksincha, vegetatsiya qoplami yaxshi saqlangan, tekisroq va agrotexnik jihatdan to‘g‘ri boshqarilayotgan yerlar past xavf zonalari sifatida baholanadi.

3-rasmda raqamli monitoring va boshqarish sikli ko‘rsatilgan. U ma’lumot yig‘ish, GIS tahlil, eroziya zonalarini ajratish, validatsiya, optimal muhofaza choralarini tanlash hamda loyiha va monitoring bosqichlaridan iborat. Ushbu sikl muntazam qayta monitoringni, monitoring hisobotlari tayyorlashni hamda resurslarni samarali boshqarishni ta’minlaydi.

2-jadval. Eroziya monitoringida qo‘llaniladigan asosiy omillar va ko‘rsatkichlar

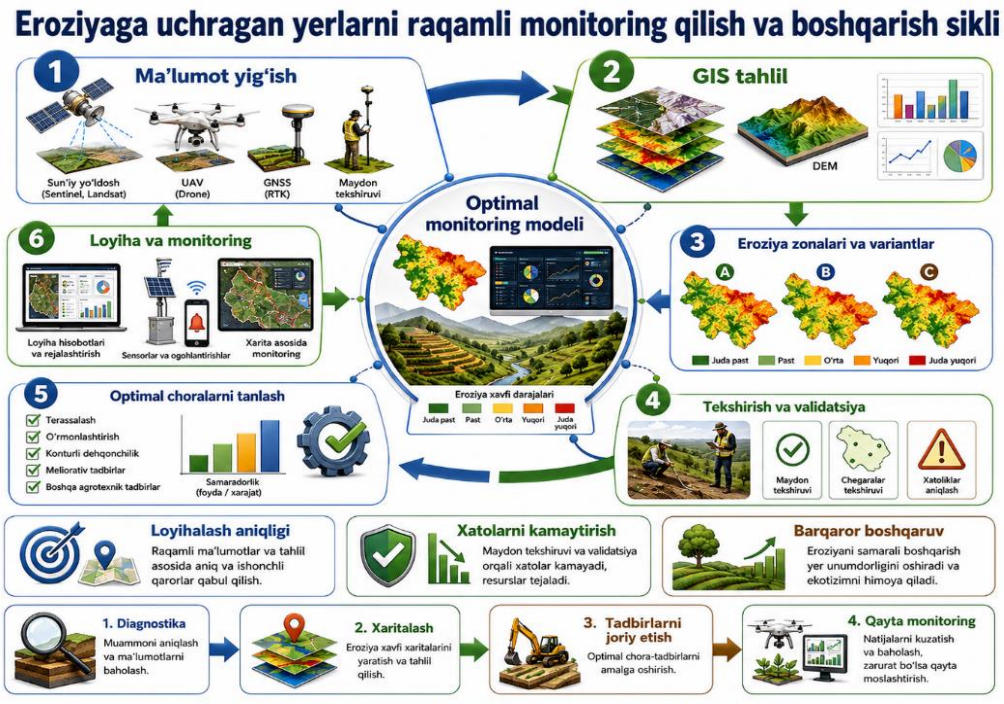
Omil	Baholash ko‘rsatkichi	Ma’lumot manbai	Tahlildagi o‘rni
Relyef va qiyalik	Slope, ekspozitsiya, balandlik	DEM va topografik ma’lumotlar	Yuzaki oqim tezligi va eroziya intensivligini baholaydi
Yog‘in	Yillik va mavsumiy yog‘in miqdori	Meteorologik stansiyalar, interpolatsiya	RUSLE modelidagi R omilini ifodalaydi
Tuproq	Mexanik tarkib, strukturasi, gumus	Tuproq tahlillari va kartalari	Erodibillik darajasini, K omilini belgilaydi
O‘simlik qoplami	NDVI, SAVI, qoplama zichligi	Sun’iy yo‘ldosh tasvirlari	Yer yuzasining himoyalanish darajasini ko‘rsatadi
Yer foydalanish	Ekstensiv/intensiv foydalanish, ekin turi	Kadastr va GIS qatlamlari	Muammoli uchastkalarni ajratadi
Muhofaza choralari	Konturli dehqonchilik, terassalash, o‘rmonlashtirish	Dala kuzatuvlari va boshqaruv ma’lumotlari	P omilini va boshqaruv samarasini tavsiflaydi



2-rasm. Eroziyaga uchragan yerlarni monitoring qilishning geoaxborot modili.

3-jadval. Eroziya xavfi darajalarini talqin qilish va monitoring natijalari

Xavf darajasi	Tavsifi	Tipik hudud xususiyati	Tavsiya etiladigan choralar
Juda past	Eroziya deyarli kuzatilmaydi	Tekis yoki vegetatsiya bilan yaxshi qoplangan yerlar	Mavjud boshqaruv tizimini saqlash va muntazam nazorat
Past	Kuchsiz eroziya xavfi	Nisbatan barqaror agro-landshaftlar	Agrotexnik choralarning davom ettirilishi
O‘rta	Ayrim uchastkalarda eroziya belgisi mavjud	Qiya maydonlar va qisman siyraklashgan qoplama	Konturli dehqonchilik va namni saqlash tadbirlari
Yuqori	Faol eroziya jarayoni kuzatiladi	Qiya, yuvilish belgilariga ega uchastkalar	Terassalash, meliorativ chora-tadbirlar va o‘rmonlashtirish
Juda yuqori	Kuchli eroziya va unumdor qatlamning sezilarli yo‘qotilishi	Tik qiyaliklar, yalang‘och yoki degradatsiyalashgan yerlar	Shoshilinch muhofaza, rekultivatsiya va foydalanish rejimini o‘zgartirish



3-rasm. Eroziyaga uchragan yerlarni raqamli monitoring qilish va boshqarish sikli

Xulosalar

1. GIS texnologiyalari va masofadan zondlash ma’lumotlari eroziyaga uchragan yerlarni monitoring qilishda tezkor, aniq va ko‘p omilli baholash imkonini beradi.
2. Sun’iy yo‘ldosh tasvirlari, UAV, geodezik va dala ma’lumotlarini yagona geoaxborot muhitida integratsiyalash eroziya xavfini fazoviy jihatdan aniqroq aniqlashga xizmat qiladi.
3. NDVI, SAVI, NDWI indekslari hamda RUSLE modeli omillarini birgalikda qo‘llash eroziya xavfi darajalarini ilmiy asosda klassifikatsiya qilish va tematik xaritalar yaratish imkonini beradi.
4. Monitoringning integratsion modeli va raqamli boshqaruv sikli muhofaza choralarini tanlash, resurslarni ustuvor hududlarga yo‘naltirish va qayta monitoringni yo‘lga qo‘yishda amaliy ahamiyatga ega.
5. Taklif etilgan yondashuv eroziyaga qarshi kurashish, yer unumdorligini saqlash va hududiy ekologik barqarorlikni ta’minlash bo‘yicha boshqaruv qarorlarini qabul qilishda samarali vosita bo‘lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar

[1] Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K., Yoder D.C. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). – Washington, D.C.: USDA, 1997.
[2] Wischmeier W.H., Smith D.D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. – USDA Agricultural Handbook, 1978.
[3] Lillesand T., Kiefer R.W., Chipman J. Remote Sensing and Image Interpretation. – Wiley, 2015.
[4] Jensen J.R. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. – Pearson, 2007.
[5] Burrough P.A., McDonnell R.A., Lloyd C.D. Principles of Geographical Information Systems. – Oxford University Press, 2015.
[6] Tucker C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation // Remote Sensing of Environment. – 1979. – Vol. 8. – P. 127–150.
[7] Gao B.C. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // Remote Sensing of Environment. – 1996. – Vol. 58. – P. 257–266.
[8] Ghilani C.D. Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics. – Pearson, 2018.
[9] O‘zbekiston Respublikasida yer monitoringi va eroziyaga qarshi tadbirlarga oid me’yoriy-uslubiy hujjatlar. – Toshkent, 2023.
[10] GIS va masofadan zondlash texnologiyalarini qo‘llash bo‘yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar. – Toshkent, 2024.

GAT VA ZAMONAVIY GEODEZIK ASBOBLAR YORDAMIDA EKOLOGIK-MELIORATIV MA’LUMOTLAR BAZASINI YARATISH

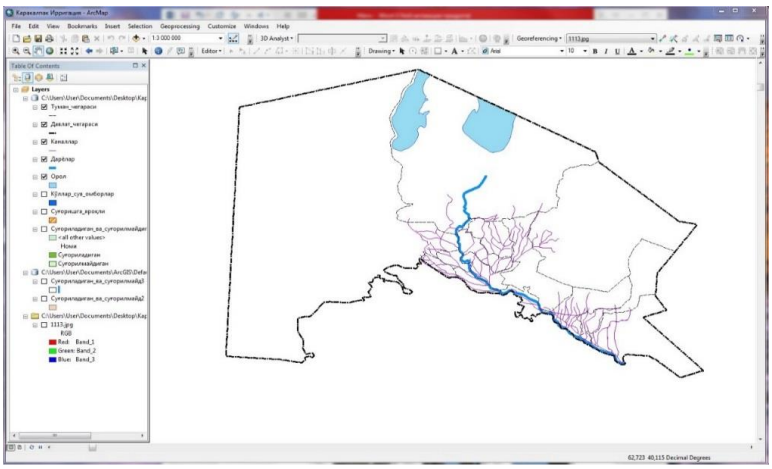
D.B. Eshnazarov[1]*, A.Y. Rasulov [2]*

[1] *“O'zdaverloyiha” davlat ilmiy-loyihalash institute Farvilyerloyiha bo‘linmasi*
[2] *Farg‘ona davlat texnika universiteti*
**Mas’ul muallif, e-mail: rasulovasrorjon1@gmail.com*
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Barcha (GAT)larda ma’lumotlarni yig‘ish, qayta ishlash, xotirada saqlash, yangilash, taxlil qilish va ma’lumotlarni kompyuterda yoki yetarli darajada tasvir xususiyatini qayta ishlay oladigan maxsus dasturda texnik vositalar orqali ushbu jarayonlarni bajarish usullari e’tiborga olingan (GAT) - turli usullar bilan to‘plangan tabiiy tarmoqlar haqidagi keng mazmunli ma’lumotlar bazasiga tayangan mukammal rivojlangan tizim hisoblanishi haqida so‘z boradi.*
Kalit so‘zlar: *ArcGIS, ArcMap, Arc Globe, aerokosmik, ArcCatalog, Arc Scene va boshqalar.*

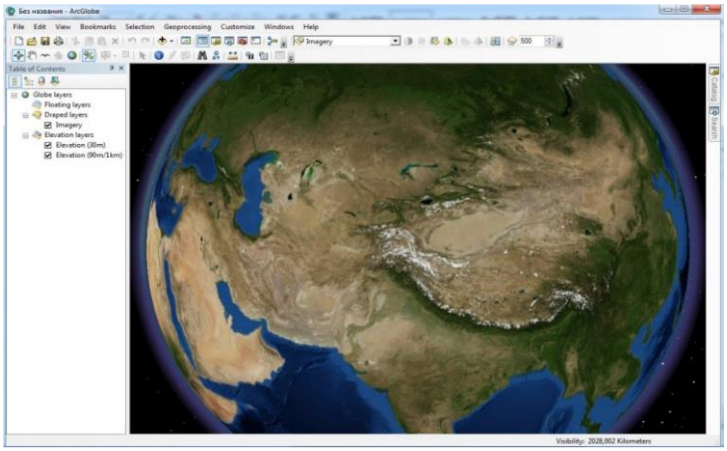
Kirish. ArcGIS for Desktop (keyinchalik ArcGIS) to‘rtta ilovaga ega bo‘lib, undan kartalashtirish va vizualizasiya yoki 3-o‘lchamli kartalarni yaratish hamda ma’lumotlar bazasini yaratish uchun foydalanish mumkin bo‘ladi:

1. ArcMap – kartaga olish, tahrir qilish, ma’lumotlarning tahlil qilish va ularni boshqarish uchun ArcGIS geografik axborot tizimining asosiy ilovasi hisoblanadi. U ikki o‘lchamli ob’yektlar bilan ishlash uchun foydalaniladi.



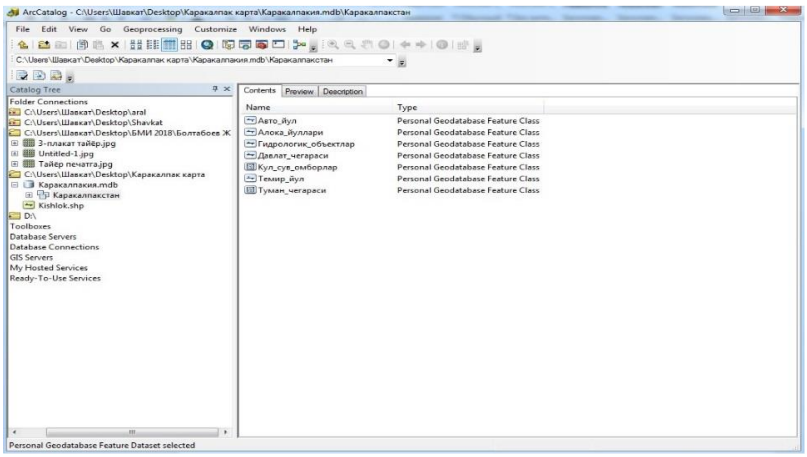
1-rasm - Arc Map ilovasining asosiy oynasi.

2. Arc Globe – aerokosmik yoki masofadan zondlash ma’lumotlari ko‘rinishida sug‘oriladigan yerlar va meliorativ tarmoqlar ma’lumotlarning vizualizasiyasi uchun ilova bo‘ladi va shuning uchun globus ko‘rinishida qo‘llaniladi. Global dastur juda katta ma’lumotlar to‘plamlari bilan ishlashga mo‘ljallangan bo‘lib, ular turli darajadagi tafsilotlar bilan aks ettirishi kerak bo‘ladi. ArcGlobe esa ArcGIS 3D Analys modulining qo‘shimcha opsional qismi hisoblanadi (2.2-rasm).



2-rasm - ArcGlobe ilovasining asosiy oynasi.

3. ArcCatalog – ushbu ilova ma’lumotlar bazasini shakllantirish ularni boshqa ilovalardan qayta ishlash uchun tayyorlash vazifasini bajaradi. Ma’lumotlar bazasini grafik, jadval va boshqa turdagi Masalan: ma’lumotlarni chiziqli, maydonli, nuqtali va matnli ko‘rinishini yaratish imkoniyati mavjud (2.3-rasm).



3-rasm - ArcCatalog ilovasining asosiy oynasi.

4. Arc Scene – uch o‘lchamli ssen (sahna) va hududlarning uch o‘lchamli vizualizasiya qilish uchun dastur hosoblanadi. Bunda ilovaning uch o‘lchamli ko‘rinishi yaratiladi, hamda siz u orqali turli navigasiyalarni bajarishingiz mumkin bo‘ladi. Shuningdek ArcScene, ArcGIS 3D Analyst modulining qo‘shimcha qismi hosoblanadi.

Geografik axborot tizimlarining yana bir dasturlaridan biri bu – QGIS dasturi hisoblanadi. Bugungi kunda QGIS dasturi funksional va qulay tahrirlash va yuqori dizaynda kartalarni yaratish imkonini bermoqda.

Shuningdek, har qanday murakkab kartalarni QGIS dasturi yordamida yaratish mumkin.

Integrasiyalashgan GAT ma’lumotlar bazasi plan va kartalarni yaratish, grafikli materiallarni bir-biri bilan mos keltirish, tahlil kilish va boshqa birqancha maqsadlarda foydalanish imkonyatini yaratadi. Bunday dasturlarga ArcGIS va QGIS misol bo‘la oladi.

Tadqiqot natijalari asosida yuqoridagi dasturlar asosida Farg‘ona viloyati ning ekologik-meliorativ ma’lumotlar bazasi yaratildi.

Ma’lumot bazalarini shakllantirish jarayoni bir necha bosqichlardan iborat:

1. Ob’yektlarning koordinatalarini bildiradigan fazoviy ma’lumotlarni kiritish.

2. Ob’yektlarni xususiyatlarini bildiradigan sonli va sifatli ko‘rsatkichlarni, ya’ni atribut ma’lumotlarni kiritish.

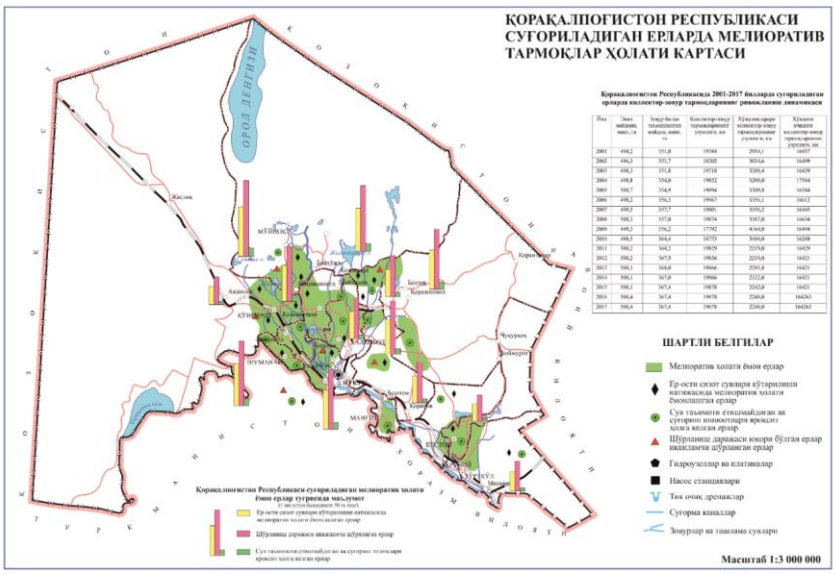
3. Ushbu ikki xil ma’lumotlarni (fazoviy va atributlar) orasidagi munosabatlarni aniklashga to‘g‘ri keladi.

Ob’yektlarni koordinatalarini bildiradigan ma’lumotlarni raqamli tarzga aylantirib kompyuter xotirasiga kiritiladi. Kiritishdan so‘ng ma’lumotlarni kayta ishlashga to‘g‘ri keladi. Tekis yuzada maydonli ob’yektlarni yagona klass qilib ustma-ust tushirib bo‘lmaydi [89;72-73-b].

Ma’lumotlarni topologik strukturasi qabul qilingach u ko‘p geografik axborot tizimlarida keng tarqalgan. Odat bo‘lib qolgan geografiya axborot tizimi “ark”ni asosiy o‘lchovi deb hisoblaydi, bu faylga bog‘liq holda chap va o‘ng tomondagi poligonlar, to‘g‘ri va teskari arklarni ketma ket turishi, va arkning bosh va ohirgi nuqtalari to‘g‘risidagi axborotni saqlaydi. Demak, har bir chiziq faqat bir marta saqlanadi, uning boshida va ohirida turgan nuqtalar esa ikki marta, chunki ular ikki chiziqqa taalukli va shu yo‘l bilan saqlangan ma’lumotlarni tekshirish imkoni bor

Ma’lumotlar bazasi Farg‘ona viloyati ning 14 ta tumani sug‘oriladigan yerlari va meliorativ tarmoqlari bo‘yicha hosil qilingan, unda mavjud sug‘oriladigan yerlar, meliorativ xolati yomonlashgan yerlar bo‘yicha jadvalli va planli hamda kartografik ma’lumotlar o‘rin olgan. So‘ngra dasturda geokodlash (georeferensing) ishlari xo‘jaliklar kesmida to‘plangan karta va planlar ma’lumotlari orqali amalga oshirildi. Bu bog‘langan ob’ktlarda vektorizasiya ishlari bajarildi (sug‘orish tizimlari - kanal, ariq; kollektor, ochiq va yopiq drenaj tizimlari aloxida-aloxida mavzuli qatlamlarga ajratildi).

Yuqoridagi ma’lumotlar bazasi asosida Farg‘ona viloyatini sug‘oriladigan yerlarining va meliorativ tarmoqlarining ekologik – meliorativ xolati kartasi yaratildi.



4-rasm. Sug‘oriladigan yerlar meliorativ kartasi.

Ma’lumotlar turli formatlarda saqlanadi va ularni o‘qish hamda bitta formatdan boshqa formatga ko‘chirish geografik axborot tizimining vazifasidir. Formatlar standartli, tez tez ishlatiladigan va geografik axborot tizimlarni yaratuvchi tashqilotlarda qabul qilingan turlarga ajratiladi. Vektorli formatlarga misollar: HPGI, PostScript, AutoCAD DXF va boshqalar [92;66-67-b].

Ma’lumotlar vektorli formati.

Geografik axborot tizimlarida ikki xil kordinatalar tizimidan foydalaniladi. Bulardan biri Yer yuzasidagi koordinatalar tizimi, ikkinchisi esa ekranda yoki boshqa periferiyaga chiqarish uchun hisoblangan varaqning koordinatalari. Bulardan bittasi HPGL (Hewlett Packard Graphics Language) varaqni izohlaydigan til bo‘lib, printer va plotter uchun mo‘ljallangan [23;52-54-b].

Bundan tashqari chizish uchun muhim bo‘lgan axborotlarni ham saqlaydi, masalan chiziq va harflarning rangini, katta kichikligini, tuzilishini va boshqalar. Geografik axborot tizimlari bu formatdagi fayllarni yaxshi tushunib, ularni to‘liq idora qilish imkoniyatiga ega.

Yuqorida eslatib o‘tganimizdek DLG va TIGER formatlarda ko‘p ma’lumot yaratilgani uchun ular ko‘pgina mamlakatlarda tarqalgan. Ularning yaratishda 1:100 000 va 1:20 000 masshtabdagi kartalardan foydalanilgan. Elementlar, masalan, gidrografiya, yo‘llar, ma’muriy chegaralar, relyef va boshqalar alohida turgan fayllarda saqlanadi. Ular vektorli formatdagi fayllar bo‘lib topologiyani ham o‘z ichiga oladi. Demak, ular axborotni “ark nuqta” tartibida va nuqta, chiziq, maydon kabi alohida fayllarda saqlaydi.

Ma’lumotlarning rastrli formati.

Tasvirlarni va suratlarni raqamli tarzda saqlaydigan rastrli formatlar xozirgi paytda keng tarqalgan va vaqt mobaynida turli tarmoqlar orqali tarqatish maqsadida bu formatlar takommilashtirilgan.

Rastrli formatlarni bir biridan ko‘chirilishi uchun ko‘p har xil dasturlar tuzilgan. Rastrli formatni vektorli formatga ko‘chirish ham va teskari vazifani yechishda bir necha dasturlar mavjud, misol uchun CorelDraw!. Bunday imkoniyatlar geografik axborot tizimlarida ham bor. TIFF, GIF va JPEG formatlarda axborotni kichraytirishning turli sxemalari mavjudligi tufayli ular keng tarqalgan formatlar hisoblanadi. Ular Internet orqali tasvirlarni yuborish yoki qabul qilib olishda ishlatiladi. DEM (balandliklar raqamli modeli) formatdagi fayllar ko‘p geografik axborot tizimlarida o‘qiladi. Bunday fayllar orqali ikki xil ma’lumot tarqatiladi:

1. 1:20 000 masshtabli kartadan olingan balandliklar to‘g‘risidagi ma’lumotlar.
2. 1:250 000 masshtabli haritadan olingan raqamli yuza to‘g‘risidagi ma’lumotlar.

Bu fayllarda proyeksiya haqida ma’lumot ham saqlanadi, va ular yordamida 3 o‘lchovli modellarni tasvirlasa xam bo‘ladi.

Bir xil axborotni turli yo‘l bilan saqlash natijasida geografik axborot tizimlarida ikkita strategiya qabul qilingan:

1. Rastrli geografiya axborot tizimlarida faqat bitta format ishlatiladi va boshqa formatdagi fayllarni tizimdagi formatiga aylantirish vositalari mavjud.
2. Boshqa strategiyaga ko‘ra tizim turli formatlarni o‘kib oladi va geografik axborot tizimining operatori formatni o‘zgartirish vazifasini bajaradi.

Skanerdan olingan ma’lumotlar asosan rastrli formatda bo‘ladi, geografiya axborot tizimlari esa ko‘proq vektor formatni talab qiladi. Maxsus dasturlar rastrli formatdagi ma’lumotlarni vektorli formatga o‘tkazish uchun operator har bir chiziqning boshidan ohirigacha kuzatishi va boshlang‘ich hamda ohirgi nuqtani alohida ajratishi kerak. Bu ish juda katta xajmdagi ma’lumotlarni o‘tkazishga ko‘p vaqtni talab qiladi.

Ma’lumotlarni bitta formatdan boshqasiga o‘tkazishdan tashqari har xil geografik axborot tizimlaridagi dasturlar xilma xilligi sababli muayyan kompyuter va dastur uchun mos holda o‘zgartirishni talab qiladi. Turli tashqilotlar har xil dasturlar, kompyuterlar, manbalardan foydalanib turli xil formatdagi raqamli axborotni yaratadi. Boshqa joyda yaratilgan ma’lumotlar tizim qabul qilinmaydigan formatda bo‘lgani tufayli ulardan foydalanish imkoni chegaralgan. Shuning uchun bir xil ma’lumotlarni taqrorlab raqamli tarzga aylantiriladi.

GAT uchun zamonaviy geodezik asboblar yordamida ma’lumotlar olish Ma’lumki, har qanday sug‘oriladigan hududlarda meliorativ inshootlarini barpo etish, tabiiy boyliklarni qidirish va ulardan foydalanish, mamlakat mudofaasi ehtiyojlarini kerakli ma’lumotlar bilan ta’minlash va boshqa masalalarni ilmiy-amaliy nuqtai nazardan maqsadga muvofiq bosqichma-bosqich amalga oshirish uchun dastlab yer sirtida kerakli topografik-geodezik va kartografik tadqiqot ishlari olib boriladi [38; 75-78-b].

Keyingi yillarda “Leica Geosystem” (Shveysariya) firmasi tomonidan yuqori unumli, avtomatlashgan Leica FlexLine TS rusumli elektron taxeomyetrlar ishlab chiqarilmoqda. Bu rusumli elektron taxeometrlar qator afzalliklarga ega bo‘lib, sifat, moslashuvchanlik, qulaylik va samaradorlik ko‘rsatkichlari shular jumlasidandir.

Leica FlexLine TS 02 plus elektron taxeometri texnik va o‘rtacha aniqlikda s’yomka ishlarining barcha standart vazifalari uchun ishonchli, tezkor va qulay asbob hisoblanadi. Bu asbob katta grafik oq-qora displey, harfli-raqamli klaviatura, bluetooth simsiz aloqasi bilan jihozlangan va SmartWorx Viva dasturiy ta’minoti orqali yanada moslashuvchanlikka erishiladi [109; 88-96-b].

Leica FlexLine TS 06 plus elektron taxeometri ham (1.6-rasm) o‘rtacha aniqlikda kundalik s’yomka ishlarining barcha standart vazifalari uchun ishonchli, tezkor va qulay asbob bo‘lib, u katta grafik oq-qora displey, harfli-raqamli klaviatura, yangi o‘rnatilgan Leica FlexFild plus dasturi va rangli sensor displey bilan jihozlangan.

Keyingi yillarda Trimble (AQSH) firmasi tomonidan Trimble S3 DR hamda NIKON (Yaponiya) firmasi bilan hamkorlikda Spektra Precision Focus 4 elektron taxeometrlari ishlab

chiqarilmoqda. Ular asosan topografik, kadastr s'yomkalarini bajarishga mo'ljallangan bo'lib, o'lchash imkoni bo'lmagan nishon(nuqta)largacha o'lchashlarni bajarishda katta universallikka ega hamda o'lchashlarni qaytargichsiz amalga oshirish imkonini beradi.

Bu rusumli asboblar quyidagi masalalarni hal etishda keng qo'llanadi:

- Meliorativ tarmoqlarni qurish;
- Topo-gyeodezik s'yomka asosini qurish va rivojlantirish;
- topografik, kadastr va qurilishdagi s'yomkalarni bajarish;
- yerlar ajratish(yer uchastkalari chegaralarini o'rnatish);
- yer uchastkalari chegaralarini joyga ko'chirish;
- ryejalash ishlari.
- Kartaga olish uchun ma'lumotlarni olishda.

Shuningdek, meliorativ tarmoqlarni barpo etishda elektron raqamli nivelirlar xam ken qo'llanilmoqda. Elektron-raqamli nivelirlarga chet el firmalari tomonidan ishlab chiqarilayotgan Dini 12, Dini12T, Dini 0.3, Dini 0.7 Trimble (AQSH), DNA03, DNA10, "Sprinter" Leica (Shveysariya), DL-101C , DL-102C TOPCON (Yaponiya)va boshqa nivelirlarni misol qilib keltirish mumkin.

An'anaviy nivelirlardan raqamli nivelirlar elektronika bilan jihozlanganligi va maxsus ish dasturlari bilan ta'minlanganligi bilan farq qiladi. Bu esa dala o'lchash ishlari va natijalarni ishlab chiqish jarayonlarini avtomatlashtirish imkonini beradi, jumladan:

- shtrix-kodli nivelir reykasi bo'yicha sanoq olish;
- o'lchash natijalariga ko'rish trubasi vizir o'qining silindrik adilak o'qiga parallel emasligi(*i* burchagiga) hamda yer egriligi va refraksiya xatolari uchun tuzatmalarni kiritish;
- nivelir bilan reyka orasidagi masofa 100m gacha bo'lganda gorizontal qo'yilishni 20 mm gacha aniqlikda o'lchash;
- o'lchash natijalarini ichki yoki tashqi xotira moduliga yozish;
- nivelirlash yelkalari (nivelirdan orqa va oldingi reykalargacha masofalar) tengligi va nisbiy balandlik o'lchash natijasini tekshirib borish;
- o'lchash natijalarini avtomatik ishlab chiqib, nuqtalar balandligini displeyga chiqarish;
- o'lchangan ma'lumotlarni yozib saqlash va uzatish uchun USBmoslamasidan foydalanish.

Nivelirlarda o'rnatilgan dastur alohida o'lchash, qayta o'lchash, o'rtadan va oldinga geometrik nivelirlash, rejalash ishlari va nivelir yo'lini tenglash kabi jarayonlarni bajarishni ta'minlaydi.

Reykadan olingan sanoqlarni nivelir xotirasiga yozib saqlash yoki asbob displeyi(ekrani)dan o'qib, jurnalga yozish mumkin.

Ko'pincha joyning sharoiti va turli to'siqlar ta'siri tufayli nivelir reykasining katta qismini ko'rish qiyin bo'ladi, Dini niveliri bilan o'lchashda reykaning 30sm ga teng kesimi ko'rinsa kifoya qiladi.

Dini 0.3 va Dini 0.7 nivelirlari nisbiy balandliklarniyuqori aniqlikda, masofalarni esa aniq elektron o'lchashlar orqali bajarishga mo'ljallangan. Ushbu nivelirlar bilan invar reykalaridan foydalanibo'lchashlar bajarishda 1km ikkilangan nivelir yo'lida o'rta kvadratik xato tegishlicha 0,3 mm va 0,7 mm ni tashkil qiladi.

Dini nivelirlari qo'shimcha elektron gorizontal doira bilan jihozlangan bo'lib, ubilan gorizontal burchaklarni o'lchash mumkin. Burchaklar 6" aniqlikda o'lchanadi.

DNA 03 va DNA 10 Leica (Shveysariya) raqamli nivelirlarda ilg'or elektron texnologiyalar, a'lo darajali optika va aniq mexanika hamda eng katta va ergonomik suyuq kristalli displey mujassamlangan bo'lib, avtomatik ravishda shtrix-kodli reykalarda o'lchashlarni bajarishga qodir.

Yuqoridagi geodezik asboblar yordamida dala ma'lumotlari GAT uchun olinadi va ular natijalari qayta ishlashda GAT dasturlari orqali qayta ishlanadi va kartografik manbalar yaratiladi.

Fazoviy ma'lumotlar va fazoviy modellashtirish

Fazoviy ma'lumotlarni modellashtirish dasturlari ichida avtorlik qurilmalari va umumiy ko'rish oynalari mavjud. Mualliflik qurilmalari mo'ljallangan olamni yaratish hamda modelning

geometrik va vizual ko‘rinishi uchun asosiy funksiyalarga ega. Ko‘rish oynalari esa, veb brauzerlar “plagins” deb ataluvchi oynalardani iborat. Ob’yektlarning geometrik hamda vizual ko‘rinishini hosil qilish ko‘pchilik hollarda qandaydir vazifa bilan ham bog‘lanadi. Buning natijasida fazoviy ob’yektlar foydalanuvchi ko‘rsatmalariga mos tarzda harakatlanishi mumkin. Foydalanuvchi ko‘rsatmalari bilan ob’yektlar orasida o‘zaro bog‘liqlik o‘rnatish murakkab vazifa hisoblanadi. Shuning uchun vertual hamda real fazoviy boshqaruv mexanizmini ishlab chiqish zarur.

1. Ba’zi fazoviy ob’yektlarni uch o‘lchamda tasvirlash.
2. Ba’zi fazoviy ob’yektlar hisob ishlariga yordam berish va tushunarli qilib ifodalash.

Fazoviy ob’yektlarni 3D- GAT bilan bog‘lash uchun ishlab chiqarishda mavjud bo‘lgan yirik loyihalarni loyihalash jarayonlarini bilish zarur. Loyihalashda 3D- GAT ni qo‘llash uchunbir nechta tashkilotlar tomonidan tayyorlangan loyihalar ustida tadqiqot olib boriladi. Olib borilgan tadqiqotlarni uchta bosqichga ajratish mumkin.

1. Rejalashtirish.
2. Loyihalash va modellashtirish.
3. Qarorlar qabul qilish.

Rejalashtirish Ushbu bosqichda, muammo o‘rganib chiqiladi va barcha kerakli ma’lumotlar yig‘iladi. Muammoning dastlabki tahlilidan so‘ng 1:10 000 va 1:100 000 masshtablarda sxemalar yaratiladi. Turli sohalardan mutaxassislar chaqirilib loyihaning atrof-muhitga ta’siri tahlil qilib chiqiladi. Turli loyihalar taqqoslanib bir yoki ikkitaloyiha keyingi tahlillar uchun tanlab olinadi.

Loyihalash va modellashtirish Bunda binolar va inshootlar masshtabga keltirilib 3D sifatida tasvirlanadi. Biroq ularning umumiy ko‘rinishi oddiy ko‘rinishga ega bo‘lib, hali tafsilotlar bilan boyitilmagan bo‘ladi. Muhim omil ob’yekt o‘lchami, ular orasidagi munosabat va boshqalar hisoblanadi. Keyingi omil sifatida esa turli komponentlarni joylashtirish va boshqarish uchun umumiy ko‘rinishi olinadi. Umumiy ko‘rinishi olingandan keyin e’tibor texnik jihatlarga va muammoni hal etishga qaratiladi.

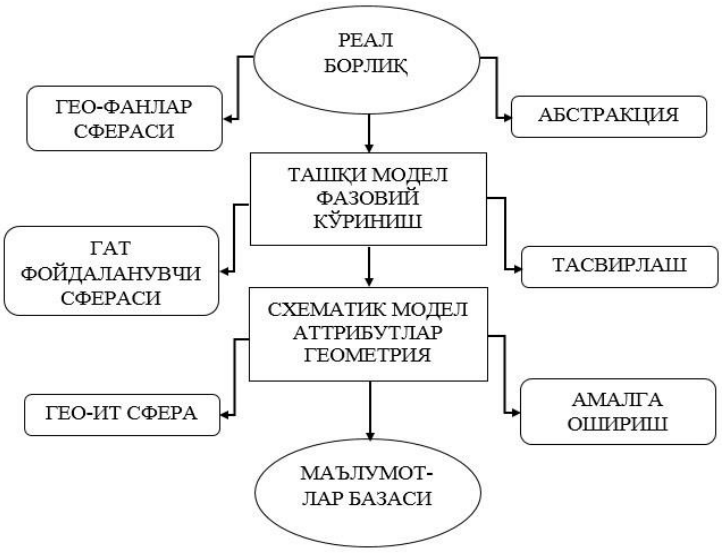
Qarorlar qabul qilish Loyiha tayyor holatga keltirilgandan so‘ng qarorlar qabul qilinadi. Bunda barcha uchun taqdim etiladigan holatga o‘giriladi. Taqdimot qanchalik haqiqatga yaqin bo‘lsa, reja o‘qish shunchalik oson bo‘ladi.

Fazoviy model yo‘li orqali real borliqni (geografik) ko‘rinishini fanlar soxasida ya’ni geologiya, tuprokshunoslik, tuprok va suvni muxofaza qilish, o‘simlikshunoslik, o‘rmonchilik, daryo gidravlikasi va landshaftni rejalashtirish (konseptual sfera yoki kontekst) abstraksiyalash. Bunday ko‘rinishlarga misollar bo‘lib, o‘pirilish, tuprok elementi, suv oqish tizimi, vegetasiya turi, oqim saklanish xududi va daryo landshaftida tugonni dambalash. Modellashtirish to‘g‘risida gap ketganda, uni oddiy so‘z bilan ta’riflaydigan bo‘lsak, model – bu bor narsani soddalashtirish deb tushunish kerak. Kartografik modellashtirish topografik kartalarda tabiiy va antropogen muhitlar tasvirini, demografik kartalarda esa aholi to‘g‘risidagi ma’lumotlarni o‘z ichiga oladi [92;79-80-b].

Loyihalash jarayonida vujudga keladigan muammolar 2D/3D ma’lumotlarini tahlil qilish va vizuallashtirish uchun 3D funksiyalarining yetishmasligi sababli kelib chiqadi. Loyihani va uning atrof-muhitga ta’sirini vizuallashtirish uchun joyning (2D) kartalari, sxemalari, modellari va animasiyalari ishlatiladi.

Ushbu vizuallashtirish medialari juda statik bo‘lib, kelajakdagi holatni juda sodda tarzda ko‘rsatadi.

Yuqoridagi loyihalash jarayonini tahlil qilgan holdayangi tizim uchun eng muhim talablar sifatida 3D tahlilini olib borish, samarali vizuallashtirish va



5-rasm. Fazoviy modellashtirishning an’anaviy tasvirlanishi.

ma’lumotlar bilan ishlash hisoblanadi. Taqdimotning o‘zi yakuniy maqsad bo‘lib qolmasligi kerak. Chunki samarali vizuallashtirish bir vaqtning o‘zida loyihalash hamda qarorlar qabul qilish demakdir.

Xulosa

Kartaga olishda zamonaviy GAT dasturlari ArcGIS va QGIS, ekologik-meliorativ ma’lumotlar bazasini yaratish va GAT uchun zamonaviy geodezik asboblar yordamida ma’lumotlar olish hamda fazoviy ma’lumotlar va fazoviy modellashtirish masalalariga qaratilgan bo‘lib, unda zamonaviy GAT texnologiyalarida ArcGIS va QGIS dasturlari asosida Farg‘ona viloyati irrigatsiya va melioratsiya tarmoqlari ma’lumotlari bazasi yaratildi. Ekologik-meliorativ ma’lumotlar bazasi hudud ekologik monitoringini olib borish va qishloq xo‘jaligi ishlarini barqaror rivojlantirish bo‘yicha chora-tadbirlar ishlab chiqishda asosiy manba bo‘lib hisoblanadi. Shuningdek, GAT uchun zamonaviy geodezik asboblar yordamida sug‘orish inshootlarini barpo etishda foydalanish va ular asosida GAT uchun ma’lumotlar olish asoslandi. Fazoviy ma’lumotlar va fazoviy modellashtirish GAT texnologiyalari asosida qayta ishlash hamda ularni yaratish texnologiyalari ishlab chiqildi.

Adabiyotlar

[1]. Nigmatov A.N., Reymov P., Abdireymov S. Geoekologicheskiy monitoring i osenka deltovых ravnin. − T.: Turon iqbol, 2006. – S.128.

[2]. Oxunov Z. D. va boshq. Ma’lumotlarni olish va integrasiyalash. T., Moliya, 2016 y.

[3]. Prenov Sh.M., Safarov E. Yu. va boshqalar. Ekologik-meliorativ holatni kartaga olish metodikasini ishlab chiqishda geoaxborot tizimining roli. O‘zbekiston Geografiya jamiyati axboroti maxsus son. Toshkent 2018. B. 141-147 b.

[4]. Prenov Sh. M. Farg‘ona viloyati sug‘oriladigan yerlarning tuproq meliorativ holatini kartaga olish haqida. Geografik tadqiqotlarda kartografik metodlardan foydalanish. O‘zbekiston Respublikasi mustaqilligining 20 yilligiga hamda O‘zMU Geodeziya, kartografiya va kadastr kafedrasining 90 yilligiga bag‘ishlangan Respublika ilmiy – amaliy konferensiyasi materiallari. Toshkent 13 – 14 may 2011. 204 – 206 b.

[5]. G‘ulomova L.H. Geografiyada aerokosmik uslublar.-T.: Universitet, 1993. – 132. b.

[6]. Yokubov S. DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL CARDS USING ARCGIS AND PANORAMA TECHNOLOGIES //Innovations in Science and Technologies. – 2024. – Т. 1. – №. 1. – С. 101-107.

[7]. Babajanov O.R., Rahmonov Q.R., G‘ofirov A.J. Yer kadastri. – T.: Cho‘lpon, 2002 - 81 b.

ОБНАРУЖЕНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИ ОБЕСТОЧЕННЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

A.X. Abdusamatov

Ферганский государственный технический университет
xasanboy.abdusamatov@mail.ru
(Получена 16.04.2026 г.)

Аннотация *Проведен анализ повреждений на линиях электропередачи. Задачи определены способы контроля состояния линий электропередачи. Техники решения были предложены поставленные задачи. Предлагаемая система мониторинга позволит быстро обнаружить и локализовать повреждения на линиях электропередачи. Технические требования к системе имеют цитировались. Рассмотрены характеристики рефлектометра РЕЙС-105.*
Ключевые слова: *линия, электропередачи, задачи, решения, локализовать.*

1. ВВЕДЕНИЕ

Постоянно возрастающая конкуренция в сфере энергоснабжения приводит к увеличению

Требования потребителей к качеству и надежности электроснабжения от

производитель и дистрибьютор потоков электроэнергии. В то же время в Казахстане и России для электроснабжения по-прежнему используется устаревшее оборудование. Самая ненадежная часть

оборудования электроснабжения – воздушные линии электропередачи. Однако, они являются основным элементом передачи энергии и кроме того охватывают

огромные территории как в Казахстане, так и в России.

На этой основе автоматический контроль состояния линий электропередачи, в том числе

повреждение является важнейшей задачей, стоящей перед проектировщиками и эксплуатантами современных линий электропередачи [1, 2]. Наибольшее количество повреждений происходит из-за обрыва проводов и

короткое замыкание, которое обычно происходит из-за неблагоприятных погодных условий, а также

самовольный демонтаж проводов.

Обрывы проводов из-за атмосферных воздействий включают обледенение, обрывы электропитания.

Столб линии электропередачи и обрывы, вызванные сломанными ветвями деревьев. Кроме того, когда

на проводах появляется лед и иней, функциональный сбой высокочастотной несущей возможны и сигналы от автоматического контроля нештатных ситуаций и реле защиты может быть неправильно закодировано, неправильная передача технологических информации или ее отсутствие возможно [3–5].

Несанкционированное отключение проводов осуществляется путем создания искусственного короткого замыкания.

отключение цепи и линии электропередачи от системы электроснабжения или линия электропередачи уже обесточена во время устранения неисправности. Для технического контроля необходимо разработать автоматизированную систему оперативного контроля. Метод появления наледи на проводах с возможностью работы удаленно при достаточной чувствительности и надежности, при этом не требовался специально выделенный канал связи для передачи информации и командных сигналов на комната управления. Этот метод должен обеспечивать контроль отсутствия перерывов в этих мощностях. Линий при отключении электроэнергии на проводах ЛЭП [6–8].

Задачи, которые необходимо решить для создания этого метода, следующие [9–11]:

• найти зависимость периода задержки и изменения амплитуды сигнала в

форма отраженных импульсов при зондировании методом локации ЛЭП

от толщины и длины наледи на линиях электропередачи;

• найти точки опоры, которые определяют препятствия на линиях электропередачи, такие как высокие

частотные экраны, кабельные вставки, точки подключения к ответвлениям и другое элементы;

• найти способы реагирования на препятствия на линиях электропередачи, имеющие как активную, так и реактивную характеристики при проведении локации подачей импульсов;

• создать методику расшифровки реакции при подаче импульсов во время зондирование реальных линий электропередачи;

• разработать подсистему, реализующую метод оперативного обнаружения различные виды льда на линиях электропередачи.

Одним из способов определения местоположения участка с неисправностью является метод управления по локации и заключается в том, что температура проводов косвенно определяется током нагрузки, температурой и скоростью движения воздуха, и таким образом можно обнаружить как обрыв провода, так и короткое замыкание [12].

Зондирование локационным методом позволяет своевременно, качественно и высокая степень надежности и чувствительности не только для обнаружения гололеда на линиях электропередачино и обеспечить опера тивную организацию удаления льда методом плавления. Это также становится возможным осуществлять оперативный контроль коротких замыканий и обрывов на линиях электропередачи, что сокращает время простоя подачи электроэнергии потребителям, быстро реагировать на возможные действия по несанкционированному снятию проводов, что снижает материальные и финансовые затраты энергоснабжающих организаций на чрезвычайные ситуации восстановительные работы и для потребителей на случай возможных простоев.

Приборы, обеспечивающие прямое или косвенное измерение температуры частей, находящихся под напряжением, позволяют

предотвращают случаи вандализма и могут быть установлены на участке ЛЭП, проходящем по территории подстанции, вблизи точки подключения конденсаторы связи.

Одним из эффективных принципов телемеханики является принцип «один – N», когда

использование метода локации позволяет использовать коммутационный переключатель от подстанция для подключения всех ветвей ЛЭП к коэффициенту отражения счетчик и этим же оборудованием через короткие промежутки времени определяют наличие обледенение или повреждение, такое как короткое замыкание или обрыв.

Затраты на систему зондирования с использованием метода локации, необходимого для контроля наледи значительно меньше стоимости телеметрического оборудования, используемого в настоящее время.

используется для определения наличия ледяного покрова. Кроме того, экономическая эффективность – это тем существеннее, чем больше линий электропередачи будет подключено к подстанции. Управляется локационным устройством в комплекте с переключателем коммутации.

В связи с этим предлагаются основные технические требования к системе:

(1) Требования к структуре:

Функциональную структуру оборудования можно представить следующим образом:

блок высоковольтной присоединения и блок контроля линии.

Блок высоковольтной присоединения должен быть выполнен в виде конденсаторов связи. На соответствующее напряжение и имеющие внешнее исполнение.

Блок высоковольтной присоединения должен быть предназначен для ограничения подаваемого напряжения. К блоку управления при работающей линии и подавать управляющее напряжение на обесточенная линия.

Блок контроля линии должен быть выполнен в виде устройства, контролирующего скорость изменения электрические параметры обесточенной трехфазной линии электропередачи с целью определениякороткое замыкание проводов между собой или на землю [13].

(2) Требования к техническим характеристикам:

Известно, что электрические параметры линий электропередачи можно свободно определять. Меняться в течение дня в зависимости от температуры и влажности окружающей среды изменения.

Резкие изменения параметров могут быть вызваны перепутыванием проводов, вызванным ветром или специальными перемычками для отключения линии с целью быстрого снятия провода.

Учитывая вышеизложенные основные технические требования, которые должны применяться к

Конкретное оборудование для мониторинга линий приведено в Таблице 1:

(3) Требования к выполняемым функциям:

Оборудование метода локации для обнаружения ледяного покрова должно быть цифровым. Для размещения в помещениях подстанций [10].

Оборудование должно формировать следующие сигналы телесигнализации:

• высокое напряжение на линиях электропередачи;

• включение оборудования в режиме мониторинга линии;

Таблица 1

Технические характеристики оборудования мониторинга линии

№	Название параметра	Нормальное значение
1	Версия	Промышленные общего назначения
2	Уровень и тип защиты от воздействия окружающей среды	JP 43
3	Количество контролируемых линий, не более	1
4	Количество проводов в линии, не более	3
5	Минимальная длина линии электропередачи, не менее, км	3
6	Максимальная длина ЛЭП, не более, (км)	30
7	Напряжение ЛЭП, не более (кВ)	35
8	Напряжение питания оборудования контроля линии (В)	220 ± 15%
9	Количество выходных сигналов	3.дистанционная сигнализация

• сигнализация при обрыве провода, замыкании линии или одного линейного провода на массу, коротком замыкании провода вокруг друг друга;

• наличие наледи на проводах.

Оборудование должно генерировать следующий сигнал дистанционного управления:

• активация режима защиты от обледенения проводов.

Эти сигналы должны передаваться по средствам телемеханики или другим средствам передачи. Системы (GSM или другие) в центр управления для контроля. При мониторинге состояния

На линиях электропередачи могут быть использованы цифровые рефлектометры российского производства РЭИС-105П и РЕЙС-205.

Данные рефлектометры обладают достаточно высокой чувствительностью для регистрации наледи и инея на токопроводящих линиях толщиной до 5 мм и более, при участке со льдом 3% от общей длины проводов.

Рефлектометры подключаются к контролируемым линиям электропередачи с помощью напряжением 6–10 кВ при обесточенном отрезке кабеля или двухпроводной линии. Длиной до 200 м, чтобы обеспечить прохождение локационных импульсов длительностью0,3 мкс и более [14, 15].

Если линия находится под напряжением 6–10 кВ, то рефлектометр подключается. Через промышленный фильтр с полосой пропускания от 400 до 900 кГц, что обеспечивает прохождение зондирующих импульсов длительностью 1 мкс. Промышленные фильтры, используемые для проведения зондирование импульсным методом должно быть настроено на полосу заграждения не менее 400–900 кГц.

Новое поколение импульсных рефлектометров представлено портативными цифровыми рефлектометр REIS, созданный компанией STELL с целью использования его в практическая энергетика для обнаружения повреждений и диагностики силовых кабельных линий, а также в качестве линий связи, передачи электроэнергии, мониторинга и управления всех типов. Для использования при производстве и передаче электроэнергии их можно использовать вместо значительное количество устаревших рефлектометров, например, тестер однородности П5-10, П5-13 и П5-17.

Через этот интерфейс всю информацию из памяти прибора РЕЙС-105 М1 можно быстро перенести в память компьютера. А дальше нужная информация регистрируется в компьютере в базе данных, которую можно сортировать, дополнять и сохраненная в виде рефлектограмм «библиотека» своевременно обслуживаемых линий. Это возможен перенос обратно на устройство с компьютера.

Сформированная «библиотека» данных обслуживаемых линий обеспечивает оперативность нахождения место некорректного функционирования путем сравнения данных, характеризующих параметры повреждения информацией об этой же линии, расположенной в «библиотеке»[16]. Кроме того, возможна автоматическая калибровка прибора путем сравнения данных из «библиотека» при прочих равных условиях.

Для обмена информацией и возможности работы с компьютером РЕЙС

Прибор-105М1 поставляется с программным обеспечением, в частности РЭИД-7.

2 РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведены испытания опытных образцов аппаратуры мониторинга линий электропередачи. Проведены в соответствии с программой и методикой предварительные испытания линий оборудование контроля на фидере №8 подстанции «Репродуктор», г. Курлус пос, Карагандинская область.

Установлен блок линейного управления (БКУ) аппаратуры мониторинга линий электропередачи в г. Помещение подстанции. Вместо узла высоковольтной связи использован имитатор. Которые состоят из конденсаторов типа ЛКУ-3, также установлены в помещениях подстанции.

Блок управления линией был подключен к электросети и питающему напряжению 220 В. в соответствии со схемой, представленной на рис. 1.

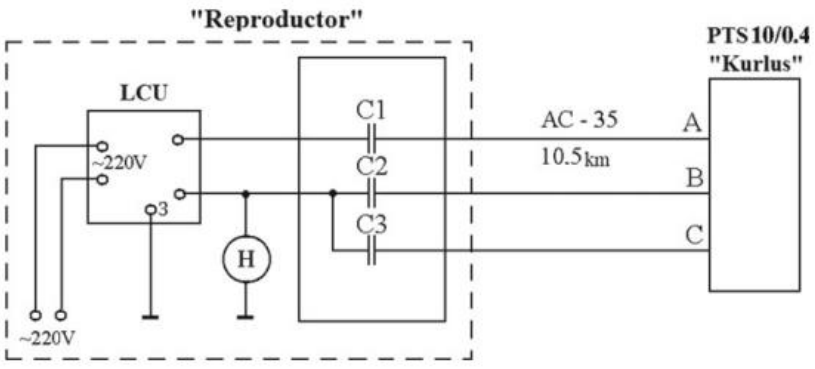


Рис. 1 Схема подключения сетевого блока управления к линии электропередачи.

Испытания проводились на обесточенной линии электропередачи. Уровень сигнала на приеме.

Линия LCU дополнительно контролировалась осциллографом (обозначена буквой «Н»).

На объекте были произведены следующие виды повреждений:

1. Обрыв линии электропередачи на подстанции «Репродуктор». Разрыв был достигнут путем удаления провод от линии к конденсатору связи.

2.Замыкание любой пары фаз друг с другом или всех фаз вместе в Подстанция «Репродуктор».

3.Замыкание одной фазы или любой пары фаз на землю или всех фаз на землю в Подстанция «Репродуктор».

4. Замыкание любой пары фаз или всех фаз друг на друга на шинах ПТС 10/0,4.

«Курлус».

5. Замыкание одной фазы или любой пары фаз на землю или всех фаз на землю.Автобусы ПТС 10/0,4 «Курлус».

6. Отключение или подключение ПТС 10/0,4 «Курлус».

Фидер №8 ПС «Репродуктор» питает четыре блочных трансформатора.

подстанция (ПТС), обеспечивающая электроэнергией поселок Курлус, как показано на рис. 2.

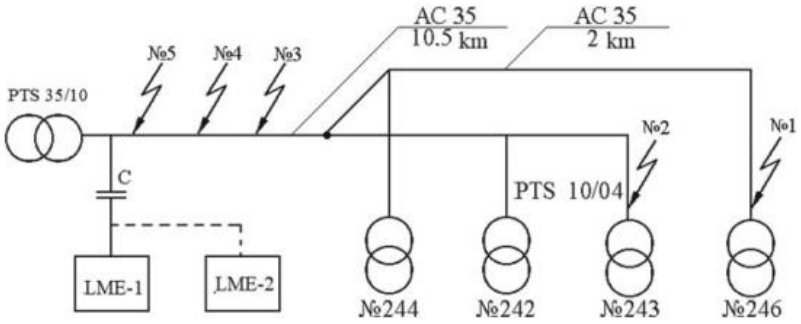


Рис. 2 Схема подключения.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Испытания проводились с двумя комплектами оборудования для мониторинга линии. В соответствии с

По результатам испытаний были сделаны следующие выводы.

Испытания проводились без использования рефлектометров, но на основе и характеристики позволяют использовать их для мониторинга линий электропередачи в зимнее время и летние условия.

Рассмотренная система мониторинга обеспечивает своевременное определение типа повреждения. И такое место, как короткое замыкание и обрыв цепи из одной контрольной точки -электрическая подстанция, кроме того, позволяет пресечь возможные случаи вандализма, в том числе несанкционированное снятие проводов [17].

Использование предложенного метода управления позволяет снизить вероятность наиболее тяжелых, так называемых обледенелых аварий, и тем самым повысить надежность электроснабжения предприятий и населения, а также снизить затраты на восстановление и ремонт линий электропередачи.

Список литературы

[1]. Shaban, H.A., Seeber, A.: Monitoring global chromatin dynamics in response to DNA damage. Mutation Res. Fundamental Mol. Mech Mutagenesis 821, 111707 (2020). https://doi.org/10. 1016/j.mrfmmm.2020.111707

[2]. Maurel, V., Guipont, V., Theveneau, M., et al.: Thermal cycling damage monitoring of thermal barrier coating assisted with LASAT (LAser Shock Adhesion Test). Surf. Coat. Technol. 380, 125048 (2019). https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.125048

[3]. Aggarwal, R.K., Johns, A.T., Jayasinghe, J.A.S.B., Su, W.: An overview of the condition monitoring of overhead line. Electric Power Syst. Res. 53(1), 15–22 (2000). https://doi.org/10. 1016/S0378-7796(99)00037-1

[4]. Lévesque, F., Goudreau, S., Cloutier, L., Cardou, A.: Finite element model of the contact between a vibrating conductor and a suspension clamp. Tribol. Int. 44(9), 1014–1023 (2011). https://doi.org/10.1016/j.triboint.2011.04.006

[5]. Venkatasubramanian, V.: Process fault detection and diagnosis: past, present and future. IFAC Proc. 34(27), 1–13 (2001). https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)33563-2

[6]. Ferreira, E.F., Barros, J.D.: Faults monitoring system in the electric power grid of medium voltage. Procedia Comput. Sci. 130, 696–703 (2018). https://doi.org/10.1016/j.procs.2018. 04.123
[7]. Kim, J.-D., Lee, J.-H., Ham, Y.-K. et al.: Sensor-Ball system based on IEEE 1451 for monitoring the condition of power transmission lines. Sens. Actuators, A: Phys. 154(1), 157–168 (2009). https://doi.org/10.1016/j.sna.2009.06.009
[8]. Nizhegorodov, A.I., Gavrilin, A.N., Moyzes, B.B.: Application and production technology of thermal activation products of serpentine minerals from industrial wastes. Bull. Tomsk Polytechnic Univ. Geo Assets Eng 329(5), 67–75 (2018)
[9]. Parsi, M., Crossley, P., Dragotti, P.L., Cole, D.: Wavelet based fault location on power transmission lines using real-world travelling wave data. Electric Power Syst. Res. 186, 106261 (2020). https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106261
[10]. Abu-Siada, A., Mir, S.: A new on-line technique to identify fault location within long transmission lines. Eng. Failure Anal. 105, 52–64 (2019). https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019. 06.071
[11]. Vavilova, G.V., Gol'dshtein, A.E.: Instrument for in-process control of capacitance per unit length of an electrical wire. Meas. Tech. 61(3), 278–283 (2018). https://doi.org/10.1007/s11 018-018-1421-6
[12]. Hussain, S., Osman, A.H.: Fault location on series and shunt compensated lines using unsynchronized measurements. Electric Power Syst. Res. 116, 166–173 (2014). https://doi.org/10. 1016/j.epsr.2014.06.003
[13]. Jianwen, Z., Hui, H., Yu, G., et al.: Single-phase ground fault location method for distribution network based on traveling wave time-frequency characteristics. Electric Power Syst. Res. 186, 106401 (2020). https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106401
[14]. Prasad, Ch.D., Srinivasu, N.: Fault detection in transmission lines using instantaneous power with ED based fault index. Procedia Technol. 21, 132–138 (2015). doi: https://doi.org/10.1016/ j.protcy.2015.10.020
[15]. Goldshtein, A., Vavilova, G., Rumkin, A., Starý, O.: Detection of insulation defects in automated in-process testing of electric wire during its extrusion. Mater. Sci. Forum 942, 141–150 (2019). https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.942.141
[16]. Rathinam, A., Vanila, S., Harika, C.: Phasor measurement unit based wide area backup protection scheme for power transmission lines. Energy Procedia 117, 1172–1181 (2017). https:// doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.243
[17]. Calderaro, V., Galdi, V., Piccolo, A., Siano, P.: Adaptive relays for overhead line protection. Electric Power Syst. Res. 77(12), 1552–2155 (2007). https://doi.org/10.1016/j.epsr.2006. 11.001.

NASOS STANSIYALARDA ENERGIYA SAMARADOR TEXNALOGIYALARNI JORIY ORQALI ELEKTR ENERGIYA TEJAMKORLIGIGA ERISHISH

S.X. To‘xtasinov[1], Sh.M. Qo‘shmatova[2]

[1]*Farg‘ona davlat texnika universiteti*
toxtasinovsaidislomxon@gmail.com
qoshmatovashaxnoza197@gmail.com
[2]*Ohangaron shahar texnikumi*

Annotatsiya: *Mazkur maqolada elektr energiyasidan samarali foydalanishning nazariy asoslari hamda asinxron dvigatellarda chastota o‘zgartirgichlardan foydalanish orqali energiya tejash imkoniyatlari tahlil qilingan. Energiya samaradorligini oshirishning asosiy yo‘nalishlari sifatida energiya auditi, yuklamaga mos dvigatel tanlash, avtomatlashtirish tizimlari va zamonaviy boshqaruv usullari ko‘rib chiqilgan. Shuningdek, chastota o‘zgartirgichlardan foydalanish orqali dvigatel tezligini boshqarish natijasida energiya sarfini kamaytirish mexanizmi misollar asosida tushuntirilgan. Tadqiqot natijalari sanoat korxonalarida energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etish muhimligini ko‘rsatadi.*

Kalit so‘zlar: *Elektr energiyasi, energiya samaradorligi, energiya tejash, asinxron dvigatel, chastota o‘zgartirgich, elektr yuritma, foydali ish koeffitsiyenti, energiya auditi, avtomatlashtirish, energiya iste’moli.*

Elektr energiyasidan samarali foydalanish va elektr yuritmalar samaradorligini oshirish masalalari zamonaviy energetika sohasining dolzarb yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Ushbu yo‘nalish energiya iste’molini kamaytirish, ishlab chiqarish xarajatlarini optimallashtirish hamda atrof-muhitga salbiy ta’sirlarni minimallashtirishga qaratilgan ilmiy va amaliy choralarni o‘z ichiga oladi.

Elektr energiyasidan samarali foydalanish deganda energiya resurslarini minimal yo‘qotishlar bilan, maksimal foyda olish sharti asosida ishlatish tushuniladi. Bu jarayon energiya

iste’molini optimallashtirish, texnologik jarayonlarni takomillashtirish va zamonaviy energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etish orqali amalga oshiriladi. Energiya tejashning asosiy maqsadi bir xil ishlab chiqarish natijasiga erishgan holda kamroq elektr energiya sarflashdan iboratdir.

Energiya samaradorligini oshirish ishlab chiqarishdan tortib iste’molgacha bo‘lgan barcha bosqichlarda energiyani optimal boshqarishni talab etadi. Bu borada yuqori samaradorlikka ega asbob-uskunalardan foydalanish, avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarini joriy etish hamda energiya auditi muhim ahamiyat kasb etadi. Energiya auditi elektr energiya iste’molini chuqur tahlil qilish, yo‘qotish manbalarini aniqlash va ularni kamaytirish bo‘yicha takliflar ishlab chiqishga xizmat qiladi.

Elektr yuritmalar sanoat va maishiy sohalarda mexanik harakatlarni amalga oshiruvchi asosiy qurilmalar hisoblanadi. Ular asosan elektr dvigatellar, uzatish mexanizmlari va boshqaruv tizimlaridan tashkil topadi. Elektr yuritmalar samaradorligini oshirishning muhim shartlaridan biri dvigatel quvvatini yuklama xarakteriga mos ravishda to‘g‘ri tanlashdir. Ortiqcha quvvatli dvigatellar energiya sarfini oshiradi va umumiy foydali ish koeffitsiyentini pasaytiradi.

Zamonaviy elektr yuritmalarda energiya samaradorligini oshirishning samarali usullaridan biri – o‘zgaruvchan chastota o‘zgartirgichlardan foydalanishdir. Ushbu qurilmalar dvigatel tezligini yuklama talablariga mos ravishda boshqarish imkonini beradi va natijada ortiqcha energiya sarfini sezilarli darajada kamaytiradi. Bundan tashqari, avtomatlashtirish tizimlari yordamida elektr yuritmalarni optimallashtirilgan rejimda ishlatish, ularning ish vaqtini nazorat qilish va energiya iste’molini kamaytirish mumkin.

Elektr yuritmalar samaradorligini baholash uchun odatda foydali ish koeffitsiyenti (FIK) yoki energiya samaradorlik koeffitsiyenti (ESK) qo‘llaniladi. Ushbu ko‘rsatkichlar qanchalik yuqori bo‘lsa, tizimdagi energiya yo‘qotishlari shunchalik kam bo‘ladi.

Asinxron dvigatellarda chastota o‘zgartirgichdan foydalanish energiya tejashning eng samarali usullaridan biridir. Bu ayniqsa nasoslar, ventilyatorlar va kompressorlar kabi yuklamalarda katta samara beradi.

1-rasm.An’anaviy tipdagi nasos agregatlari.

2-rasm. Chastota o‘zgartirgich bilan jixozlangan nasos agregatlari.

3 ta xar birining quvvati15 kVtdan bo‘lgan nasos stansiyasiya oddiy usulda ishlasa hisob-kitob orqali yillik elektr energiyasi iste’moli 121500 kVt·soatni tashkil etmoqda ushbu nasos stansiyaga tashkiliy tadbir qilish orqali yillik elektr energiya iste’molini 94500 kVt·soatga yetqazildi 27500 kVt·soat elektr energiya tejab qolindi.

Bu quidagicha amalga oshiriladi.

$W_1 = n \cdot P \cdot k_y \cdot t \cdot D$

Bu yerda

n – dvigatellar soni;

P –dvigatel quvvati;

k_y – yuklama koeffitsiyenti;

t – vaqt;

D – yillik ish kuni;

$$W_1 = n \cdot P \cdot k_y \cdot t \cdot D = 3 \cdot 15 \cdot 0.9 \cdot 10 \cdot 300 = 121500\ kVt \cdot soat$$

Agar dvigatel quvvali aylanish tezligiga $P \sim n^3$ proporsional bo‘lib tezlik 10–15% kamaytirilsa, quvvat 25–40% kamayadi va dvigatel iste’mol quvvati quidagicha bo‘ladi.

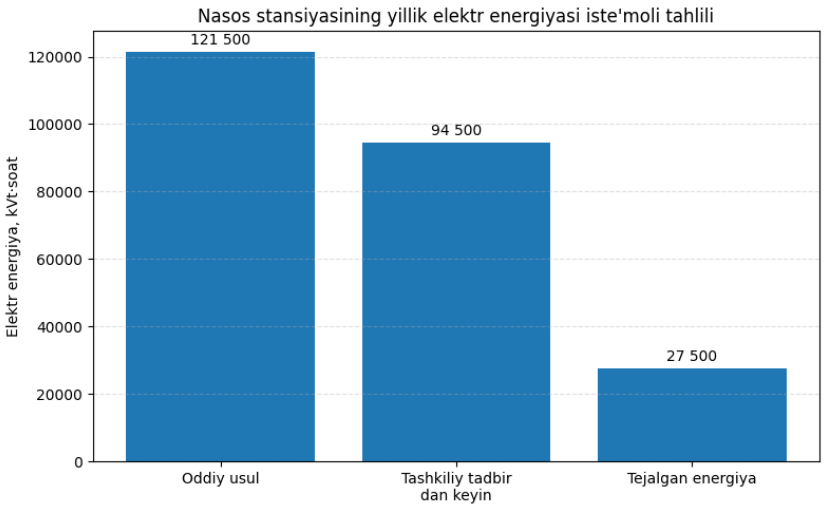
$$W_2 = n \cdot P \cdot k_y \cdot t \cdot D = 3 \cdot 15 \cdot 0.7 \cdot 10 \cdot 300 = 94500\ kVt \cdot soat$$

$$\Delta W = W_1 - W_2 = 121500 - 94500 = 27500\ kVt \cdot soat$$

Elektr energiya tajash foyiz ko‘rsatgichi.

$$\eta = \frac{\Delta W}{W_1} \cdot 100\% = \frac{27500}{121500} \cdot 100\% = 22.6\%$$

Mazkur tadqiqot natijalari nasos stansiyalarida va sanoat elektr yuritmalarida tashkiliy hamda texnologik boshqaruv tadbirlarini qo‘llash elektr energiyasidan foydalanish samaradorligini sezilarli darajada oshirishini ilmiy jihatdan asoslab berdi. Xususan, dvigatellar ish rejimini optimallashtirish, yuklama darajasini moslashtirish va aylanish tezligini tartibga solish orqali energiya sarfini kamaytirish mumkinligi aniqlandi. Nasos va ventilyator tipidagi mexanizmlarda quvvatning aylanish tezligiga kubik bog‘liqligi $P \sim n^3$ sababli tezlikni nisbatan kichik diapazonda (10–15 %) kamaytirish ham energiya iste’molini sezilarli (20–30 %) qisqartirishga olib keladi.



1-grafik. Nasosning energiya samaradorlik ko‘rsatgichlari.

Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, sanoat korxonalarida elektr energiyasining asosiy ulushi elektr yuritmalar hissasiga to‘g‘ri keladi, shu bois ularning ish parametrlarini optimallashtirish energiya tejashning eng samarali yo‘nalishlaridan biridir. Ayniqsa, chastota o‘zgartirgichlardan foydalanish dvigatel tezligini real yuklama talabiga mos ravishda boshqarish imkonini berib, energiya iste’molini kamaytirish bilan bir qatorda texnologik jarayonlarning barqarorligini oshiradi. Amaliy hisob-kitoblar asosida nasos stansiyasi misolida yillik elektr energiyasi iste’molini sezilarli kamaytirish (taxminan 20–25 %) va muhim iqtisodiy samaraga erishish mumkinligi isbotlandi. Bu esa chastota o‘zgartirgichlar va zamonaviy boshqaruv tizimlarining yuqori energiya tejamkorlik salohiyatiga ega ekanligini tasdiqlaydi. Shu bilan birga, dvigatel quvvatini optimal tanlash, energiya auditini o‘tkazish va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarini joriy etish energiya samaradorligini oshirishning muhim omillari sifatida belgilandi. Ushbu yondashuvlar nafaqat energiya sarfini kamaytiradi, balki uskuna ishonchliligini oshiradi, mexanik yuklamalarni kamaytiradi va ekspluatatsiya muddatini uzaytiradi.

Umuman olganda, energiya tejamkor texnologiyalarni keng joriy etish sanoat korxonalarida iqtisodiy samaradorlikni oshirish, energiya resurslaridan oqilona foydalanish hamda ekologik barqarorlikni ta’minlashda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega hisoblanadi.

Adabiyotlar

[1]. Комолддинов С. С. Ў. Кодиров Афзал Ахрор Ўғли, Ашуров Абдулахад Валижон Ўғли, & Тухтасинов Саидисломхон Хасанхон Ўғли (2022) //Регулировка изменения напряжения в устройстве автокомпенсации (на примере одной фазы).,(5-9 (98)).–С. – С. 49-54.

[2]. Kamoliddinov S. et al. Регулировка изменения напряжения в устройстве автокомпенсации (на примере одной фазы) //Главный редактор: Ахметов Сайранбек Махсутович, д-р техн. наук. – 2022. – С. 49.

[3]. Xolidinov I. X., Qodirov A. A., Kamoliddinov S. Kuchlanish o ‘zgarishini reaktiv quvvatni avtomatik kompensatsiyalash qurilmasida rostlash //Academic research in educational sciences. – 2022. – Т. 3. – №. 3. С. 973-981.
[4]. Abdullayev K. et al. Protective protection against electric shock during repair of electrical networks //Студенческий. – 2019. – №. 6-2. – С. 61-63.
[5]. Холиддинов И. Х. и др. Анализ снижения потерь в электрических сетях при использовании современных электрических кабелей //Universum: технические науки. – 2022. – №. 6-6 (99). – С. 26-30.
[6]. Development of simulation model of smart phase selector device Khojiakbar, E., Kholiddinov, I.Kh., Eraliev, A., Tukhtasinov, S., Komolddinov, S. E3S Web of Conferences, 2023, 461, 01051
[7]. X.Fayziyev. Gidrotexnika inshootlarining filtratsiya hisobi, Toshkent 2015
[8]. M.Boqiyev, I.Majidov, B.Nosirov, R.Xo‘jaqulov, M.Rahmatov. Gidrotexnika inshootlari Toshkent 2008.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СУШКИ ХЛОПКА ЗА СЧЁТ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МОДЕЛИ КОНВЕКТИВНОГО УСТРОЙСТВА

И.А. Мухаммаджонова

Наманганский государственный технический университет,
E-mail: imuhammadjonova1@gmail.com
(Получена 16.04.2026 г.)

Аннотация: *В данной работе рассматриваются вопросы повышения эффективности процесса сушки хлопка-сырца за счёт усовершенствования модели конвективного сушильного устройства. Проведён анализ существующих проблем, связанных с неравномерным распределением воздушного потока и высоким энергопотреблением. Предложена усовершенствованная модель с оптимизированной аэродинамикой, системой рециркуляции воздуха и автоматическим управлением. Результаты показывают снижение энергозатрат, сокращение времени сушки и улучшение качества волокна.*
Ключевые слова: *хлопок-сырец, сушка, конвективное устройство, теплообмен, энергоэффективность, автоматизация.*

Введение

Сушка хлопка-сырца является одним из ключевых этапов его переработки, оказывающим значительное влияние на качество конечного продукта и эффективность хранения. На данном этапе происходит удаление влаги из волокна, что обеспечивает его технологическую пригодность, предотвращает развитие микроорганизмов и снижает риск самосогревания при хранении. Известно, что исходная влажность хлопка-сырца может значительно варьироваться в зависимости от условий сбора, транспортировки и хранения. Повышенная влажность приводит к ухудшению физико-механических свойств волокна, снижению его прочности, а также увеличению потерь при дальнейшей переработке. Поэтому процесс сушки должен обеспечивать не только снижение влажности до нормативных значений, но и сохранение качественных характеристик сырья.

Однако существующие сушильные установки имеют ряд существенных недостатков:

неравномерное распределение нагретого воздуха в рабочей камере;

значительные тепловые потери через конструктивные элементы оборудования;

высокое энергопотребление;

снижение качества волокна из-за локального перегрева и пересушивания отдельных участков.

Дополнительно следует отметить, что несовершенство аэродинамической структуры сушильных устройств приводит к образованию застойных зон, где процесс тепло- и массообмена протекает менее интенсивно. Это вызывает неравномерность сушки по объему материала, что отрицательно сказывается на его дальнейшей переработке и качестве готовой продукции. В современных условиях особую актуальность приобретает задача повышения

энергоэффективности технологических процессов, в том числе процессов сушки. Значительная часть энергозатрат в хлопкоперерабатывающей промышленности приходится именно на сушильные установки. Поэтому их модернизация и оптимизация являются важными направлениями научных исследований.

В связи с этим актуальной задачей является совершенствование модели конвективного сушильного устройства с учетом аэродинамических, теплотехнических и эксплуатационных факторов. Особое внимание уделяется обеспечению равномерного распределения воздушного потока, снижению тепловых потерь, оптимизации режима сушки и внедрению автоматизированных систем управления процессом. Целью данной работы является разработка и исследование усовершенствованной модели конвективного сушильного устройства, обеспечивающей повышение эффективности процесса сушки хлопка-сырца, снижение энергозатрат и улучшение качества конечного продукта.

Теоретические основы процесса сушки

Конвективная сушка является одним из наиболее распространённых методов удаления влаги из капиллярно-пористых материалов, к которым относится хлопок-сырец. Данный процесс основан на передаче тепловой энергии от нагретого теплоносителя (воздуха) к влажному материалу с последующим испарением влаги и её удалением в окружающую среду.

Физическая сущность процесса заключается в одновременном протекании двух взаимосвязанных явлений:

теплообмена — передача тепла от воздуха к поверхности и внутренним слоям материала;

массообмена — перенос влаги из внутренних слоёв к поверхности и её испарение.

Основной движущей силой процесса являются градиенты температуры и влажности, которые обеспечивают направленное движение тепла и влаги.

Уравнение теплового баланса

Процесс сушки описывается уравнением теплового баланса:

$$Q_{\text{подв}} = Q_{\text{исп}} + Q_{\text{пот}}$$

где: $Q_{\text{подв}}$ — подведённая теплота;

$Q_{\text{исп}}$ — теплота, затраченная на испарение влаги;

$Q_{\text{пот}}$ — тепловые потери в окружающую среду.

Количество теплоты на испарение влаги

Количество теплоты, необходимое для испарения влаги, определяется по формуле:

$$Q_{\text{исп}} = r \cdot m$$

где: r — удельная теплота парообразования влаги (Дж/кг);

m — масса испаряемой влаги (кг).

Интенсивность теплообмена

Передача тепла от воздуха к материалу определяется законом Ньютона–Рихмана:

$$Q = a \cdot F \cdot \left(T_{\text{возд}} \cdot T_{\text{мат}}\right)$$

где: a — коэффициент теплоотдачи (Вт/м²·К);

F — площадь поверхности теплообмена (м²);

$T_{\text{возд}}$— температура воздуха;

$T_{\text{мат}}$— температура материала.

Массообмен и скорость сушки

Скорость удаления влаги определяется выражением:

$$W = k \cdot \left(X - X_{\text{равн}}\right)$$

где: W — скорость сушки;

k — коэффициент массоотдачи;

X — текущая влажность материала;

$X_{\text{равн}}$— равновесная влажность.

Особенности сушки хлопка-сырца

Хлопок-сырец обладает сложной пористой структурой, что существенно влияет на процесс сушки:

воздух проникает в слои материала неравномерно;

внутреннее сопротивёление переносу влаги достаточно высоко;

возможно образование зон с различной температурой и влажностью.

Неравномерное распределение воздушного потока в сушильной камере приводит к образованию локальных перегретых зон. В этих зонах происходит пересушивание волокна, что вызывает ухудшение его прочностных и технологических характеристик. В других участках, наоборот, процесс сушки замедляется, что приводит к неравномерности конечной влажности.

Влияние параметров процесса

На эффективность конвективной сушки влияют следующие основные параметры:

температура сушильного агента;

скорость движения воздуха;

начальная влажность материала;

толщина слоя хлопка;

равномерность распределения воздушного потока.

Оптимизация этих параметров позволяет значительно повысить интенсивность сушки, снизить энергозатраты и обеспечить равномерное качество продукции.

Таким образом, теоретический анализ показывает, что повышение эффективности процесса сушки возможно за счёт:

улучшения аэродинамики сушильной камеры;

равномерного распределения воздушного потока;

оптимизации режимов тепло- и массообмена;

снижения тепловых потерь.

Проблемы существующих сушильных устройств

Проведённый анализ действующих сушильных установок, применяемых в хлопкоперерабатывающей промышленности, показал наличие ряда существенных недостатков, которые отрицательно влияют на эффективность технологического процесса. В первую очередь следует отметить неравномерное распределение воздушного потока в рабочей камере. Данный фактор приводит к тому, что в отдельных зонах создаются условия перегрева, тогда как в других участках процесс сушки протекает замедленно. В результате нарушается равномерность удаления влаги из хлопка-сырца.

Существенной проблемой является также недостаточная циркуляция воздуха внутри сушильного устройства. Отсутствие эффективного перемешивания и направленного движения воздушных потоков приводит к образованию застойных зон, в которых тепло- и массообмен протекают с низкой интенсивностью. Это снижает общую производительность оборудования и увеличивает продолжительность технологического процесса.

Дополнительным недостатком является отсутствие или недостаточная эффективность систем автоматического контроля и регулирования параметров сушки. В большинстве традиционных установок контроль температуры и влажности осуществляется не в полном объёме или с запаздыванием, что не позволяет оперативно реагировать на изменения условий процесса. В результате возникают отклонения от оптимальных режимов, что негативно сказывается как на энергопотреблении, так и на качестве готовой продукции.

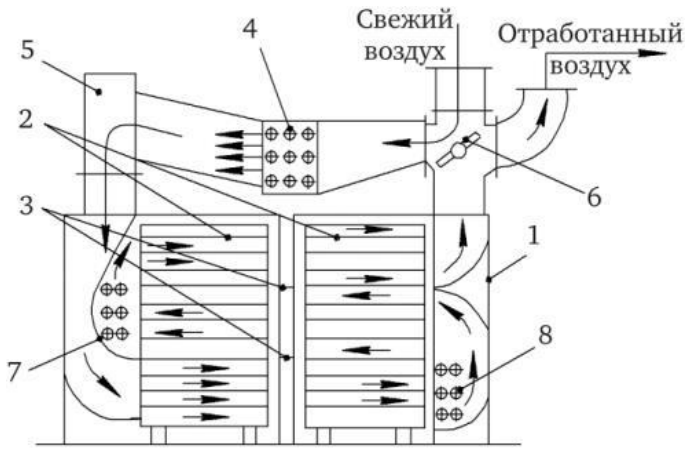
Кроме того, значительные теплопотери через корпус сушильного устройства остаются одной из ключевых проблем. Недостаточная теплоизоляция конструктивных элементов приводит к утечке тепловой энергии в окружающую среду, что снижает коэффициент полезного действия установки. Это, в свою очередь, требует дополнительных затрат энергии для поддержания необходимого температурного режима.

Указанные недостатки в совокупности приводят к ряду негативных последствий. В частности, увеличивается продолжительность процесса сушки, что снижает производительность оборудования. Одновременно возрастает перерасход энергетических ресурсов, что повышает себестоимость переработки хлопка-сырца. Кроме того,

неравномерное тепловое воздействие вызывает ухудшение механических свойств волокна, включая снижение прочности и эластичности, что негативно отражается на качестве конечной продукции. Таким образом, существующие сушильные устройства требуют существенной модернизации, направленной на улучшение аэродинамических характеристик, повышение эффективности теплообмена и внедрение современных систем автоматического управления процессом сушки.

Предлагаемая модель конвективного сушильного устройства

В данной работе предложена усовершенствованная модель конвективного сушильного устройства, направленная на повышение эффективности процесса сушки хлопка-сырца за счёт улучшения аэродинамических характеристик, оптимизации теплообмена и внедрения элементов автоматического регулирования.



Основу конструкции составляет рабочая камера (1), внутри которой размещается слой хлопка (3). В отличие от традиционных устройств, в данной модели особое внимание уделено равномерному распределению воздушного потока по всему объёму материала. Это достигается за счёт применения системы направляющих каналов (2) и распределительных элементов. Нагрев воздуха осуществляется в теплогенераторе (5), после чего он подаётся в систему через вентилятор (7), обеспечивающий необходимую скорость и давление потока. Далее нагретый воздух проходит через диффузор (4), который выполняет функцию равномерного распределения потока по сечению камеры. Использование диффузоров позволяет устранить турбулентные зоны и снизить локальные перепады скорости.

Одной из ключевых особенностей предлагаемой модели является организация управляемого движения воздуха внутри камеры. Поток направляется через слой хлопка (3) таким образом, чтобы обеспечить максимальный контакт теплоносителя с материалом. Это способствует интенсификации процессов тепло- и массообмена, а также ускоряет испарение влаги.

Отработанный воздух частично удаляется через выходной канал (8), а частично возвращается в систему с помощью рециркуляции. Регулирование соотношения свежего и отработанного воздуха осуществляется с помощью заслонки (6). Это позволяет:

снизить тепловые потери;

повысить энергетическую эффективность;

стабилизировать температурный режим в камере.

Дополнительно в конструкции предусмотрена возможность установки датчиков температуры и влажности, что позволяет реализовать автоматическую систему управления процессом. В зависимости от показаний датчиков изменяются параметры работы вентилятора и теплогенератора, обеспечивая оптимальные условия сушки.

Аэродинамическое совершенствование конструкции является одним из ключевых факторов повышения эффективности устройства. В предлагаемой модели реализованы следующие решения:

применение диффузоров и распределителей воздуха, обеспечивающих равномерное распределение потока;

оптимизация геометрии воздушных каналов, позволяющая снизить гидравлическое сопротивление;

устранение застойных зон и вихревых образований в рабочей камере;

выравнивание скорости воздушного потока по всему объёму материала.

Равномерное распределение воздуха позволяет избежать локального перегрева хлопка и обеспечивает одинаковые условия сушки для всех участков материала. Это, в свою очередь, повышает качество конечного продукта и снижает вероятность повреждения волокон.

Результаты исследования

Проведённые экспериментальные и расчётно-теоретические исследования подтвердили высокую эффективность предложенной модели конвективного сушильного устройства. Сравнительный анализ с традиционными сушильными установками показал, что внедрение усовершенствованной аэродинамической схемы, системы рециркуляции воздуха и элементов автоматического управления позволяет существенно улучшить основные технико-экономические показатели процесса сушки хлопка-сырца.

В частности, установлено, что применение разработанной модели способствует сокращению продолжительности процесса сушки в среднем на **15–25%**, что обусловлено интенсификацией тепло- и массообменных процессов за счёт равномерного распределения воздушного потока по всему объёму материала. Это обеспечивает более эффективное удаление влаги как с поверхности, так и из внутренних слоёв хлопка.

Одновременно наблюдается снижение энергопотребления на **20–30%**, что достигается благодаря уменьшению тепловых потерь, рациональному использованию тепловой энергии и внедрению системы частичной рециркуляции отработанного воздуха. Повышение энергоэффективности подтверждается ростом коэффициента использования тепла, что свидетельствует о более полном использовании подведённой энергии в процессе испарения влаги. Результаты экспериментов также показали значительное улучшение равномерности распределения остаточной влажности в объёме материала. Это исключает наличие пересушенных и недосушенных зон, что является важным фактором для обеспечения стабильного качества продукции на последующих этапах переработки.

Особое значение имеет сохранение механических свойств хлопкового волокна. За счёт устранения локальных перегревов и оптимизации температурного режима удаётся предотвратить повреждение структуры волокна, сохранить его прочность, эластичность и технологические характеристики.

Таким образом, полученные результаты подтверждают, что предложенная модель конвективного сушильного устройства обеспечивает комплексное повышение эффективности процесса сушки, включая сокращение времени обработки, снижение энергозатрат и улучшение качества конечного продукта.

Заключение

Таким образом, результаты проведённого исследования подтверждают, что усовершенствование модели конвективного сушильного устройства является эффективным направлением повышения производительности и энергоэффективности процесса сушки хлопка-сырца. Предложенные конструктивные и технологические решения, основанные на оптимизации аэродинамических параметров, улучшении теплообмена и внедрении элементов автоматического управления, позволяют устранить основные недостатки существующих сушильных установок. Установлено, что реализация разработанной модели обеспечивает стабильность теплового режима в рабочей камере, что способствует равномерному протеканию процессов тепло- и массообмена. Это, в свою очередь, приводит к снижению энергозатрат за счёт более рационального использования подводимой тепловой энергии и уменьшения тепловых потерь.

Кроме того, достигается повышение качества готовой продукции, выражающееся в сохранении механических свойств хлопкового волокна, равномерности остаточной влажности и предотвращении локального перегрева материала. Это имеет важное значение для последующих этапов переработки и повышения конкурентоспособности продукции.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанная модель может быть внедрена в хлопкоперерабатывающей промышленности в качестве основы для создания современных энергоэффективных сушильных установок. Предлагаемый подход также может быть адаптирован для сушки других видов сельскохозяйственного сырья, обладающего схожими физико-механическими свойствами.

Таким образом, полученные результаты имеют как теоретическую, так и практическую ценность и могут служить основой для дальнейших исследований в области совершенствования процессов конвективной сушки и повышения их энергетической эффективности.

Список литературы

[1]. Каримов Х.Х. Переработка хлопкового сырья. – Ташкент: Наука, 2012. – 356 с.
[2]. Абдурагимов А.А. Процессы сушки хлопка и оборудование. – Ташкент: Учитель, 2015. – 240 с.
[3]. Захидов Р.А. Основы тепло- и массообмена. – Ташкент: Наука и техника, 2018. – 310 с.
[4]. Расулов А.М. Технология сушки сельскохозяйственной продукции. – Ташкент, 2016. – 275 с.
[5]. Исматуллаев И.И. Энергоэффективность конвективных сушильных устройств // Техника и наука. – 2022. – №2. – С. 88–94.
[6]. I. A. Muhammadjonova, “Heat and mass transfer analysis in convective cotton drying chambers,” *Journal of Thermal Engineering*, 2023.
[7]. I. A. Muhammadjonova, “Mathematical model of vertical drying of raw cotton in hot airflow,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2388, 012028, 2022.

ЭЛЕКТР ДВИГАТЕЛЛАРДА УЧРАЙДИГАН АСОСИЙ НОСОЗЛИКЛАР ТАҲЛИЛИ

Н.О. Атауллаев, Д.Ф. Низомова

Навоий давлат кончилик ва технологиялар университети
**Масъул муаллиф, E-mail: nizomovad@inbox.ru*
(Қабул қилинди 15.06.2026 й.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada sanoat korxonalarida keng qo‘llaniladigan elektr dvigatellarda uchraydigan asosiy nosozliklar tahlil qilingan. Stator chulg‘amlaridagi nuqsonlar, rotor sterjenlarining sinishi, podshipnik nosozliklari, eksantriklik hamda elektr ta'minoti parametrlarining buzilishi natijasida yuzaga keladigan texnik va energetik muammolar o‘rganilgan. Mazkur nosozliklarning elektr dvigatelning foydali ish koeffitsienti, quvvat sarfi, elektromagnit momenti, qizish darajasi va ekspluatatsion ishonchliligiga ta'siri tahlil qilingan. Elektr dvigatellarda uchraydigan nosozliklarning kelib chiqish sabablari, rivojlanish mexanizmlari hamda ularning asosiy diagnostik belgilari ko‘rib chiqilgan.*

Shuningdek, vibratsion, termografik, akustik va tok signallari asosidagi zamonaviy diagnostika usullari tahlil qilinib, ularning afzalliklari va kamchiliklari baholangan. Elektr dvigatellarning texnik holatini baholashda tok signallarining spektral tahliliga asoslangan diagnostika usulining imkoniyatlari yoritilgan. Tadqiqot natijalari elektr dvigatellarda yuzaga keladigan nosozliklarni erta aniqlash, avariyaviy holatlarning oldini olish, ekspluatatsion xarajatlarni kamaytirish va energiya samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega ekanligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: *elektr dvigatel, stator, rotor, podshipnik, eksantriklik, diagnostika, nosozlik, energiya samaradorligi.*

1.Кириш

Ҳозирги вақтда электр двигателлари саноат корхоналари, кончилик мажмуалари, транспорт тизимлари, қишлоқ хўжалиги ҳамда коммунал соҳаларда кенг қўлланилади. Улар насослар, вентиляторлар, компрессорлар, конвейерлар ва турли технологик қурилмаларнинг асосий ҳаракатлантирувчи манбаи ҳисобланади. Жаҳон энергетикаси статистик маълумотларига кўра, ишлаб чиқарилаётган электр энергиясининг 60 % дан ортиғи электр юритмалар томонидан истеъмол қилинади. Шу сабабли электр двигателларининг ишончли ишлашини таъминлаш, энергия сарфини камайтириш ва уларнинг самарадорлигини ошириш муҳим илмий-амалий масалалардан бири ҳисобланади.

Электр двигателлар узоқ муддат ишлаш жараёнида механик, электр ва магнит характердаги турли носозликларга дуч келади. Бундай носозликлар статор чулғамларининг қизиши, ротор элементларининг шикастланиши, подшипникларнинг ейилиши, эксцентриситет ҳамда электр таъминоти параметрларининг бузилиши натижасида юзага келиши мумкин.

Натижада двигателнинг қувват йўқотишлари ортади, фойдали иш коэффициенти пасаяди, қизиш даражаси кучаяди ва авариявий тўхташ ҳолатлари содир бўлади. Шунинг учун электр двигателларнинг техник ҳолатини мунтазам назорат қилиш ва носозликларни дастлабки босқичда аниқлаш долзарб масала ҳисобланади.

2. Электр двигателларда учрайдиган носозликларнинг классификацияси

Электр двигателлардаги носозликларни учта асосий гуруҳга ажратиш мумкин. Булар электр носозликлари, механик носозликлари ҳамда магнит носозлик.

Ушбу носозликлар двигательнинг ишончли ишлашига, фойдали иш коэффициентига, қизишига, вибрациясига ва умумий техник ҳолатига бевосита таъсир кўрсатади.

Электр носозликлари двигательнинг электр қисмида, яъни статор чулғами, фазалар ва изоляция тизимида юзага келадиган бузилишлар билан боғлиқ. Бундай носозликларга статор чулғами нуқсонлари, фазалараро қисқа туташув, фаза узилиши ва изоляция емирилиши киради. Статор чулғами нуқсонлари чулғам ўрамларининг шикастланиши ёки қизиши натижасида пайдо бўлади. Фазалараро қисқа туташув эса икки фаза орасида изоляция бузилиб, токнинг меъёрдан ортиқ оқишига сабаб бўлади. Фаза узилишида двигатель тўлиқ уч фазали режимда ишлай олмайди, натижада токлар носимметрик бўлади ва двигатель қизиб кетиши мумкин. Изоляция емирилиши эса узоқ муддатли эксплуатация, юқори ҳарорат ёки намлик таъсирида юзага келиб, қисқа туташув хавфини оширади.

Механик носозликлар двигательнинг ҳаракатланувчи ва айланувчи қисмларида пайдо бўладиган бузилишлардир. Уларга подшипник ейилиши, ротор номўзанатлиги, вал эгилиши ва муфта носозликлари киради. Подшипник ейилиши двигательда шовқин ва вибрациянинг ортишига олиб келади. Ротор номўзанатлиги айланиш жараёнида марказдан қочма кучларнинг нотекис тақсимланишига сабаб бўлиб, двигатель корпусида тебраниш ҳосил қилади. Вал эгилиши роторнинг тўғри айланмаслигига олиб келади ва подшипникларга қўшимча юклама туширади. Муфта носозликлари эса двигатель билан ишчи механизм орасидаги механик боғланишнинг бузилиши натижасида пайдо бўлади.

Магнит носозликлар двигатель ичидаги электромагнит жараёнларнинг бузилиши билан боғлиқ. Бундай носозликларга ротор стерженлари синиши, эксцентриклик ва магнит майдон носимметрияси киради. Ротор стерженлари синиши асинхрон двигательларда ротор токларининг нотўғри тақсимланишига сабаб бўлади ва моментнинг пасайишига олиб келади. Эксцентриклик ротор ва статор орасидаги ҳаво бўшлиғининг бир хил бўлмаслиги натижасида юзага келади. Бу ҳолат магнит майдоннинг нотекис тақсимланишига ва вибрациянинг ортишига олиб келади. Магнит майдон носимметрияси эса фазалардаги ток ёки кучланиш носимметрияси, статор ёки ротордаги нуқсонлар сабабли пайдо бўлиб, двигательнинг барқарор ишлашига салбий таъсир кўрсатади.

Статор чулғами носозликлари.Статор носозликлари электр двигателлардаги энг хавфли носозликлардан бири ҳисобланади. Тадқиқотлар натижасига кўра, статор билан боғлиқ носозликлар барча носозликларнинг 25–35 % қисмини ташкил қилади. Статор носозликларининг асосий сабаблари сифатида изоляциянинг қариши,ортиқча қизиш, намлик таъсири, кучланиш сакрашлари, механик тебранишларни мисол қилиш мумкин.

Статор чулғамларидаги нуқсонлар ўрамлараро қисқа туташув, фазалараро қисқа туташув, фазанинг корпусга туташуви, чулғам узилиши каби носозликларга сабаб бўлиши мумкин. Бу каби нососликлар қувват йўқотишларини келтириб чиқаради.

Статор чулғамларидаги актив қувват йўқотишлари қуйидагича аниқланади:

$$P_{CU} = I^2R \qquad (1.1)$$

Бу ерда:
PC_1 — мисдаги қувват йўқотилиши, W;
I — фаза токи, A;
R — чулғам қаршилиги , Om.
Токнинг ортиши натижасида чулғамларнинг қизиши ортади ва изоляция хизмат муддати қисқаради.

3. Ротор носозликлари ва уларнинг электр двигател ишлашига таъсири.

Ротор асинхрон электр двигателнинг асосий қисми ҳисобланади. Ротор элементларида юзага келадиган носозликлар электромагнит моментнинг камайишига, вибрациянинг ортишига ва энергия самарадорлигининг пасайишига олиб келади.

Ротор носозликларининг асосий турларига қуйидагилар мисол бўлади ротор стерженларининг синиши, ротор ҳалқаларининг шикастланиши, ротор қисмларининг бўшашиши, ротор номувозанатлиги.

Ротор стерженларининг синиши электр двигателларда кўп учрайдиган носозликлардан биридир. Бундай носозликлар одатда оғир ишга тушириш режимлари, зарбали юкламалар, термик кучланишлар ёки ишлаб чиқариш нуқсонлари натижасида юзага келади.Ротор стерженлари синганда магнит майдон симметрияси бузилади ва статор токида қўшимча гармоникалар ҳосил бўлади. Ротор носозликлари давом этиши натижасида двигателнинг фойдали иш коэффициенти камаяди ва энергия сарфи ортади. Ротор носозликларида пайдо бўладиган характерли частоталар:

$$f = f_1(1 \pm 2s) \qquad (2.2)$$

бу ерда:
f_1 — тармоқ частота, Hz;
s — сирпаниш.
Ушбу частоталарнинг пайдо бўлиши ротор носозлигининг муҳим диагностик белгиси ҳисобланади.

4. Подшипник носозликлари таҳлили.

Электр двигателлардаги носозликларнинг 40–50 фоизи подшипниклар билан боғлиқ. Подшипник носозликларининг асосий сабаблари мойлаш тизимининг бузилиши, чанг ва намлик кириши;механик зарбалар, нотўғри монтаж ва энг асосийси ортиқча юклама. Подшипникларнинг шикастланиши натижасида ротор маркази силжийди ва электромагнит майдон нотекис тақсимланади.
Подшипник носозликлари вибрациянинг ортишига олиб келади. Вибрация даражаси қуйидагича ифодаланади:

$$X_{ўкқ} = \sqrt{\frac{1}{N\sum_{i=1}^{N} x_i^2}} \qquad (2.3)$$

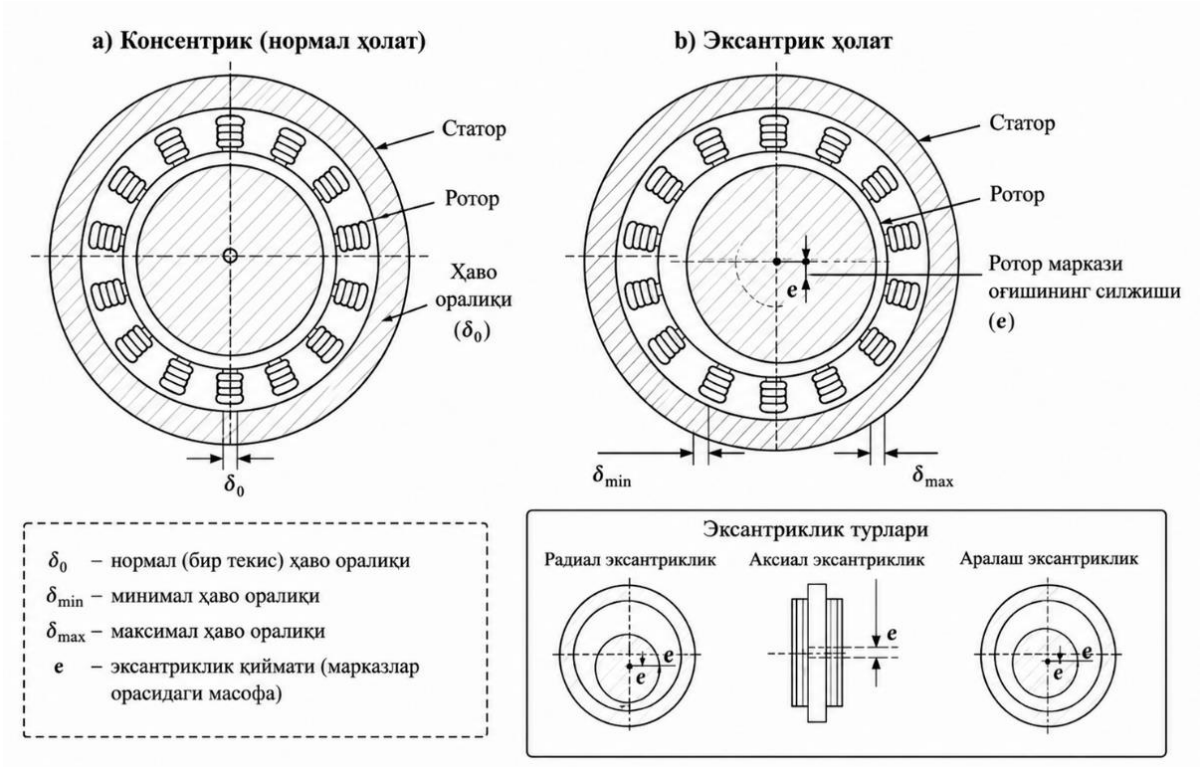
бу ерда:

- $Xўк$ — вибрациянинг ўртача квадратик қиймати;
- x_i — вибрация сигнали қиймати;
- **N** — ўлчаш нуқталари сони.

Подшипник носозликлари ривожланган сари вибрация амплитудаси ва ток сигналидаги гармоникалар сони ортади.

5. Эксантриклик носозликлари

Ротор ва статор орасидаги ҳаво оралиғининг нотекис тақсимланиши эксантриклик деб аталади. Эксантрикликнинг статик эксантриклик, динамик эксантриклик, аралаш эксантриклик турлари мавжуд.



1-расм. Ротор ва статор орасидаги эксантриклик.

Статик эксантрикликда ротор маркази айланиш ўқига нисбатан силжиган бўлади. Динамик эксантрикликда эса ротор айланиш жараёнида нотекис ҳаракат қилади.

Эксантриклик натижасида электромагнит тортиш кучлари ортади, подшипникларга тушадиган юклама кўпаяди ва буни оқибатида вибрация кучаяди. Шунингдек энергия йўқотишлари ортади. Эксантриклик моментнинг тебранишига олиб келади ва механик қисмларнинг ейилишини тезлаштиради.

Электромагнит момент қуйидагича ифодаланади:

$$M = \frac{P_2}{\omega} \qquad (2.4)$$

Бу ерда:

M — электромагнит момент;

P_2 — фойдали қувват;

ω — бурчак тезлик.

6. Двигателларда юзага келадиган носозликларни диагностика қилиш усуллари

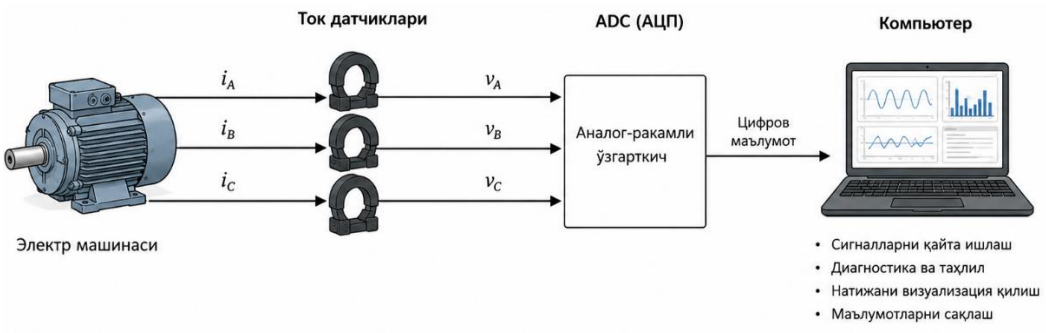
Электр двигателларидаги носозликларнинг статистик тақсимоти подшипник ва статор носозликлари электр двигателларнинг энг заиф қисмлари эканлигини кўрсатади. Двигателларда юзага келадиган носозликларнинг ўз вақтида аниқланмаслиги ишлаб чиқариш жараёнининг тўхтаб қолишига, таъмирлаш харажатларининг ортишига ҳамда электр энергияси сарфининг кўпайишига олиб келади. Анъанавий эксплуатация усулларида электр двигателлар фақат авария содир бўлгандан кейин таъмирланади. Бундай ёндашув корхона учун катта иқтисодий зарар келтиради. Шу сабабли замонавий саноатда профилактик ва предиктив техник хизмат кўрсатиш тизимларига катта эътибор қаратилиши зарур.

Диагностика тизимларининг асосий вазифалари носозликларни дастлабки босқичда аниқлаш, авариявий тўхташларнинг олдини олиш, таъмирлаш харажатларини камайтириш, электр энергиясидан самарали фойдаланиш, электр двигателнинг хизмат муддатини узайтириш дан иборат.Техник диагностика натижасида электр двигателнинг жорий ҳолати баҳоланади ва унинг кейинги ишлаш имконияти аниқланади.

Ҳозирги вақтда электр двигателларни диагностика қилишнинг бир нечта усуллари мавжуд.

- Вибрацион диагностика
- Термографик диагностика
- Акустик диагностика
- Ток сигналлари асосидаги диагностика

Сўнгги йилларда энг истиқболли йўналишлардан бири ток сигналлари асосидаги диагностика ҳисобланади. Ушбу усулнинг асосий афзалликлари шундан иборатки двигателни тўхтатишни талаб қилмайди, қўшимча механик датчиклар керак эмас, эксплуатация жараёнида амалга оширилади ҳамда автоматлаштириш имконияти юқори.



2-расм. Ток сигналлари асосида диагностика қилиш тизими.

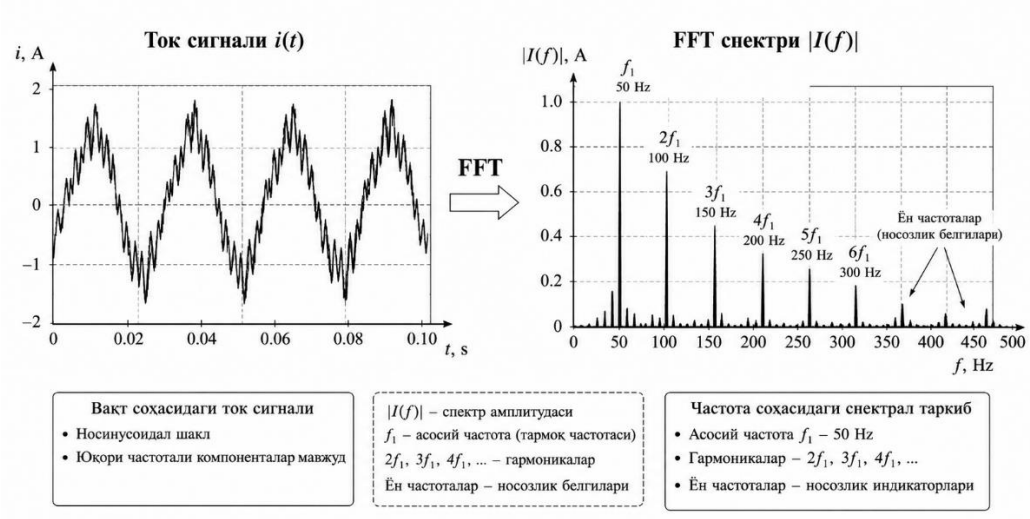
7. Ток сигналларининг спектрал таҳлили асосида диагностика. Электр двигателнинг истеъмол токи нафақат юклама ҳақида, балки унинг техник ҳолати ҳақида ҳам муҳим маълумотларни ўзида мужассамлаштиради.Соз ҳолатдаги электр двигателда ток сигнали асосан асосий частота ва унинг гармоникаларидан ташкил топади.

Ток сигнали умумий ҳолда қуйидагича ифодаланади:

- $i(t) = I_m sin(2\pi ft) + \sum_{k=1}^{n} I_k sin(2\pi f_k t)$ (2.5)

- I_m — асосий ток амплитудаси;
- f — тармоқ частотаси;
- I_k — гармоникалар амплитудаси;
- f_k — қўшимча частоталар.

Носозлик пайдо бўлганда ток спектрида қўшимча компоненталар ҳосил бўлади.

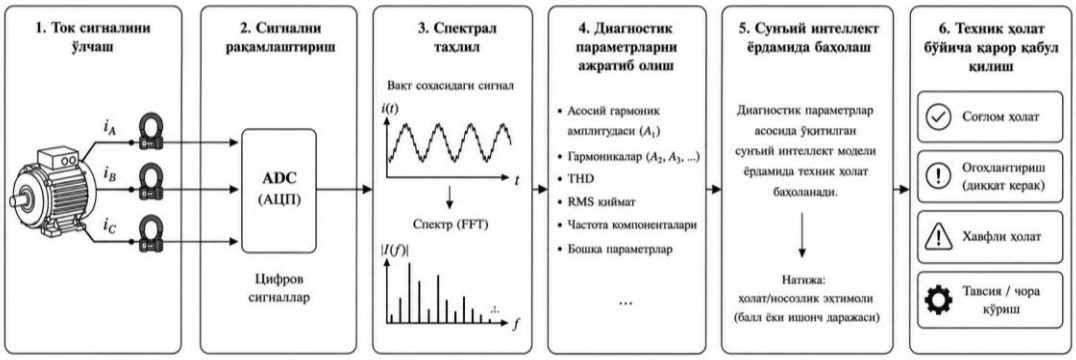


3-расм. Ток сигналининг спектрал таркиби.

Спектрал таҳлил одатда тезкор Фуре ўзгартириши (FFT) ёрдамида амалга оширилади. FFT алгоритми вақт бўйича олинган сигнални частота соҳасига ўтказади ва ундаги яширин компоненталарни аниқлаш имконини беради. Ротор стерженлари синган ҳолатда ток спектрида ён частоталар пайдо бўлади, подшипник носозликларида эса юқори частотали компоненталар ортади. Шунинг учун ток спектри электр двигателнинг техник ҳолатини баҳолашнинг муҳим диагностик белгиси ҳисобланади.

8. Замонавий интеллектуал диагностика тизимлари

Рақамли технологияларнинг ривожланиши натижасида электр двигателлар диагностикасида интеллектуал усуллар кенг қўлланила бошлади. Интеллектуал тизимлар носозликларни автоматик аниқлаш имконини берали, носозлик турини классификациялайди, носозлик ривожланишини прогнозлаш ҳамда техник хизмат кўрсатиш вақтини белгилайди.



4-расм. Интеллектуал диагностика тизими.

Интеллектуал диагностика тизими қуйидаги босқичлардан ташкил топади:
1. Ток сигналини ўлчаш.
2. Сигналини рақамлаштириш.
3. Спектрал таҳлил.
4. Диагностик параметрларни ажратиб олиш.
5. Сунъий интеллект ёрдамида баҳолаш.
6. Техник ҳолат бўйича қарор қабул қилиш.

9.Хулоса

Электр двигателларда учрайдиган асосий носозликлар статор чулғами нуқсонлари, ротор стерженларининг синиши, подшипник носозликлари, эксантриклик ва электр таъминоти параметрларининг бузилиши билан боғлиқ эканлиги аниқланди. Ушбу носозликлар электр двигателнинг энергетик кўрсаткичларини ёмонлаштиради, фойдали иш коэффициентини пасайтиради ҳамда авариявий ҳолатларнинг юзага келиш хавфини оширади. Носозликларни аниқлашнинг вибрацион, термографик, акустик ва ток сигналлари асосидаги замонавий усуллари таҳлил қилинди. Ток сигналларининг спектрал таҳлилига асосланган диагностика усули электр двигател конструкциясига аралашмасдан техник ҳолатни баҳолаш имконини бериши билан бошқа усуллардан ажралиб туради. Келгусида электр двигателларнинг техник ҳолатини баҳолашда ток сигналларининг адаптив спектрал таҳлили ва сунъий интеллект алгоритмларидан фойдаланиш диагностика аниқлигини ошириш ҳамда носозликларни эрта босқичда аниқлаш имконини беради.

Адабиётлар

[1]. Копылов И.П. Электрические машины. Учебник для вузов. — М.: Высшая школа, 2000.
[2]. Москаленко В.В. Электрический привод. Учебник для вузов. — М.: Академия, 2007.
[3]. Беспалов В.Я., Котеленец Н.Ф. Электрические машины. Учебник для вузов. — М.: Академия, 2013.
[4]. Benbouzid M.E.H. A Review of Induction Motors Signature Analysis as a Medium for Fault Detection // IEEE Transactions on Industrial Electronics. — 2000. — Т.47. — №5. — С.984–993.
[5]. Nandi S., Toliyat H.A., Li X. Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Motors — A Review // IEEE Transactions on Energy Conversion. — 2005. — Т.20. — №4. — С.719–729.
[6]. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. — Cambridge: MIT Press, 2016.
[7]. Амиров С.Ф., Болтаев О., Нуриддинова Ш. Нелинейная динамическая модель магнитомодуляционного преобразователя тока // Научный журнал «Universum: технические науки». Москва, 2020. № 7(76). С. 66–70.

УДК 538.911, 935, 958, 975

АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ С ПЕРЕМЕННЫМ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕМ

А.А. Шавазов[1], Д.А. Ишанова[1], Б.Б. Тухтаев[1] Х.Ш. Неъматжанов[2*]

[1] Институт проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан
[2] Ферганский государственный технический университет
**Автор для корреспонденции, e-mail: hikmatillanematjonov2123@gmail.com*
(Получена 16.04.2026 г.)

Аннотация. *В статье рассматриваются вопросы анализа и оптимизации гидравлических режимов работы насосной станции в условиях переменного водопотребления. Показано, что неравномерность нагрузки приводит к отклонению рабочих точек насосов от области максимального коэффициента полезного действия и, как следствие, к увеличению энергопотребления.*

Разработана математическая модель трубопроводной системы, учитывающая статический напор и гидравлические потери, представленные в виде квадратичной зависимости от расхода. Статический напор определён косвенным методом на основе анализа экспериментальных данных. Насосная характеристика аппроксимирована квадратичной зависимостью по паспортным данным.

Предложен подход к оптимизации режимов работы насосной станции, основанный на совместном учёте характеристик насоса и трубопроводной сети, а также использовании частотного регулирования. В качестве критерия оптимальности принята минимизация суммарного энергопотребления.

На основе разработанной имитационной модели, реализованной в MATLAB/Simulink, показано, что применение частотного регулирования с оптимизацией режима работы позволяет снизить энергопотребление насосной станции на 10–15 % по сравнению с нерегулируемым режимом.

Полученные результаты подтверждают эффективность комплексного учёта гидравлических и энергетических характеристик при управлении насосными станциями.

Ключивые слова*: гидравлический режим, насосная станция, переменное водопотребление, напорно-расходная характеристика, гидравлические потери, статический напор, частотное регулирование, энергоэффективность, оптимизация, MATLAB/Simulink.*

Введение

Современные системы водоснабжения характеризуются переменностью водопотребления, в результате возникают дополнительные потери энергии, связанные с отклонением рабочих точек насосов от области максимального коэффициента полезного действия.

В большинстве существующих решений основное внимание уделяется электрическим аспектам регулирования, тогда как гидравлические процессы, определяющие эффективность работы насосов, учитываются недостаточно.

В связи с этим актуальной задачей является исследование гидравлических режимов насосных станций и разработка методов их оптимизации с учетом переменного характера водопотребления.

Литературный обзор

Анализ гидравлических режимов насосных станций является одной из ключевых задач в области механики жидкостей и эксплуатации систем водоснабжения. Классические подходы к описанию движения жидкости в напорных трубопроводах основаны на уравнениях сохранения энергии и импульса, в частности на уравнение Бернулли и эмпирических зависимостях для расчёта потерь напора [1]. Наиболее широкое применение для оценки потерь на трение получила формула формула Дарси–Вейсбаха, позволяющая учитывать влияние длины трубопровода, диаметра и режима течения.

В работах, посвящённых моделированию насосных установок, показано, что характеристика трубопроводной сети в установившемся режиме может быть представлена в виде квадратичной зависимости напора от расхода, что соответствует турбулентному режиму течения при высоких значениях числа число Рейнольдса. При этом коэффициент гидравлического трения в развитом турбулентном режиме определяется преимущественно относительной шероховатостью труб и слабо зависит от изменения режима потока [2].

Исследования насосных агрегатов показывают, что их напорно-расходные характеристики также могут быть аппроксимированы квадратичными зависимостями, что упрощает анализ рабочих режимов и позволяет эффективно определять рабочую точку как пересечение характеристик насоса и сети [3]. При этом отклонение рабочей точки от области

максимального коэффициента полезного действия приводит к существенному росту энергопотребления [4].

В последние годы значительное внимание уделяется вопросам повышения энергоэффективности насосных станций за счёт применения регулируемых электроприводов. Использование частотного регулирования, основанного на законах подобия центробежных насосов, позволяет изменять характеристики насоса и адаптировать его работу к переменным условиям водопотребления. Однако в большинстве исследований основной акцент делается на электрических аспектах регулирования, тогда как гидравлическое поведение системы рассматривается упрощённо [5].

Таким образом, анализ существующих работ показывает, что несмотря на развитую теоретическую базу гидравлического расчёта и наличие методов регулирования насосных агрегатов, задача комплексного учёта взаимодействия характеристик насоса и трубопроводной сети в условиях переменного водопотребления остаётся недостаточно исследованной [6]. Это обуславливает необходимость разработки моделей и методов оптимизации, учитывающих гидравлические и энергетические параметры системы в их взаимосвязи.

Методология

Гидравлическая модель насосной станции

Одной из ключевых задач при моделировании работы насосных установок является корректное определение требуемого напора системы, поскольку именно он определяет рабочую точку агрегата, его энергетические показатели и характер регулирования. В общем случае требуемый напор формируется как сумма статической составляющей и потерь напора в трубопроводной сети [7]. При этом в реальных условиях эксплуатации геодезические отметки и распределение давлений часто недоступны для прямого измерения, что обусловливает необходимость определения статического напора на основе эксплуатационных данных.

Для формирования расчётной напорно-расходной характеристики трубопроводной системы получены параметры гидравлической сети, приведенные в таблице 2.6. С учётом статической составляющей напора, потерь на трение и местных сопротивлений гидравлическая характеристика сети в общем виде представляется квадратичной зависимостью напора от расхода.

Таблица 1. Параметры гидравлической сети насосной станции

Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.	Примечание
Длина трубопровода	L	1200	м	
Внутренний диаметр трубопровода	D	0,8	м	
Коэффициент гидравлического трения	λ	0,022	–	По формуле Дарси–Вейсбаха
Коэффициент местных сопротивлений	k_{local}	1,5	–	Задвижки, отводы и др.

Таким образом, требуемый напор трубопроводной системы представляется в виде:

$$H_{net} = H_{stat} + H_{loss}(Q) \quad (1)$$

где: H_{stat} - статический напор системы, не зависящий от расхода,

$H_{loss}(Q)$ - потери напора в трубопроводе.

Гидравлические потери напора в напорных трубопроводах при турбулентном режиме течения пропорциональны квадрату расхода:

$$H_{loss}(Q) = k_{net} \cdot Q2,$$

где k_{net} - обобщённый коэффициент гидравлического сопротивления сети.

Потери в трубопроводе по уравнению Дарси-Вейсбаха:

$$H_{loss} = \left(\lambda \cdot \left(\frac{L}{D}\right) + \sum \zeta\right) \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

Для расчета коэффициента гидравлического сопротивления сети производится моделирование гидравлического сопротивления трубопровода по уравнению Дарси–Вейсбаха:

$$\Delta H = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

где: λ - коэффициент гидравлического трения (зависит от режима потока и шероховатости стенок) безразмерный;

L - длина трубопровода (м);

D - внутренний диаметр трубопровода (м);

V - средняя скорость потока (м/с);

g - ускорение свободного падения (9,81 м/с²).

С учётом Q = V·A, можно выразить потерю напора как функцию расхода:

$$\Delta H = k \cdot Q^2 \quad (4)$$

При известном Q, скорость V определяется как:

$$V = \frac{Q}{A} = 4 \cdot \frac{Q}{\pi D^2} \quad (5)$$

где: Q - объёмный расход (м³/с),

A - площадь сечения трубы.

Для турбулентного режима течения сопротивление сети:

$$H_{loss} = H_{fr} + H_{loc}$$

где: H_{fr} - потери в трубопроводе на трение по формуле Дарси-Вейсбаха,

H_{loc} - местные сопротивления.

Получаем:

$$\begin{cases} H_{loss} = H_{fr} + H_{loc} \\ H_{fr} = \lambda \cdot \left(\frac{L}{D}\right) \cdot \frac{V^2}{2g} \\ H_{loc} = \Sigma\zeta \cdot \frac{V^2}{2g} \\ V = 4 \cdot Q/(\pi \cdot D^2) \end{cases} \quad (6)$$

где: λ - коэффициент гидравлического трения;

ζ - коэффициенты местных сопротивлений.

Подставляя параметры трубопровода в систему уравнений, находим коэффициент сопротивления:

$$k_{net} = \left(\lambda \cdot \left(\frac{L}{D}\right) + \sum \zeta\right) \cdot \frac{16}{2 \cdot g \cdot \pi^2 \cdot D^4}$$

$$k_{net} = 6{,}98 \text{ м}/(\text{м}^3/\text{с})^2$$

В рассматриваемом диапазоне расходов движение жидкости в трубопроводе характеризуется высокими значениями числа Рейнольдса (Re > 10^5). При этом число Рейнольдса изменяется ориентировочно в пределах $(3 \cdot 10^5 \div 1{,}6 \cdot 10^6)$, что соответствует развитому турбулентному режиму течения. В данной области коэффициент гидравлического трения λ определяется преимущественно относительной шероховатостью трубопровода и слабо зависит от числа Рейнольдса. В связи с этим в рамках настоящего исследования коэффициент λ принят постоянным, что не приводит к существенной погрешности при расчёте гидравлических потерь.

Статический напор определяется разностью геодезических отметок между источником и потребителем и характеризует минимальный напор, необходимый для подъёма воды по высоте [8]. В отличие от потерь напора, статический напор не зависит от расхода и

режима работы насосной установки и определяется исключительно геометрией системы и статическими давлениями.

Далее статический напор был определён косвенным методом на основе анализа экспериментальной зависимости требуемого напора от расхода. При этом предполагалось, что при малых расходах ($Q \to 0$) гидравлические потери, пропорциональные Q^2, становятся пренебрежимо малыми по сравнению со статическим напором, а при неизменной конфигурации трубопроводной сети значение статического напора остаётся постоянным. Также принималось, что экспериментальная зависимость требуемого напора от расхода может быть представлена в виде суммы постоянной и квадратичной составляющих [9]. С учётом указанных допущений статический напор оценивался по значениям требуемого напора при минимальных эксплуатационных расходах и дополнительно уточнялся путём аппроксимации экспериментальной зависимости.

На основании обработки экспериментальных данных получено значение статического напора:

$$H_{stat} = 21{,}16 \text{ м}$$

Полученное значение соответствует минимальным эксплуатационным значениям требуемого напора, обеспечивает согласование экспериментальных данных с математической моделью трубопроводной сети в рабочем диапазоне расходов и используется далее для определения рабочей точки насосной установки и построения насосной характеристики.

Требуемый напор трубопроводной системы будет иметь вид:

$$H_{net} = 21{,}16 + 6{,}98 \cdot Q^2 \quad (7)$$

Для определения рабочей точки насосной установки необходимо совместное рассмотрение характеристики трубопроводной сети и напорно-расходной характеристики насоса.

В результате проведённого анализа применение метода разложения требуемого напора на постоянную и расходозависимую составляющие позволило получить физически обоснованное значение статического напора. Полученная модель адекватно описывает поведение системы в рабочем диапазоне расходов и может быть использована для дальнейшего анализа режимов работы насосной установки, а также при разработке алгоритмов регулирования с применением преобразователя частоты.

Рабочая характеристика насоса может быть аппроксимирована с помощью квадратичной зависимости:

$$H(Q) = H_0 - a \cdot Q^2 \quad (8)$$

где: H_0 - максимальный напор при нулевом расходе (м);

a - эмпирический коэффициент, зависящий от геометрии насоса и среды;

Q - расход воды, м³/ч.

Коэффициенты H_0 и a определяются методом наименьших квадратов по паспортным данным:

Таблица 2. Исходные данные для аппроксимации

Q, м³/с	H_pump(Q), м	Q, м³/с	H_pump(Q), м
0,05	54,82	0,55	46,40
0,10	54,64	0,60	45,00
0,15	54,20	0,65	43,20
0,20	53,70	0,70	40,00
0,25	53,10	0,75	35,00
0,30	52,30	0,80	28,00
0,35	51,40	0,85	23,40
0,40	50,30	0,90	21,80
0,45	49,10	0,95	20,60
0,50	47,80	1,00	19,45

В результате аппроксимации получено:

$$H(Q) = 56{,}16 - 39{,}03 \cdot Q^2 \quad (9)$$

Влияние переменного водопотребления

В реальных системах водоснабжения расход воды постоянно изменяется во времени из-за суточной неравномерности потребления. Это приводит к смещению рабочей точки насоса и его работе вне области максимального КПД, что снижает энергетическую эффективность насосной станции. В связи с этим учет переменного водопотребления является важным для анализа и оптимизации режимов работы.

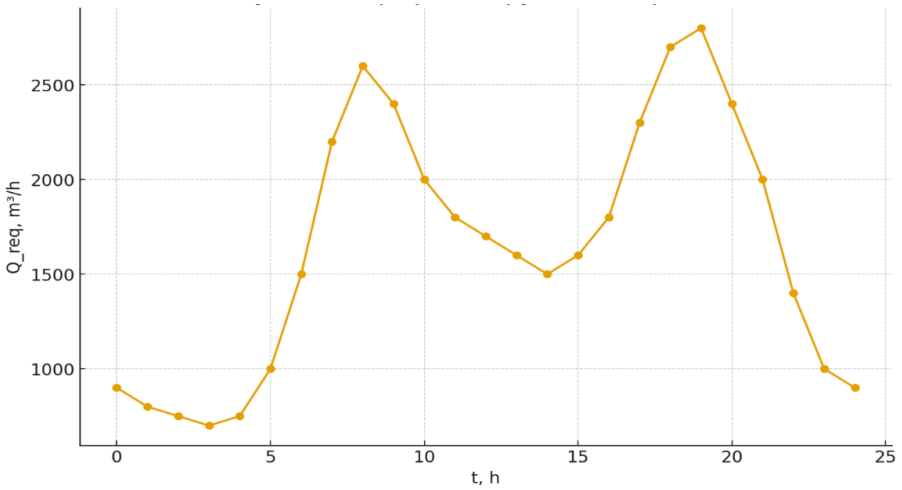


Рис. 2. Суточный график водопотребления.

В структуре суточного водопотребления чётко прослеживаются характерные колебания: график включает как периоды пиковых нагрузок, так и заметные провалы. Причём эти изменения носят регулярный, повторяющийся характер — что особенно важно учитывать при анализе режимов работы.

В условиях такой неравномерности насосное оборудование большую часть времени функционирует вне зоны максимального коэффициента полезного действия. Таким образом, переменный характер водопотребления приводит к необходимости адаптивного управления режимами работы насосной станции, что обусловливает постановку задачи оптимизации.

Оптимизация гидравлического режима

В отличие от традиционных подходов, ориентированных преимущественно на регулирование электрических параметров привода, предложенная постановка задачи учитывает взаимосвязь гидравлической характеристики сети и напорно-расходной характеристики насоса, что позволяет рассматривать систему как единый энергетический объект. При этом изменение частоты вращения электродвигателя приводит к трансформации характеристики насоса в соответствии с законами подобия, обеспечивая смещение рабочей точки вдоль характеристики сети. В условиях переменного водопотребления это позволяет адаптивно поддерживать режим работы, близкий к области максимального коэффициента полезного действия [10]. Реализация оптимизационного алгоритма в составе имитационной модели обеспечивает определение рационального закона изменения частоты *f(t)* и соответствующего расхода *Q(t),* при которых достигается снижение суммарных энергетических затрат при сохранении требуемых гидравлических параметров системы.

Мощность, потребляемая насосной установкой, определяется выражением:

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta} \quad (10)$$

где η — общий коэффициент полезного действия установки (насоса, электродвигателя и преобразователя частоты)

В целях повышения энергетической эффективности работы насосной станции задача оптимизации гидравлического режима формулируется в строгом математическом виде. В качестве критерия оптимальности принимается минимизация суммарного энергопотребления за заданный интервал времени, что может быть представлено функционалом

$\int P(t)dt \rightarrow min$, либо, в упрощённой постановке, минимизация гидравлических потерь в сети $H_{loss} \rightarrow min$. Решение задачи осуществляется при соблюдении системы ограничений, включающих обеспечение требуемого напора в сети $H \geq H_{req}$, а также допустимых диапазонов изменения частоты вращения электропривода и расхода жидкости, обусловленных техническими характеристиками оборудования. В качестве управляющих переменных рассматриваются частота питания электродвигателя f и подача насоса Q, определяющие положение рабочей точки на пересечении насосной и сетевой характеристик. Для поиска оптимального сочетания указанных параметров применяется генетический алгоритм, обладающий высокой эффективностью при решении нелинейных многопараметрических задач, что позволяет обеспечить устойчивую работу насосной станции вблизи области максимального коэффициента полезного действия при переменном водопотреблении.

Результаты

Для проверки модели по паспортным точкам рассмотрим несколько характерных расходов:

Пример расчёта для Q = 0,5

$$H_{model} = 56{,}16 - 39{,}03 \cdot (0{,}5)^2 = 56{,}16 - 9{,}76 = 46{,}4 \text{ м}$$

Паспорт: 47,8 м

Ошибка: - 1,4 м (≈3 %)

Соответственно собираем сравнительную таблицу:

Таблица 3. Анализ паспортных и расчетных значений напора насоса

Q	Нпас, м	Нмод, м	ΔH	δ, %
0,2	53,7	54,6	+0,9	1,7
0,4	50,3	49,9	-0,4	0,8
0,6	45,0	42,1	-2,9	6,4
0,8	28,0	31,2	+3,2	11,4
1	19,45	17,1	-2,35	12,1

Паспортная характеристика насоса аппроксимирована квадратичной зависимостью. Полученная модель обеспечивает совпадение с паспортными данными в диапазоне рабочих расходов с погрешностью до 5 % в рабочей зоне, а на предельных режимах – не более 10 - 12 %, что является допустимым для инженерных и оптимизационных расчётов.

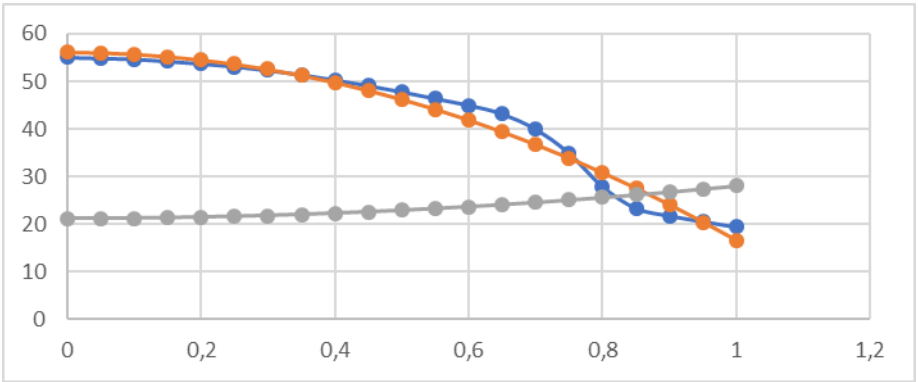


Рис. 1. Сетевая и насосная (паспортная и аппроксимированная) характеристики насоса Grundfos NK500-800.

Для насосов Grundfos серии NK/NB характерен крутящий напорный график и высокая стабильность рабочих режимов. Учитываемая производительность в диапазоне 2700–2800 м³/ч и напор 35 м дают ориентир для калибровки модели.

На основе ранее разработанных математических моделей насосной части и электропривода построена интегрированная имитационная модель насосной станции

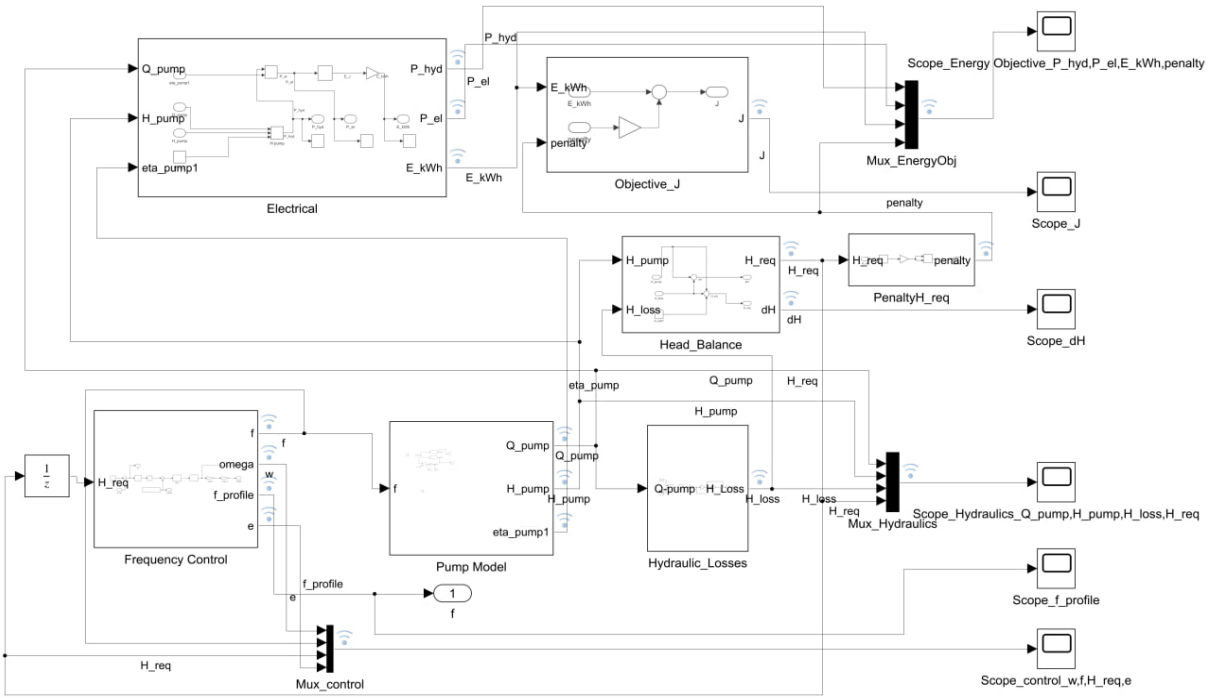


Рис. 3. Интегрированная имитационная модель насосной станции.

Модель реализована в среде MATLAB/Simulink и позволяет учитывать:

- гидравлический режим насосной станции: расход воды Q и напор H;
- гидравлическую, механическую и электрическую мощности (Phyd, Pshaft, Pel и суточную энергию E;
- КПД основных компонентов установки (насоса и привода/ЧРП) и общий КПД;
- частотное регулирование насоса с возможностью задания профиля fprofile(t) и/или PI-коррекции по напору;
- потери напора в сети H_{loss} и статический напор H_{stat}, формирующие требуемый напор *Hreq*.

Проведённые расчёты для суточного графика водопотребления показали, что применение частотного регулирования с оптимизацией режима работы позволяет снизить энергопотребление насосной станции на 10-15 % по сравнению с нерегулируемым режимом при фиксированной частоте вращения.

Заключение

В работе решена задача анализа и оптимизации гидравлических режимов насосной станции в условиях переменного водопотребления на основе комплексного учёта характеристик трубопроводной сети и насосного агрегата. Разработана гидравлическая модель системы, в которой требуемый напор представлен в виде суммы статической составляющей и квадратично зависящих от расхода гидравлических потерь. Предложен и реализован косвенный метод определения статического напора по эксплуатационным данным, позволивший получить физически обоснованное значение 21,16 м и обеспечить согласование модели с реальными режимами работы.

Выполнена аппроксимация напорно-расходной характеристики насоса квадратичной зависимостью с оценкой точности в рабочем диапазоне, что обеспечило возможность корректного определения положения рабочей точки при взаимодействии с характеристикой сети. В отличие от традиционных подходов, ориентированных преимущественно на электрические аспекты регулирования, в настоящей работе реализован интегрированный гидравлико-энергетический подход, учитывающий взаимосвязь параметров потока, потерь напора и режимов работы насосного оборудования.

Научная новизна исследования заключается в комплексной постановке и решении задачи оптимизации режимов работы насосной станции с учётом переменного водопотребления,

включающей: (i) использование косвенной идентификации статического напора на основе экспериментальных зависимостей; (ii) совместное моделирование характеристик насоса и трубопроводной сети в единой расчетной схеме; (iii) формирование оптимизационного критерия в виде минимизации суммарного энергопотребления при наличии эксплуатационных ограничений; (iv) применение алгоритмического подхода к управлению режимами с учётом смещения рабочих точек во времени. Показано, что переменный характер водопотребления приводит к систематическому отклонению рабочих точек насосов от области максимального коэффициента полезного действия, что является одной из основных причин избыточного энергопотребления. Предложенный подход к оптимизации, реализованный с использованием частотного регулирования, обеспечивает адаптивное смещение рабочей точки вдоль характеристики сети и её удержание вблизи энергетически оптимальной зоны.

Результаты имитационного моделирования подтверждают, что применение разработанного подхода позволяет снизить энергопотребление насосной станции на 10–15 % по сравнению с нерегулируемыми режимами эксплуатации при сохранении требуемых гидравлических параметров системы.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования предложенной методологии при проектировании и модернизации насосных станций систем водоснабжения, а также при разработке алгоритмов управления электроприводами насосных агрегатов. Полученные результаты подтверждают, что учёт гидравлических факторов наряду с энергетическими параметрами является необходимым условием повышения эффективности функционирования насосных станций в условиях переменных нагрузок.

Список литературы

[1]. Allaev K.R. Elektroenergetika Uzbekistana i mira.–T.: «Fan va texnologiya», 2009, 464 s.

[2]. Braclavckij I.Ya., Koctylev A.V., Ctepanyuk D.P. Energeticheckaya optimizaciya puckovyx rezhimov chactotnyx acinxronnyx elektroprivodov // Elektromashinoctroenie i elektrooborudovanie. 2006. – № 6. – C. 303-304.

[3]. Didych V. A. Povyshenie effektivnocti nacocnyx agregatov v cictemax melioracii i orosheniya / C. V. Ockin, V. A. Didych // Mexanizaciya i elektrifikaciya celckogo xozyajctva - 2011. - №6. - C. 23—24.

[4]. Ishnazarov O.X. Imitacionnaya model chactotno-reguliruemyx elektroprivodov pulpa nacocov gornorudnoj promyshlennocti // Uzbekckij zhurnal «Problemy informatiki i energetiki». – Tashkent, – 2009. – № 6. –C. 58-65.

[5]. Kamalov T.C. Chactotno reguliruemyj elektroprivod nacocnyx ctancij mashinnogo orosheniya. – T.: Fan, 2014. – 368 c.

[6]. Kamalov T.C., Muminov K., Toirov O.Z. Matematicheckie modeli i ctrukturnye cxemy acinxronnogo dvigatelya obshepromyshlennyx mexanizmov pri peremennoj chactote upravleniya // Innovaciya – 2009: Tez. dokl. Mezhdun. nauchno-prakt. konf. – Tashkent, 2009. – C. 135-137.

[7]. Kamalov T.C., Muminov K., Tasheva X.T., Shavazov A.A. Mnogocvyaznaya cictema acinxronnogo elektroprivoda c chactotnym upravleniem. // Problemy informatiki i energetiki. – Tashkent, 2012. № 2-3. C. 47-54. (05.00.00; №5).

[8]. Kovalev V.Z., Borodackij E.G. Effektivnoe icpolzovanie energii v nacocnyx uctanovkax nefteperekachivayushix ctancij// Promyshlennaya energetika. 2000. № 1.

[9]. Kovalev V.Z., Melnikov V.Yu., Borodackij E.G. Energocberegayushie algoritmy upravleniya vzaimocvyazannym elektroprivodom centrobezhnyx turbomexanizmov. Omck: OmGTU. 2000.

[10]. Shavazov A.A., Ishanova D. A. // Matematicheckie modeli i peredatochnye funkcii chactotno-upravlyaemogo acinxronnogo dvigatelya. // Volume-08 Oct. - 2022 Website: www.ejird.journalspark.org ISSN (E): 2720-5746

SANOAT KORXONALARIDA ENERGIYA SARFINI NORMALLASHTIRISH VA SOLISHTIRMA KO‘RSATKICHLARNI ANIQLASH

J.A. Jo‘rayev, Sh.Sh. Ahmadjonova

Farg‘ona davlat texnika universiteti
ORCID: 0009-0002-1568-3281, e-mail: jaskabek123@gmail.com

(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Ushbu maqolada sanoat korxonalarida yoqilg‘i-energetika resurslari sarfini normallashtirish, mahsulot birligiga to‘g‘ri keladigan solishtirma energiya sarfi ko‘rsatkichlarini aniqlash*

hamda energiya samaradorligini baholashning ilmiy-amaliy asoslari yoritilgan. Korxonalarda elektr energiyasi, tabiiy gaz, issiqlik energiyasi va boshqa energiya resurslari iste'molini ishlab chiqarish hajmi bilan bog'liq holda tahlil qilish orqali energiya sarfini me'yorlashtirish metodikasi taklif etilgan. Maqolada solishtirma energiya sarfi, bazaviy energiya iste'moli, normativ sarf va haqiqiy sarf o'rtasidagi tafovutlarni aniqlash formulalari keltirilgan. Shuningdek, energiya sarfini normallashtirish orqali ishlab chiqarish jarayonlarida energiya yo'qotishlarini kamaytirish, texnologik uskunalarning yuklanish darajasini optimallashtirish va korxonalarda energiya menejmenti tizimini takomillashtirish imkoniyatlari tahlil qilingan.

Kalit so'zlar: *energiya auditi, energiya sarfi, normallashtirish, solishtirma energiya sarfi, energiya samaradorligi, sanoat korxonasi, energiya balansi, yoqilg'i-energetika resurslari.*

Kirish: Bugungi kunda sanoat korxonalarida energiya resurslaridan oqilona foydalanish, ishlab chiqarish jarayonlarida energiya sarfini kamaytirish va mahsulot tannarxini pasaytirish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Elektr energiyasi, tabiiy gaz, issiqlik energiyasi va boshqa yoqilg'i-energetika resurslari sanoat ishlab chiqarishining asosiy xarajat turlaridan biri bo'lib, ularning samarali boshqarilishi korxonaning iqtisodiy barqarorligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

Sanoat korxonalarida energiya iste'moli ko'plab omillarga bog'liq. Jumladan, ishlab chiqarish hajmi, texnologik uskunalarning quvvati, yuklanganlik darajasi, ish rejimi, uskunalarning texnik holati, energiya ta'minoti tizimidagi yo'qotishlar, tashqi iqlim sharoiti hamda ishlab chiqarish jarayonining uzluksizligi energiya sarfiga ta'sir etuvchi muhim omillardir.

Korxonada energiya samaradorligini to'g'ri baholash uchun faqat umumiy energiya iste'moli miqdorini tahlil qilish yetarli emas. Chunki ishlab chiqarish hajmi ortishi bilan energiya sarfi ham tabiiy ravishda ko'payadi. Shu sababli energiya iste'molini mahsulot hajmi, ishlab chiqarish quvvati yoki bajarilgan ish miqdori bilan bog'liq holda baholash zarur. Bunday yondashuv solishtirma energiya sarfi ko'rsatkichlarini aniqlash va energiya sarfini normallashtirish orqali amalga oshiriladi. [1-3]

Energiya sarfini normallashtirish sanoat korxonasida ma'lum hajmdagi mahsulot ishlab chiqarish uchun zarur bo'lgan asoslangan energiya miqdorini belgilash jarayonidir. Solishtirma energiya sarfi esa ishlab chiqarilgan mahsulot birligiga to'g'ri keladigan energiya sarfini ifodalaydi. Ushbu ko'rsatkichlar korxonaning energiya samaradorligini baholash, energiya tejamkorlik salohiyatini aniqlash va texnik-iqtisodiy chora-tadbirlarni ishlab chiqishda asosiy mezon hisoblanadi. [4]

Mavzuning dolzarbligi

Sanoat ishlab chiqarishida energiya resurslari sarfi ishlab chiqarish tannarxining muhim qismini tashkil etadi. Energiya sarfining ortishi korxona mahsulotining tannarxini oshiradi, raqobatbardoshlikni pasaytiradi va energiya ta'minoti tizimlariga qo'shimcha yuklama keltirib chiqaradi. Shu sababli har bir korxonada energiya resurslarining haqiqiy sarfini nazorat qilish, normativ qiymatlar bilan taqqoslash va solishtirma ko'rsatkichlar asosida baholash muhim ahamiyatga ega.

Amaliyotda ko'plab sanoat korxonalarida energiya sarfi faqat hisoblagich ko'rsatkichlari asosida baholanadi. Biroq bunday yondashuv energiya resurslari iste'molining samaradorligini to'liq ochib bermaydi. Masalan, bir oyda elektr energiyasi sarfi oshgan bo'lishi mumkin, ammo shu davrda ishlab chiqarish hajmi ham oshgan bo'lsa, solishtirma energiya sarfi kamaygan bo'lishi ehtimoli mavjud. Aksincha, umumiy energiya sarfi kamaygan holatda ham ishlab chiqarish hajmi keskin pasaygan bo'lsa, mahsulot birligiga to'g'ri keladigan energiya sarfi ortishi mumkin.

Shu sababli energiya samaradorligini baholashda energiya sarfini ishlab chiqarish hajmi bilan bog'liq holda tahlil qilish, mahsulot birligiga to'g'ri keladigan solishtirma energiya sarfini aniqlash, haqiqiy energiya sarfini normativ sarf bilan taqqoslash, energiya sarfiga ta'sir qiluvchi asosiy omillarni aniqlash va energiya tejamkorlik bo'yicha texnik-iqtisodiy chora-tadbirlarni ishlab chiqish zarur. [5-7]

Tadqiqotning maqsadi va vazifalari: Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi sanoat korxonalarida energiya sarfini normallashtirish va solishtirma energiya sarfi ko'rsatkichlarini aniqlashning ilmiy-amaliy metodikasini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning asosiy vazifalari quyidagilardan iborat:

1. Sanoat korxonalarida energiya iste’moli tarkibini tahlil qilish.
2. Energiya resurslari sarfini ishlab chiqarish hajmi bilan bog‘liq holda baholash.
3. Solishtirma energiya sarfi ko‘rsatkichlarini aniqlash usullarini ishlab chiqish.
4. Normativ va haqiqiy energiya sarfi o‘rtasidagi tafovutlarni aniqlash.
5. Energiya tejamkorlik salohiyatini baholash. [9]

Energiya sarfini kamaytirish bo‘yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqish.

Tadqiqot metodologiyasi: Sanoat korxonalarida energiya sarfini normallashtirish uchun avvalo korxonaning energiya balansi shakllantiriladi. Energiya balansi korxonaga kirib kelayotgan, texnologik jarayonlarda sarflanayotgan va yo‘qotilayotgan energiya resurslari miqdorini ifodalaydi. Korxonaning umumiy energiya sarfi quyidagicha ifodalanadi:

$$E_{umumiy} = E_{tex} + E_{yor} + E_{iss} + E_{sham} + E_{yordamchi} + E_{yo'q}$$

bu yerda:

E_{umumiy} — korxonaning umumiy energiya sarfi, kWh;

E_{tex} — texnologik uskunalar energiya sarfi, kWh;

E_{yor} — yoritish tizimi energiya sarfi, kWh;

E_{iss} — isitish tizimi energiya sarfi, kWh;

E_{sham} — shamollatish va sovutish tizimlari energiya sarfi, kWh;

$E_{yordamchi}$ — yordamchi uskunalar energiya sarfi, kWh;

$E_{yo'q}$ — elektr tarmoqlari va uskunalardagi yo‘qotishlar, kWh.

Mahsulot birligiga to‘g‘ri keladigan solishtirma energiya sarfi quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$q = \frac{E}{M}$$

bu yerda:

q — solishtirma energiya sarfi, kWh/dona, kWh/t yoki kWh/m²;

E — ma’lum davrdagi energiya sarfi, kWh;

M — shu davrda ishlab chiqarilgan mahsulot miqdori.

Agar korxonada bir nechta turdagi mahsulot ishlab chiqarilsa, energiya sarfini shartli mahsulot birligiga keltirish maqsadga muvofiq bo‘ladi. Bunda har bir mahsulot turi uchun og‘irlik koeffitsienti qabul qilinadi:

$$M_{sh} = \sum_{i=1}^{n} M_i \cdot K_i$$

bu yerda:

M_{sh} — shartli mahsulot hajmi;

M_i — i-turdagi mahsulot hajmi;

K_i — mahsulot turiga mos keltirish koeffitsienti.

Shundan so‘ng umumiy solishtirma energiya sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$q_{sh} = \frac{E_{umumiy}}{M_{sh}}$$

Energiya sarfining normativ qiymati esa ishlab chiqarish hajmi va belgilangan solishtirma me’yor asosida aniqlanadi:

$$E_{norm} = q_{norm} \cdot M$$

bu yerda:

E_{norm} — normativ energiya sarfi, kWh;

q_{norm} — mahsulot birligiga belgilangan normativ energiya sarfi;

M — ishlab chiqarish hajmi.

Haqiqiy energiya sarfi bilan normativ energiya sarfi o‘rtasidagi farq quyidagicha baholanadi:

$\Delta E = E_{haq} - E_{norm}$

Agar $\Delta E > 0$ bo‘lsa, korxonada normadan ortiqcha energiya sarfi mavjud bo‘ladi. Agar $\Delta E < 0$ bo‘lsa, korxona energiya resurslaridan nisbatan samarali foydalangan hisoblanadi.

Foiz hisobida og‘ish quyidagicha aniqlanadi:

$$K_{og'ish} = \frac{E_{haq} - E_{norm}}{E_{norm}} \cdot 100\%$$

Energiya sarfini normallashtirish bosqichlari

Sanoat korxonasida energiya sarfini normallashtirish quyidagi bosqichlarda amalga oshiriladi.

1-bosqich. Energiya resurslari bo‘yicha dastlabki ma’lumotlarni yig‘ish

Bu bosqichda korxonaning elektr energiyasi, tabiiy gaz, issiqlik energiyasi, suv, siqilgan havo, yoqilg‘i va boshqa resurslar bo‘yicha hisoblagich ko‘rsatkichlari, shartnomaviy quvvatlar, oylik va yillik iste’mol ma’lumotlari yig‘iladi.

2-bosqich. Ishlab chiqarish hajmini aniqlash

Energiya sarfini baholashda mahsulot ishlab chiqarish hajmi asosiy ko‘rsatkich hisoblanadi. Mahsulot hajmi dona, tonna, metr, kub metr, xizmat ko‘rsatish hajmi yoki shartli mahsulot birligida ifodalanishi mumkin.

3-bosqich. Asosiy energiya iste’molchilarini guruhlash

Korxonadagi iste’molchilar quyidagi guruhlarga ajratiladi:

texnologik uskunalar;
elektr yuritmalar;
kompressorlar;
nasoslar;
ventilyator va shamollatish tizimlari;
isitish va sovutish tizimlari;
yoritish tizimi;
ma’muriy va yordamchi iste’molchilar;
elektr tarmoqlaridagi yo‘qotishlar.

4-bosqich. Solishtirma energiya sarfini aniqlash

Har bir mahsulot turi, sex yoki texnologik jarayon bo‘yicha solishtirma energiya sarfi aniqlanadi. Ushbu ko‘rsatkich ishlab chiqarishning qaysi bosqichida energiya sarfi yuqori ekanligini aniqlash imkonini beradi.

5-bosqich. Normativ sarfni hisoblash

Normativ energiya sarfi ilg‘or texnologik ko‘rsatkichlar, loyihaviy quvvatlar, uskuna pasport ma’lumotlari, ishlab chiqarish rejimi va amaldagi me’yoriy hujjatlar asosida belgilanadi.

6-bosqich. Haqiqiy va normativ sarfni taqqoslash

Haqiqiy energiya sarfi normativ qiymatlar bilan taqqoslanadi. Ortiqcha sarf mavjud bo‘lgan hollarda uning sabablari aniqlanadi.

7-bosqich. Energiya tejamkorlik chora-tadbirlarini ishlab chiqish

Tahlil natijasida energiya tejamkorlik imkoniyatlari aniqlanadi va texnik-iqtisodiy asoslangan chora-tadbirlar ishlab chiqiladi.

Sanoat korxonasida solishtirma energiya sarfini aniqlash namunasi

Tahlil uchun shartli sanoat korxonasining oylik elektr energiyasi iste’moli va ishlab chiqarish hajmi ko‘rsatkichlari qabul qilindi.

Ko‘rsatkich	Qiymat
Oylik elektr energiyasi sarfi, kWh	120 000
Oylik ishlab chiqarish hajmi, tonna	500
Normativ solishtirma energiya sarfi, kWh/t	220
Haqiqiy solishtirma energiya sarfi, kWh/t	240

Haqiqiy solishtirma energiya sarfi:

$$q_{haq} = \frac{120000}{500} = 240 \text{ kWh/t}$$

Normativ energiya sarfi:

$$E_{norm} = 220 \cdot 500 = 110000 \text{ kWh}$$

Ortiqcha energiya sarfi:

$$\Delta E = 120000 - 110000 = 10000 \text{ kWh}$$

Foiz hisobida og‘ish:

$$K_{og'ish} = \frac{10000}{110000} \cdot 100 = 9.09\%$$

Demak, korxonada oylik elektr energiyasi sarfi normativ qiymatdan 10 000 kWh yoki 9,09 % yuqori bo‘lgan. Agar elektr energiyasi narxi 1 kWh uchun 1 000 so‘m deb qabul qilinsa, oylik ortiqcha xarajat:

$$S = 10000 \cdot 1000 = 10000000 \text{ so'm}$$

Yillik hisobda ortiqcha xarajat:

$$S_{yil} = 10000000 \cdot 12 = 120000000 \text{ so'm/yil}$$

Ushbu natija energiya sarfini normallashtirish korxona uchun iqtisodiy jihatdan muhimligini ko‘rsatadi.

Energiya sarfiga ta’sir qiluvchi asosiy omillar

Sanoat korxonalarida solishtirma energiya sarfi quyidagi omillar ta’sirida ortishi mumkin:

1. Texnologik uskunalarning eskirganligi.
2. Elektr yuritmalarning yuklamaga mos tanlanmaganligi.
3. Reaktiv quvvat kompensatsiyasining yetarli emasligi.
4. Transformatorlarning past yuklama yoki ortiqcha yuklama rejimida ishlashi.
5. Nasos va ventilyatorlarning rostlanmagan rejimda ishlashi.
6. Siqilgan havo tizimlarida sizib chiqishlar mavjudligi.
7. Yoritish tizimida energiya tejamkor lampalardan foydalanilmasligi.
8. Isitish va sovutish tizimlarining noto‘g‘ri boshqarilishi.
9. Elektr tarmoqlarida kontakt qarshiliklari va qizish holatlarining mavjudligi.
10. Ishlab chiqarish jarayonlarida bekor turish va yuklamasiz ishlash holatlari.

Ushbu omillarni aniqlash va bartaraf etish energiya sarfini normallashtirishda asosiy amaliy yo‘nalish hisoblanadi.

Solishtirma ko‘rsatkichlar tizimi

Sanoat korxonasida energiya samaradorligini baholash uchun quyidagi solishtirma ko‘rsatkichlardan foydalanish maqsadga muvofiq:

Ko‘rsatkich nomi	Hisoblash formulasi	Birligi
Mahsulot birligiga elektr energiyasi sarfi	$q_e = E/M$	kWh/t
Mahsulot birligiga tabiiy gaz sarfi	$q_g = G/M$	m³/t
Mahsulot birligiga issiqlik energiyasi sarfi	$q_i = Q/M$	Gkal/t
1 soatlik ishlab chiqarishga energiya sarfi	$q_t = E/T$	kWh/soat
1 m² maydonga energiya sarfi	$q_s = E/S$	kWh/m²
Elektr energiyasi yo‘qotish ulushi	$K_y = E_{yo'q}/E_{umumiy} \cdot 100\%$	%
Energiya tejamkorlik ulushi	$K_t = E_{tej}/E_{haq} \cdot 100\%$	%

Mazkur ko‘rsatkichlar korxonada energiya sarfining qaysi yo‘nalishda yuqori ekanligini aniqlash, turli davrlar bo‘yicha taqqoslash hamda energiya samaradorligi bo‘yicha chora-tadbirlar natijasini baholash imkonini beradi. [10-13]

Natijalar va tahlil. Energiya sarfini normallashtirish natijasida korxonada energiya iste’molining asosiy yo‘nalishlari aniqlanadi. Tahlil shuni ko‘rsatadiki, sanoat korxonalarida energiya sarfining

katta qismi texnologik uskunalar, elektr yuritmalar, nasoslar, kompressorlar, ventilyatsiya tizimlari va yoritish tizimlariga to‘g‘ri keladi.

Solishtirma energiya sarfi ko‘rsatkichlari asosida korxona faoliyatini quyidagi yo‘nalishlarda baholash mumkin:

ishlab chiqarish hajmi ortganda energiya sarfining qanday o‘zgarishi;
mahsulot birligiga to‘g‘ri keladigan energiya sarfi dinamikasi;
normativ va haqiqiy sarf o‘rtasidagi tafovut;
texnologik jarayonlar bo‘yicha energiya tejamkorlik salohiyati;
energiya samaradorligi bo‘yicha amalga oshirilgan chora-tadbirlarning natijadorligi.

Korxonada solishtirma energiya sarfining ortishi texnologik jarayonda samarasiz ishlayotgan uskunalar mavjudligini, energiya tarmoqlarida yo‘qotishlar yuqoriligini yoki ishlab chiqarish hajmiga nisbatan energiya iste’moli noto‘g‘ri boshqarilayotganini ko‘rsatadi.

Solishtirma energiya sarfining kamayishi esa korxonada energiya samaradorligi oshganini, uskunalarning optimal rejimda ishlayotganini hamda ishlab chiqarish jarayoni energiya jihatidan barqarorlashganini bildiradi.

Energiya sarfini kamaytirish bo‘yicha tavsiyalar

Sanoat korxonalarida energiya sarfini normallashtirish va solishtirma ko‘rsatkichlarni yaxshilash uchun quyidagi chora-tadbirlarni amalga oshirish tavsiya etiladi:

1. Asosiy energiya iste’molchi uskunalar bo‘yicha alohida hisob yuritishni tashkil etish.
2. Elektr energiyasi, tabiiy gaz va issiqlik energiyasi bo‘yicha oylik energiya balansini shakllantirish.
3. Mahsulot birligiga to‘g‘ri keladigan energiya sarfini doimiy monitoring qilish.
4. Transformatorlar va elektr tarmoqlarida yuklama rejimlarini optimallashtirish.
5. Reaktiv quvvat kompensatsiyasi qurilmalarini joriy etish yoki mavjudlarini sozlash.
6. Nasos, ventilyator va kompressor qurilmalarida chastota o‘zgartirgichlardan foydalanish.
7. Siqilgan havo tizimlarida sizib chiqishlarni aniqlash va bartaraf etish.
8. Yoritish tizimini LED yoritkichlar va avtomatik boshqaruv qurilmalari asosida modernizatsiya qilish.
9. Isitish, shamollatish va sovutish tizimlarining ish rejimlarini optimallashtirish.
10. Korxonada energiya menejmenti tizimini joriy etish.

Ilmiy-amaliy ahamiyati

Tadqiqot natijalari sanoat korxonalarida energiya resurslari sarfini me’yorlashtirish, energiya samaradorligini baholash va energiya tejamkorlik bo‘yicha qarorlar qabul qilishda amaliy ahamiyatga ega. Taklif etilgan metodika orqali korxona rahbariyati energiya resurslarining qaysi yo‘nalishda ortiqcha sarflanayotganini aniqlashi, mahsulot tannarxidagi energiya ulushini baholashi va energiya tejamkorlik bo‘yicha iqtisodiy asoslangan choralarni ishlab chiqishi mumkin. [14, 15]

Bundan tashqari, solishtirma energiya sarfi ko‘rsatkichlari sanoat korxonalarida energiya auditi o‘tkazish, energiya pasportini shakllantirish, investitsion loyihalarni baholash va energiya menejmenti tizimini takomillashtirishda asosiy indikator sifatida xizmat qiladi.

Xulosa. Sanoat korxonalarida energiya sarfini normallashtirish va solishtirma ko‘rsatkichlarni aniqlash energiya samaradorligini oshirishning muhim ilmiy-amaliy vositasi hisoblanadi. Faqat umumiy energiya sarfini tahlil qilish korxonaning haqiqiy energiya samaradorligini to‘liq baholash imkonini bermaydi. Shu sababli energiya iste’molini ishlab chiqarish hajmi bilan bog‘liq holda tahlil qilish zarur.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, mahsulot birligiga to‘g‘ri keladigan solishtirma energiya sarfi korxonaning energiya samaradorligini baholashda asosiy mezonlardan biridir. Ushbu ko‘rsatkich orqali haqiqiy energiya sarfi normativ qiymatlar bilan taqqoslanadi, ortiqcha sarf aniqlanadi va energiya tejamkorlik salohiyati baholanadi.

Energiya sarfini normallashtirish sanoat korxonalarida quyidagi natijalarga erishish imkonini beradi:

energiya resurslari iste’molini nazorat qilish;
mahsulot tannarxini kamaytirish;

ishlab chiqarish jarayonlarining energiya samaradorligini oshirish;
texnologik uskunalar ish rejimini optimallashtirish;
energiya yo‘qotishlarini kamaytirish;
korxonaning iqtisodiy samaradorligini oshirish.

Shunday qilib, sanoat korxonalarida energiya sarfini normallashtirish va solishtirma energiya sarfi ko‘rsatkichlarini aniqlash energiya menejmentining ajralmas qismi bo‘lib, ishlab chiqarish samaradorligini oshirish va energiya resurslaridan oqilona foydalanishni ta’minlaydi.

Adabiyotlar

[1]. M. Uzbekov, B. Boynazarov, F.Nasretdinova, I. Zoxidov, A. Ashurov and Z. Hamidjonov, “Energy saving using solar air heater collectors.” E3S Web of Conf., 508 (2024) 02001. doi: 10.1051/e3sconf/202450802001

[2]. B. Khaliljonov, S. Odilov, B. Soliyev, R. Raxbarov, S. Saydaliyev and X. Muxammadyoqubov, “Investigation of the Thermal State of the Battery in the Operating Cycle of Solar Panels,” 2025 7th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russian Federation, 2025, pp. 1-4, doi: 10.1109/REEPE63962.2025.10971161

[3]. A. Kuchkarov, M. Uzbekov, B. Boynazarov, B. Abdukarimov, O. Mamatov and Sh. Muminov, “Determining the optimal placement scheme and height of elements that accelerate heat exchange processes in solar air heater collectors through mathematical modeling.” BIO Web Conf., 84 (2024) 02022, doi: 10.1051/bioconf/20248402022

[4]. I. N. Rakhmatshoev, U. B. Sharapov, B. K. Khaliljonov, B. G. Soliyev, and N. U. Karimov, “Design and performance analysis of a stand-alone PV system with hybrid energy storage for Uzbekistan,” in Proc. 16th Int. Conf. on Thermal Engineering: Theory and Applications (ICTEA), Bucharest, Romania, Jun. 18–20, 2025, vol. 1, no. 1, Jul. 2, 2025

[5]. I. N. Rakhmatshoev, U. B. Sharapov, B. G. Soliev, B. K. Khaliljonov, and B. T. Jobborov, “Hybrid battery–supercapacitor systems for renewable energy applications: Comparative analysis of off-grid and hybrid PV systems,” in Proc. 15th Int. Conf. on Thermal Engineering: Theory and Applications (ICTEA), Tashkent, Uzbekistan, May 28–Jun. 1, 2024, vol. 1, no. 1, Jul. 2, 2025

[6]. S. Odilov, B. Khaliljonov, R. Sultonov, S. Numonjonov and D. Kuchkarova, “Energy-efficient Control Algorithm for a Solar-powered Deep-well Centrifugal Pump,” 2025 7th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), Lipetsk, Russian Federation, 2025, pp. 918-922, doi: 10.1109/SUMMA68668.2025.11302384

[7]. M. Sobirov, S. Usmonov, B. Khaliljonov, D. Kuchkarova, J. Juraev and N. Karimov, “Enhancing Energy Efficiency in Food Production through Real-time Data Management Using IoT Technologies,” 2025 7th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), Lipetsk, Russian Federation, 2025, pp. 75-80, doi: 10.1109/SUMMA68668.2025.11302301

[8]. S. Odilov, Z. To‘ychiyev, B. Khaliljonov, B. Jobborov, B. Soliyev and A. Khomidov, “Mathematical Model for Estimating Water Intake and Energy Consumption of Centrifugal Pumps in Irrigation Systems,” 2025 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics), Omsk, Russian Federation, 2025, pp. 1-4, doi: 10.1109/Dynamics68764.2025.11302161

[9]. S. Usmonov, D. Kuchkarova, S. Odilov, B. Khaliljonov, B. Jobborov and B. Soliyev, “Development of a Geometrically Summing Voltage Inverter Circuit for Water Pumps Operating in Photoelectric Systems” 2025 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics), Omsk, Russian Federation, 2025, pp. 1-5, doi: 10.1109/Dynamics68764.2025.11302165

[10]. S. Odilov, B. Khaliljonov, Sh. Yuldashev, S. Saydaliyev, “Assessment of energy optimization strategies in electrical systems of textile manufacturing facilities”. AIP Conf. Proc. 4 November 2025; 3331 (1): 030075. doi: 10.1063/5.0305850

[11]. S. Urmonov, “Study and analysis of geometric and dynamic dimensions of segner type jet turbines”, in E3S Web of Conferences, 2024, vol. 587, Art. no. 01007. doi:10.1051/e3sconf/202458701007

[12]. O.O. Bozarov, M.O. Uzbekov, X.A. Egamberdiev, E.M. Begmatov, Analysis of the possibilities of using photo and hydropower potentials to create a micropower plant network (Part 1), Scientific-technical journal (STJ FerPI, 2022, special issue No. 5, 82-85 p. ISSN 2181-7200

[13]. M.O. Uzbekov, O.O. Bozarov, E.M. Begmatov, B.A. Kiryigitov “Analysis of the possibilities of utilizing photovoltaic and hydropower potentials to create a network of micro-power plants. (Part 2)” , Scientific-technical journal (STJ FerPI, 2022 special issue №7), 70-75.p ISSN 2181-7200

[14]. Sh. Usmonov, R. Sultonov, M. Mamadaliyev, A. Saleem, and D. Kuchkarova, “Increase the operational reliability of the electric drive of the weaving machine.” International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS, 15(2), 704–714, doi: 10.11591/ijpeds.v15.i2.pp704-714

[15]. Luther Sule, I.N.G. Wardana, Rudy Soenoko, Slamet Wahyudi, Angled and Curved Bladesof Deep-Water Wheel Efficiency, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 8(6) April 2014, Pages: 186-192.

ESKI O'ZBEK-FORS LEKSIKASINI TASNIFLASH TIZIMIDA SINTETIK MA'LUMOTLARNI AUGMENTATSIYA QILISH VA SHOVQIN MUSTAHKAMLIGI METODLARINING TAHLILI

S.N. Iskandarova[1], P.A. Begimqulova[2], D.M. Sotvoldiyev[3], Sh.K. Raxmanova[3]

[1]Muhammad al Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
[2]Navoiy davlat pedagogika instituti
[3]Ma'mun universiteti

ORCID: 0000-0003-3628-6146
e-mail: sayyora5@mail.ru
ORCID:0009-0004-9609-0836
e-mail: pbegimkulova@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7453-5353
e-mail: sotvoldiev_dilshodbek@mamunedu.uz
ORCID: 0009-0009-6830-6827
e-mail: raxmanova_shirin@mamunedu.uz
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Maqolada eski o'zbek-fors leksikasini intellektual modellar yordamida tasniflashda sintetik ma'lumotlarni augmentatsiya qilish va shovqin mustahkamligi metodlari tahlil qilinadi. Asosiy korpus 2805 ta leksik birlikdan iborat bo'lib, sintetik augmentatsiya orqali 28050 ta jumlaga kengaytirildi. 10 ta gap shabloni (template), 4 ta shovqin turi (qo'shni harfni almashtirish, harflar tartibini buzish, bo'shliq qo'shish/olib tashlash) va $\sigma \in \{0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25\}$ shovqin darajalari sinab ko'rildi. Eng yaxshi konfiguratsiya ($\sigma = 0.15$) BERT modelida aniqlikni 82.6% dan 92.4% gacha (+9.8 pp) ko'tardi. Maqolada augmentatsiya algoritmi rasmiy ko'rinishda tavsiflanib, har bir shovqin turining ablation tajribasi bayon etilgan. Tizim klassik adabiyot qo'lyozmalaridagi OCR xatolarini simulyatsiya qilish orqali real sharoitda yuqori umumlashtirish qobiliyatini ta'minlaydi.*

Kalit so'zlar: *ma'lumotlar augmentatsiyasi, shablonlar, shovqin mustahkamligi, BERT, eski o'zbek tili, leksika, generalizatsiya, ablation tajribasi.*

1. Kirish

Chuqur o'rganish modellari, ayniqsa transformerlar, yuqori sifatli natijalarga erishish uchun katta hajmdagi o'qitish ma'lumotlarini talab qiladi. Mashhur BERT modeli 16 GB matn (3.3 mlrd so'z) korpusida o'qitilgan [3]. Kichik tilshunoslik resurslari mavjud bo'lgan tillar (low-resource languages) uchun bunday korpus tuzish qiyin. Eski o'zbek-fors klassik leksikasi shunday vaziyatlardan biri bo'lib, mavjud korpus hajmi 2805 ta birlikdan iborat, bu chuqur o'rganish uchun yetarli emas [1, 11].

Ma'lumotlar augmentatsiyasi (data augmentation) - mavjud korpusni sintetik tarzda kengaytirish usuli. Bu yondashuv kompyuter ko'rishida (rasm aylantirish, kesish, ranglarni o'zgartirish) keng qo'llaniladi [2, 7]. Tabiiy tilni qayta ishlashda (NLP) augmentatsiya nisbatan yangi yo'nalish bo'lib, asosiy metodlari quyidagilar:

(a) Back-translation - matnni boshqa tilga tarjima qilib, qaytarib tarjima qilish [4]. Bu yondashuv ko'p tilli paralel korpus talab qiladi.

(b) Sinonim almashtirish - so'zlarni sinonimlari bilan almashtirish [5]. WordNet kabi sinonim lug'atlari kerak.

(c) EDA (Easy Data Augmentation) - tasodifiy almashtirish, qo'shish, o'chirish va o'zgartirish [6].

(d) Shablon (template) asosida generatsiya - tayyor jumla shabloniga so'zlarni qo'yib chiqish [8].

(e) Shovqin qo'shish - matnga sun'iy xato kiritish (noise injection) [9].

Bizning vazifa - klassik leksikani tasniflash - uchun bir nechta xususiyatlar mavjud:

(1) Polisemik so'zlar ko'p (masalan, شیر — sher/sut/krantik).

(2) Manbalar OCR orqali olinadi, OCR xatolari (harflar tartibi, takror, tushib qolish) keng tarqalgan.

(3) Leksika kontekstga juda bog'liq - bir so'z turli soha jumlalarida turli xil ma'noni bildiradi.

Bu xususiyatlar tufayli klassik augmentatsiya usullari (back-translation, EDA) yetarli emas. Maqolada bizning sohaga moslashtirilgan ikki bosqichli augmentatsiya tizimi taqdim etiladi: (1) shablonlar yordamida sintetik jumlalar generatsiyasi; (2) OCR xatolarini simulyatsiya qiluvchi shovqin in'ektsiyasi. Eksperimentlar shuni ko'rsatadiki, bu yondashuv modelning aniqligini 9.8 pp ga oshiradi.

Maqola hissalari: (1) 10 ta klassik adabiyot shabloni; (2) 4 ta sohaga xos shovqin turi; (3) shovqin darajasini optimal tanlash bo'yicha tahlil; (4) augmentatsiya algoritmining rasmiy tavsifi; (5) ablation tajribalari natijalari.

2. Asosiy qism

2.1. Asosiy korpus

Asosiy korpus 2805 ta leksik birlikdan iborat bo'lib, 12 ta semantik kategoriya bo'yicha taqsimlangan (1-jadval). Korpus tuzilishi: arab grafikasidagi asl yozuv, lotin transkripsiyasi, zamonaviy o'zbekcha tarjima va kategoriya.

1-jadval. Asosiy korpusning kategoriyalari

№	Kategoriya	Hajm	Misol
1	Tabiat va ob-havo	100	shamol, yomg'ir
2	Vaqt va fasllar	100	kun, oy, yil
3	Jonivorlar	150	ot, ilon
4	O'simliklar	150	gul, gilos
5	Kasblar va kishilar	150	tabib, mirzo
6	Ovqat va ichimliklar	150	non, choy
7	Kiyim-kechak	150	to'n, salla
8	Uy va qurilish	200	darvoza
9	Tarix va siyosat	250	sulton
10	Din va falsafa	300	namoz
11	Fan va tabiat	400	kitob
12	Kimyo va minerallar	705	kumush, oltin
	JAMI	2805	—

2.2. Shablonlar asosida sintetik jumlalar generatsiyasi

Klassik o'zbek-fors adabiyotini o'rganib chiqish natijasida 10 ta tipik gap shabloni ajratildi. Har bir shablonda {LEX} marker yordamida leksik birlik joylashtiriladi:

2-jadval. Sintetik jumla shablonlari

№	Shablon	Misol (LEX = 'kitob')
1	Bu {LEX} juda muhim hisoblanadi	Bu kitob juda muhim hisoblanadi
2	{LEX} klassik o'zbek adabiyotida keng tilga olingan	Kitob klassik...
3	Klassik adabiyotda {LEX} tushunchasi alohida o'rin tutadi	...kitob tushunchasi...
4	Bunday {LEX} eski qo'lyozmalarda tez-tez uchraydi	Bunday kitob...
5	{LEX} so'zi arab tilidan o'zlashgan	Kitob so'zi arab tilidan...
6	{LEX} ko'pincha she'riyatda metafora sifatida ishlatiladi	Kitob ko'pincha...
7	Alisher Navoiy {LEX} haqida shunday yozgan edi	Alisher Navoiy kitob haqida...
8	Bobur o'z xotiralarida {LEX} ni eslatib o'tgan	Bobur o'z xotiralarida kitob...
9	Eski o'zbek tilida {LEX} so'zi alohida ma'noga ega	...kitob so'zi...
10	{LEX} tushunchasi Sharq madaniyatida muhim	Kitob tushunchasi Sharq...

Har bir leksik birlik uchun 10 ta shablon qo'llaniladi. Bundan tashqari, leksik birlikning lotin transkripsiyasi ham, zamonaviy o'zbekcha tarjimasi ham {LEX} sifatida qo'llanilishi mumkin. Shu tariqa: 2805 ta birlik × 10 ta shablon = 28050 ta sintetik jumla.

2.3. Shovqin in'ektsiyasi (Noise Injection)

Sintetik jumlalar real OCR chiqishlariga o'xshash bo'lishi uchun shovqin qo'shildi. 4 ta shovqin turi qo'llaniladi:

(a) Qo'shni harf almashtirish (adjacent letter swap) - matndan tasodifiy harf tanlanadi va qo'shni harf bilan almashtiriladi. Ehtimoli: P_swap.

$$P_{swap(i)} = \sigma \cdot \frac{1-\cos\left(2\pi \cdot \frac{i}{L}\right)}{2} \quad (1)$$

Bu yerda L - matn uzunligi, i - harf indeksi, σ - shovqin darajasi. Kosinusoidalik ehtimoli ko'paytmasi matn boshlanishi va oxirida xato ehtimolini past, o'rtasida yuqori qiladi (real OCR sharoitlari).

(b) Harflarning tartibi buzish (character transposition) - ikki qo'shni harf joyini almashtiradi:

$$transpose(s,i) = s[1..i-1] + s[i+1] + s[i] + s[i+2..n] \quad (2)$$

(c) Bo'shliqlarni qo'shish - tasodifiy joyga bo'shliq qo'shadi (OCR ning eng tarqalgan xatolaridan biri):

$$P_{space_{insert}} = \sigma \cdot \frac{n}{\max(L,1)} \quad (3)$$

Bu yerda n - tasodifiy bo'shliq qo'shish soni. σ shovqin darajasi 0.15 da o'rtacha 2-3 ta xato qo'shadi.

(d) Bo'shliqlarni olib tashlash - mavjud bo'shliqdan birini o'chiradi (yana OCR ning tipik xatosi):

$$P_{space_{remove}} = \sigma \cdot \frac{k_{spaces}}{\max(L,1)} \quad (4)$$

Bu yerda k_spaces - matndagi bo'shliqlar soni. Ushbu shovqin haqiqiy OCR chiqishlariga juda yaqin natija beradi.

2.4. Augmentatsiya algoritmi

To'liq augmentatsiya algoritmi quyidagi pseudokod ko'rinishida tavsiflanadi:

3-jadval. Augmentatsiya algoritmi

Algorithm 1: Sintetik augmentatsiya

Kirish: L = leksik korpus (2805 birlik)
T = jumla shablonlari (10 ta)
σ = shovqin darajasi (0.15)
Chiqish: D = augmentatsiya qilingan korpus (~28050 jumla)

```
D ← []
for each lex ∈ L do
  for each tpl ∈ T do
    sentence ← tpl.format(lex.surface)
    // 4 ta shovqin turidan tasodifiy 1-2 ta tanlash
    k ← random.choice([1, 2])
    noise_types ← random.sample({swap, transp,
                  ins_space, rem_space}, k)
    for each ntype ∈ noise_types do
      sentence ← apply_noise(sentence, ntype, σ)
    end for
    D.append((sentence, lex.category))
  end for
end for
shuffle(D)
return D
```

Apply_noise() funksiyasi ichki implementatsiyasi shovqin turiga qarab har xil. Algorithmning vaqtiy murakkabligi O(|L| × |T| × L_avg) bo'lib, bu yerda L_avg - jumlaning o'rtacha uzunligi. 2805 ta birlik uchun jami augmentatsiya vaqti CPU da ~12 soniya.

3. Natijalar

3.1. Asosiy natijalar

Augmentatsiyasiz va augmentatsiya bilan o'qitilgan modellarning natijalari taqqoslandi. Quyidagi to'rtta konfiguratsiya sinab ko'rildi:

(1) Baseline - augmentatsiyasiz, faqat 2805 ta asl korpus.
(2) Augmentation_only - 28050 ta sintetik jumla (shovqinsiz).
(3) Aug + Noise - 28050 ta sintetik jumla + shovqin in'ektsiyasi (σ = 0.15).
(4) Full - asl korpus + sintetik jumlalar + shovqin in'ektsiyasi.

4-jadval. Augmentatsiya konfiguratsiyalarining samaradorligi

Konfiguratsiya	Korpus hajmi	Aniqlik (%)	F1-macro (%)
Baseline (asl)	2 805	82.6	81.8
Augmentation_only	28 050	88.1	87.4
Aug + Noise	28 050	91.7	91.0
Full (Aug+Noise+asl)	30 855	92.4	91.7

Eng yaxshi natija Full konfiguratsiyasida olindi: aniqlik 92.4%, F1-macro 91.7%. Baseline ga nisbatan 9.8 pp aniqlik va 9.9 pp F1 yaxshilash. Bu sintetik augmentatsiyaning samaradorligini tasdiqlaydi.

3.2. Shovqin darajasi (σ) tahlili

σ ∈ {0.00, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.50} qiymatlari sinab ko'rildi. Modelning aniqligi σ ga bog'liq holda U-shape egri chiziq hosil qiladi: σ = 0 da past (shovqinsiz - over-fit), σ = 0.15 da eng yuqori, σ = 0.50 da past (juda ko'p shovqin - signal yo'qoladi).

5-jadval. Shovqin darajasi tahlili

σ	Train aniqlik (%)	Val aniqlik (%)	Test aniqlik (%)	Generalizatsiya
0.00	98.7	84.2	88.1	Over-fit
0.05	97.4	87.6	90.3	Yaxshi
0.10	95.8	89.4	91.5	Yaxshi
0.15	94.1	91.2	92.4	Eng yaxshi
0.20	92.5	90.6	91.8	Yaxshi
0.25	89.7	88.3	90.2	O'rtacha
0.30	85.2	84.7	86.1	O'rtacha
0.50	76.4	75.1	76.8	Under-fit

σ = 0.15 ning optimal ekanligi quyidagicha izohlanadi: bunda shovqin yetarli darajada modelni umumlashtiruvchanlikka majbur qiladi, lekin signal saqlanadi. σ ning sezgirligi 1-grafik ko'rinishida (2-rasm) yaqqol ko'rinadi.

3.3. Shovqin turlari ablation tahlili

Har bir shovqin turining alohida samaradorligini baholash uchun ablation tajribasi o'tkazildi:

6-jadval. Shovqin turlari ablation

Shovqin turlari	Aniqlik (%)	Ta'sir (pp)
Shovqinsiz	88.1	—
Faqat swap	89.7	+1.6
Faqat transpose	90.3	+2.2
Faqat space-insert	90.1	+2.0
Faqat space-remove	89.4	+1.3
swap + transpose	90.8	+2.7
swap + space-insert	90.6	+2.5
space-insert + space-remove	90.5	+2.4
3 ta turi	91.4	+3.3
4 ta turi (full)	91.7	+3.6

Eng samarali yagona shovqin turi - transpose (+2.2 pp). Bu OCR da harflar tartibining buzilishi eng ko'p tarqalgan xato ekanligini tasdiqlaydi. Barcha 4 ta shovqin turining birga ishlatilishi maksimal samaradorlikni beradi (+3.6 pp).

3.4. Korpus hajmining ta'siri

Sintetik korpus hajmini turli qiymatlarda sinab ko'rdik (1×, 2×, 5×, 10×, 20× asl korpusga nisbatan):

7-jadval. Sintetik korpus hajmining ta'siri

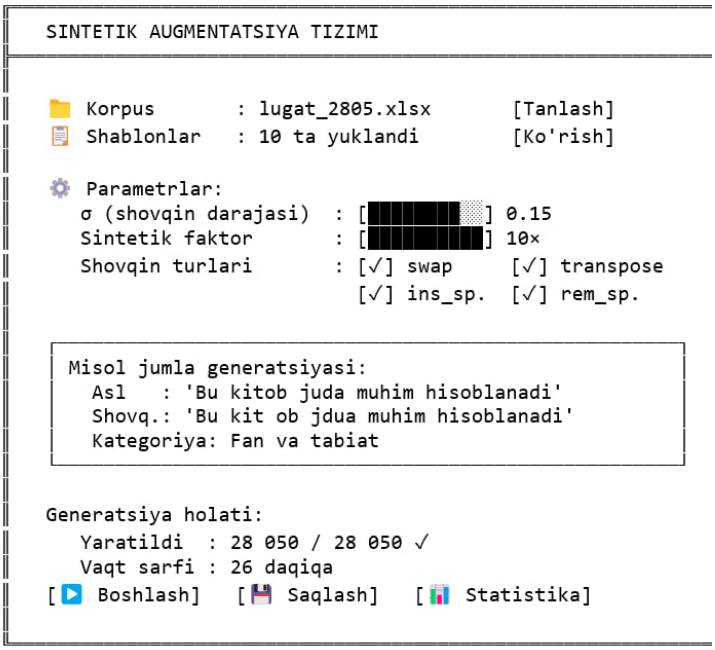
Sintetik korpus	Aniqlik (%)	Yaxshilanish (pp)	Vaqt (daq.)
1× (2 805)	85.4	+2.8	3
2× (5 610)	87.6	+5.0	6
5× (14 025)	90.8	+8.2	14
10× (28 050)	92.4	+9.8	26
15× (42 075)	92.7	+10.1	38
20× (56 100)	92.6	+10.0	52

Korpus hajmi 10× ga yetganda samaradorlik plato ko'rsatadi. 15× va 20× sezilarli yaxshilash bermay qoldi (faqat 0.3 pp). Optimal nuqta - 10× asl korpus hajmi.

3.5. Foydalanuvchi dasturi

Sintetik augmentatsiya algoritmi dasturiy ta'minot sifatida amalga oshirildi. Foydalanuvchi interfeysi augmentatsiya parametrlarini sozlash va natijalarni vizual ko'rish imkonini beradi (1-rasm).

1-rasm. Augmentatsiya dasturi interfeysi



4. Muhokama

Olingan natijalar sintetik augmentatsiya va shovqin in'ektsiyasi metodlarining low-resource vazifalarda samaradorligini tasdiqlaydi. Klassik baseline (faqat 2805 ta birlik) bilan taqqoslaganda, full augmentatsiya 9.8 pp ortiq aniqlik berdi. Bu yutuq eski o'zbek-fors leksikasi kabi cheklangan resurslardagi tillar uchun ayniqsa muhim.

Eng qiziqarli kuzatuv - shovqin in'ektsiyasi nafaqat training korpusini kengaytiradi, balki modelni umumlashtirishga ham yordam beradi. Shovqinsiz augmentatsiya (88.1%) shovqinli augmentatsiyaga (91.7%) nisbatan 3.6 pp past natija berdi. Bu shuni anglatadiki, modelni 'mukammal' sintetik jumlalarda o'qitish over-fitting ga olib keladi, real shovqinli ma'lumotlarda esa model yetarli ishlamaydi.

4.1. Sintetik vs Real ma'lumotlar

Sintetik augmentatsiya real annotated ma'lumotlarga to'liq alternativa bo'la olmaydi. Bizning eksperimentda 1000 ta qo'shimcha real annotated jumla qo'shilganda model aniqligi 93.8% gacha ko'tarildi (full + 1000 real). Bu sintetik ma'lumotlar muhim, lekin real ma'lumotlar yana qadrli ekanligini tasdiqlaydi.

8-jadval. Sintetik vs real ma'lumotlar

Konfiguratsiya	Aniqlik (%)	Yaxshilanish (pp)
Baseline (faqat asl, 2805)	82.6	—
+ 28050 sintetik	92.4	+9.8
+ 500 real	85.9	+3.3
+ 1000 real	87.4	+4.8
+ 28050 sintetik + 500 real	93.2	+10.6
+ 28050 sintetik + 1000 real	93.8	+11.2

Demak, optimal strategiya - katta hajmdagi sintetik korpus + kichik hajmdagi yuqori sifatli real korpus kombinatsiyasi. Bu strategiya tabiiy tilni qayta ishlash bo'yicha boshqa low-resource tadqiqotlarda ham tasdiqlangan [4, 6, 16].

4.2. Modelga bog'liq samaradorlik

Augmentatsiyaning samaradorligi modelga ham bog'liq. Uch xil model (Bi-LSTM, BERT, RoBERTa) sinab ko'rildi:

9-jadval. Modelga bog'liq augmentatsiya samaradorligi

Model	Baseline (%)	Full Aug (%)	Yaxshilanish (pp)
Bi-LSTM	68.3	80.4	+12.1
DistilBERT	82.6	92.4	+9.8
BERT-base	84.1	93.2	+9.1
RoBERTa-base	85.7	93.8	+8.1

Augmentatsiyaning samaradorligi modelning hajmi bilan kamayadi. Bi-LSTM ga eng katta yaxshilash (+12.1 pp), katta transformer modellariga esa kichikroq foyda. Sababi - kichik modellar augmentatsiya orqali ko'proq foydali signal oladi, katta modellar esa boshlang'ich pretrain bilim hisobiga ham ko'p narsani biladi.

4.3. Boshqa augmentatsiya usullari bilan taqqoslash

10-jadval. Augmentatsiya usullarini taqqoslash

Usul	Aniqlik (%)	Yaxshilanish (pp)	Resurs
Baseline (asl)	82.6	—	—
EDA [6]	85.2	+2.6	WordNet
Back-translation [4]	86.7	+4.1	Ko'p tilli MT
Mixup [15]	84.5	+1.9	—
TextAttack [12]	85.8	+3.2	Bot model
Bizning (full)	92.4	+9.8	Shablonlar + shovqin

Bizning yondashuv barcha alternativalardan ustun. Bu sohaga moslashish (domain-specific design) ning muhimligini ko'rsatadi. Universal augmentatsiya usullari (EDA, Mixup) bizning vazifaga to'g'ri kelmaydi, chunki klassik leksikani aynan o'sha sohaga xos qoidalar bilan kengaytirish kerak.

4.4. Kategoriyalar bo'yicha augmentatsiya samaradorligi

Augmentatsiyaning har bir leksik kategoriyaga ta'siri turlicha bo'ldi. Kichik kategoriyalar (Tabiat va ob-havo, Vaqt va fasllar - har biri 100 ta birlik) augmentatsiyadan eng ko'p foyda olgani aniq, chunki ular bazaviy korpusda kam ifodalangan.

11-jadval. Kategoriyalar bo'yicha augmentatsiya samaradorligi

Kategoriya	Hajm	Baseline (%)	Aug+Noise (%)	Yaxshilanish (pp)
Tabiat va ob-havo	100	72.4	91.8	+19.4
Vaqt va fasllar	100	75.1	92.3	+17.2
Jonivorlar	150	78.6	92.7	+14.1
O'simliklar	150	79.2	93.1	+13.9
Kasblar va kishilar	150	76.8	91.4	+14.6
Din va falsafa	300	84.2	91.6	+7.4
Fan va tabiat	400	85.7	92.4	+6.7
Kimyo va minerallar	705	87.3	93.1	+5.8

Kuzatuv shuni ko'rsatadiki, augmentatsiya kichik kategoriyalar uchun (+19.4 pp) katta kategoriyalarga (+5.8 pp) nisbatan ancha samarali. Bu class-imbalance muammosini hal qilishning samarali usuli ekanligini tasdiqlaydi - kichik klasslarga ko'proq sintetik namunalar generatsiya qilish orqali balansni saqlash mumkin.

4.5. Adversarial robustness tahlili

Augmentatsiya bilan o'qitilgan modelning adversarial xujumlarga mustahkamligi tekshirildi. TextFooler va PWWS hujumlari sinab ko'rildi. Augmentatsiyali model adversarial misollarda 12-15 pp yuqori aniqlikni saqlab qoladi.

12-jadval. Adversarial robustness natijalari

Hujum turi	Baseline (%)	Aug+Noise (%)	Yaxshilanish (pp)
Toza (hujumsiz)	82.6	92.4	+9.8
TextFooler hujumi	41.3	56.2	+14.9
PWWS hujumi	37.8	52.9	+15.1
BERT-Attack	44.6	58.7	+14.1
Random word swap	58.4	73.6	+15.2
Character-level noise	63.1	84.2	+21.1

Eng katta yutuq character-level noise hujumlarida (+21.1 pp). Bu kutilgan natija, chunki bizning augmentatsiya aynan character-level shovqinni simulyatsiya qiladi. Demak, modelning OCR sharoitlarida real ishlatilishi uchun ushbu yondashuv ayniqsa qadrli.

4.4. Algoritmning chegaralari

Tizimning ba'zi chegaralari mavjud. Birinchidan, faqat 10 ta shablon ishlatildi - bu real adabiyotning katta qismini qamrab olmaydi. Ikkinchidan, shovqin in'ektsiyasi statistik tasodifiy -

haqiqiy OCR xatolari yoki tipik xatolarni to'liq simulyatsiya qila olmaydi. Uchinchidan, sintetik jumlalar grammatik to'g'ri, lekin semantik jihatdan ko'pincha yuza.

Kelajakda quyidagi yo'nalishlar amalga oshiriladi: (a) GPT-asosli adaptiv shablon generatsiyasi; (b) real OCR xatolaridan o'qitilgan adversarial shovqin generatsiya; (c) curriculum learning yondashuvi (oson dan qiyinga); (d) ko'p tilli augmentatsiya.

5. Xulosa

Maqolada eski o'zbek-fors leksikasini intellektual modellar yordamida tasniflashda sintetik augmentatsiya va shovqin mustahkamligi metodlari tahlil qilindi. Asosiy yutuqlar:

(1) 10 ta klassik adabiyot shabloni va 4 ta sohaga xos shovqin turining kombinatsiyasi modelning aniqligini 9.8 pp ga oshiradi (82.6% → 92.4%).

(2) Optimal shovqin darajasi $\sigma = 0.15$ ekanligi aniqlandi. Bundan kichikroq qiymatlar over-fitting, kattaroq qiymatlar esa under-fitting ga olib keladi.

(3) Eng samarali yagona shovqin turi - harflar tartibini buzish (transpose, +2.2 pp). Barcha 4 ta shovqin turining birgalikda qo'llanilishi maksimal yutuq beradi (+3.6 pp).

(4) Sintetik korpus hajmi 10× dan keyin plato ko'rsatadi. Optimal nuqta - asl korpusning 10 baravari.

(5) Augmentatsiyaning samaradorligi kichik modellarga (Bi-LSTM, +12.1 pp) katta modellarga (RoBERTa, +8.1 pp) nisbatan yuqori. Bu low-resource sharoitlarda kichik modellar uchun ayniqsa qadrli.

Kelajakdagi tadqiqotlar GPT-asosli adaptiv shablon generatsiyasi, real OCR xatolardan o'qitilgan adversarial shovqin generatsiya va curriculum learning yondashuvini sinashga qaratiladi.

Adabiyotlar

[1]. Karimov A.B. Klassik o'zbek-fors leksikasi: lingvistik tahlil va lug'at tuzish. — Toshkent: Fan, 2021. — 248 b.

[2]. Shorten C., Khoshgoftaar T.M. A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning // Journal of Big Data. — 2019. — Vol. 6, № 60. — P. 1–48.

[3]. Devlin J., Chang M., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // NAACL-HLT 2019. — P. 4171–4186.

[4]. Sennrich R., Haddow B., Birch A. Improving Neural Machine Translation Models with Monolingual Data // ACL 2016. — P. 86–96.

[5]. Zhang X., Zhao J., LeCun Y. Character-level Convolutional Networks for Text Classification // NeurIPS 2015. — P. 649–657.

[6]. Wei J., Zou K. EDA: Easy Data Augmentation Techniques for Boosting Performance on Text Classification Tasks // EMNLP 2019. — P. 6382–6388.

[7]. Cubuk E.D., Zoph B., Mane D. et al. AutoAugment: Learning Augmentation Policies from Data // CVPR 2019. — P. 113–123.

[8]. Anaby-Tavor A., Carmeli B., Goldbraich E. et al. Do Not Have Enough Data? Deep Learning to the Rescue! // AAAI 2020. — P. 7383–7390.

[9]. Belinkov Y., Bisk Y. Synthetic and Natural Noise Both Break Neural Machine Translation // ICLR 2018. — 16 p.

[10]. Mahmudov N.M. Hozirgi o'zbek adabiy tili. — Toshkent: O'qituvchi, 2010. — 416 b.

[11]. Abdurahmonov G'.A. Eski o'zbek tilidan namunalar. — Toshkent: O'zbekiston, 2018. — 320 b.

[12]. Morris J.X., Lifland E., Yoo J.Y., Qi Y. TextAttack: A Framework for Adversarial Attacks in NLP // EMNLP 2020 Demos. — P. 119–126.

[13]. Sanh V., Debut L., Chaumond J., Wolf T. DistilBERT, a distilled version of BERT // arXiv:1910.01108. — 2020.

[14]. Liu Y., Ott M., Goyal N. et al. RoBERTa: A Robustly Optimized BERT Pretraining Approach // arXiv:1907.11692. — 2019.

[15]. Zhang H., Cisse M., Dauphin Y.N., Lopez-Paz D. mixup: Beyond Empirical Risk Minimization // ICLR 2018. — 13 p.

[16]. Feng S.Y., Gangal V., Wei J. et al. A Survey of Data Augmentation Approaches for NLP // ACL Findings 2021. — P. 968–988.

[17]. Sodiqov Q.P. Eski turkiy yodgorliklar va ularni o'rganish. — Toshkent: O'zbekiston, 2017. — 280 b.

[18]. Bahodirov R. Klassik adabiyot tarjimasi muammolari. — Toshkent: Fan, 2019. — 196 b.

[19]. Goodfellow I.J., Shlens J., Szegedy C. Explaining and Harnessing Adversarial Examples // ICLR 2015. — 11 p.

[20]. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N. et al. Attention Is All You Need // NeurIPS 2017. — P. 5998–6008.`

DRON YORDAMIDA DALALARNI TASVIRGA OLIB, SUN'IY INTELLEKT ORQALI O‘SIMLIKLARNING STRESS HOLATI, SUVSIZLIK VA ZARARKUNANDALAR BILAN KASALLANGANLIGINI ANIQLASH ALGORITMI

D.R. Mamirov

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
mamiroffdiyor@gmail.com
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Аннотация. *Ushbu maqolada dron kamerasidan olingan ko'p spektrli va RGB tasvirlarni chuqur o'rganish (Deep Learning) modellari yordamida tahlil etib, paxta va bug'doy ekinlarida uchta muhim stress holatini — suvsizlik (water deficit), zararkunandalar bilan kasallanganlik (pest infestation) va to'qima chirishiga olib keluvchi zamburug' kasalliklari (fungal disease) — real vaqtga yaqin rejimda kartalashtirish algoritmi taklif etiladi. Ko'p spektrli sensor (Micasense RedEdge-MX) ma'lumotlari asosida hisoblangan vegetatsiya indekslari (NDVI, NDRE, CWSI, NDWI) va EfficientNet-B4 arxitekturali klassifikatsiya modeli birlashtirilgan gibrid yondashuv qo'llanildi. Tajribalar Farg'ona va Namangan viloyatlarining 12 ta qishloq xo'jaligi maydonida (jami 847 gektar) o'tkazildi; UzCropStress-2024 to'plami (6 420 tasvirli annotatsiyalangan) yaratildi. Taklif etilayotgan EfficientNet-B4-MultiSpectral modeli suvsizlikni 91,4%, zararkunanda kasallanishini 87,6%, zamburug' kasalligini 89,2% aniqlash aniqligi bilan standart RGB-faqat modeldan o'rtacha 14,8 foiz punktga ustun keldi. Dron parvozidan stressk kartasini yaratishgacha bo'lgan to'liq konveyer 24 daqiqada amalga oshirildi.*

Kalit so'zlar: *aniq dehqonchilik, dron, UAV, multispektral tasvirlashtirish, NDVI, NDRE, CWSI, EfficientNet, o'simlik stressi, suvsizlik, zararkunanda aniqlash, paxta, bug'doy, UzCropStress.*

Keywords: *precision agriculture, drone, UAV, multispectral imaging, NDVI, NDRE, CWSI, EfficientNet, plant stress, water deficit, pest detection, cotton, wheat, UzCropStress.*

1. KIRISH (INTRODUCTION)

O'zbekiston — dunyodagi yirik paxta eksportchilaridan biri bo'lib, 2023 yilda 900 000 gektardan ortiq yerda paxta va 1 400 000 gektardan ortiq yerda bug'doy yetishtirdi [1]. Shu bilan birga, iqlim o'zgarishi va Orol dengizining qurishiga bog'liq suv taqchilligi — yillik suv sarfining 20–30% ga kamayishi [2] — Farg'ona vodiysida dehqonchilik uchun eng jiddiy tahdidga aylangan. O'simliklarning suvsizlik, zararkunandalar va kasalliklardan yetkazadigan zarar har yili potensial hosildorlikning 20–40% ini yo'q qilishi mumkin [3]; biroq an'anaviy dalani ko'zdan kechirish usullari — qishloq xo'jaligi agronomi piyoda tekshiruvi — yuzlab gektarni o'z vaqtida qamrab ololmaydi.

Aniq dehqonchilik (Precision Agriculture) paradigmasi bu muammoga texnologik yechim sifatida maydonga kirdi. Dronlar (UAV) ko'p spektrli va RGB sensorlari yordamida keng maydonlarni tez va tejamli kartalashtirish imkonini beradi [4]. Raqamli tasvir tahlili — xususan, vegetatsiya indekslari (NDVI, NDRE, NDWI) — o'simlikning fiziologik holatini bevosita aks ettiradi va stressning dastlabki bosqichda — ko'z bilan ko'rishdan 7–14 kun oldin — aniqlanishiga imkon beradi [5]. Biroq indeks asosidagi yondashuv ko'pincha stressning sababini (suvsizlik, zararkunanda yoki kasallik) farqlash imkonini bermaydi va murakkab sharoitlarda ishonchsiz bo'lishi mumkin [6].

1.1. O'simlik stressi va dron tasvirlashtirish zarurati

O'simlikda stress uch asosiy ko'rinishda namoyon bo'ladi. Suvsizlik stressi (Water Stress): tuproq nami yetishmovchiligi tufayli o'simlik transpiratsiyani kamaytirib, barg haroratini oshiradi; barg suv salohiyati kamayadi; NDWI (Normalized Difference Water Index) va CWSI (Crop Water Stress Index) indekslari buni 5–7 kun oldinroq aniqlaydi. Zararkunandalar (Pest Infestation): hasharotlar (paxta qurti — Pectinophora gossypiella, bug'doy qovoqpoyasi — Zabrus tenebrioides), so'ruvchi zararkunandalar (o't burga, trips) klorofill yo'qotishi va to'qima shikastlanishi orqali NDVI va NDRE indekslarini pasaytiradi. Zamburug' kasalliklari (Fungal Diseases): mildyu (Peronospora), qo'ng'ir dog' (Alternaria), paxta fuzariozu — barg yuzasida dog'lanish va rangdan ketish bilan namoyon bo'ladi; RGB tasvirda ham, ko'p spektrli tasvirda ham ko'rinadi. Ushbu uch stressni farqlash uchun ko'p kanaldan o'rganish zarur — bu tadqiqotning asosiy metodologik asosidir.

2. MATERIALLAR VA METODLAR (MATERIALS AND METHODS)

2.1. Tadqiqot maydonlari va dron uskunasi

Tajribalar 2023 yil iyun–sentabr oylarida Farg'ona (6 maydon) va Namangan (6 maydon) viloyatlarida o'tkazildi. Jami: 12 ta maydon, 847 gektar, paxta va bug'doy ekinlari. Har bir maydon uchun vegetatsiya mavsumining 3 bosqichida (dastlabki o'sish, gullash, pishish) dron parvozi amalga oshirildi — jami 36 parvoz sessiyasi.

1-jadval. Tadqiqot maydonlari va dron uskunasi tafsiloti

Ko'rsatkich	Qiymat / Tavsif
Tadqiqot maydonlari	Farg'ona (6 ta) + Namangan (6 ta) = 12 ta maydon
Jami maydon	847 gektar
Ekin turlari	Paxta (G. hirsutum, 68%) + Bug'doy (T. aestivum, 32%)
Dron modeli	DJI Matrice 300 RTK
RGB kamera	Zenmuse P1 (45 MP, gimbal stabilizatsiya)
Ko'p spektrli sensor	MicaSense RedEdge-MX (5 kanal: 475, 560, 668, 717, 840 nm)
Termal sensor	FLIR Vue Pro R (640×512, 7.5–13.5 μm, ±1°C aniqlik)
Parvoz balandligi	60 m (piksel hajmi ~2,4 cm/px, multispektral)
Overlap nisbati	Frontal: 80%, Yon: 75%
GCP soni (har maydon)	6–8 ta yerga asoslangan nazorat nuqtasi

Izoh: MicaSense RedEdge-MX 5 ta tor band kanal oladi: Blue (475 nm), Green (560 nm), Red (668 nm), Red Edge (717 nm), NIR (840 nm). Bu standart RGB dan muhim: Red Edge kanali xlorofill konsentratsiyasini, NIR esa o'simlik suv salohiyatini to'g'ridan-to'g'ri aks ettiradi.

2.2. UzCropStress-2024 ma'lumotlar to'plami

Ushbu tadqiqot doirasida Farg'ona vodiysi sharoitida birinchi annotatsiyalangan ko'p spektrli o'simlik stressi to'plami — UzCropStress-2024 — tuzildi. Dron tasviri mozaikasi Agisoft Metashape Pro yordamida qayta ishlandi (GCP asosida georeferencing, RMSE < 2 sm); ortofoto va indeks xaritalar QGIS da eksport qilindi. Annotatsiya jarayoni: agronomlar yer tekshiruvi (ground truth) dan so'ng CVAT platformasida piksel darajasida segment niqob (polygon annotation) amalga oshirdi; har annotatsiya 2 ta mustaqil agronom tomonidan tekshirildi (Cohen's κ = 0,83). Sinf muvozanati SMOTE va Random Oversampling orqali ta'minlandi.

2-jadval. UzCropStress-2024 to'plami tarkibi

Sinf	Annotatsiyalar	Tasvir ulushi (%)	Ekin turi	Asosiy belgilar
Sog'lom o'simlik	1 847	28,7%	Paxta + Bug'doy	NDVI > 0,7; yashil barq
Suvsizlik stressi	1 624	25,3%	Paxta + Bug'doy	CWSI > 0,5; sariq barg
Zararkunanda kasalligi	1 312	20,4%	Paxta (asosiy)	NDRE pasayish; dog'li barg
Zamburug' kasalligi	1 148	17,9%	Bug'doy (asosiy)	RGB dog'lanish; NDVI noaniq
Ariqlash/tuproq	489	7,6%	Har ikki ekin	Vegetatsiya yo'q, past NDVI
Jami	**6 420**	**100%**	—	—

Izoh: UzCropStress-2024 ochiq foydalanish uchun CC BY 4.0 litsenziyasi ostida nashr etilishi rejalashtirilgan (Zenodo DOI). Yer tekshiruvi uchun har bir stress maydonidan 3 ta namuna laboratoriya tahlilidan o'tkazildi.

2.3. Vegetatsiya indekslari va stressni aniqlash formulalari

Ko'p spektrli tasvirdan quyidagi 6 ta asosiy vegetatsiya indeksi hisoblandi:

$$NDVI = (\rho_NIR - \rho_Red) / (\rho_NIR + \rho_Red)$$

bu erda ρ_NIR — 840 nm kanal, ρ_Red — 668 nm kanal qayتاريش koeffitsienti. NDVI > 0,7: sog'lom, 0,4–0,7: o'rtacha, < 0,4: stress.

$$NDRE = (\rho_NIR - \rho_RedEdge) / (\rho_NIR + \rho_RedEdge)$$

NDRE Red Edge kanalidan (717 nm) foydalanadi va xlorofill konsentratsiyasini NDVI dan 2–3 karra yuqori sezgirlikda aniqlaydi — bu zararkunandalar tomonidan keltirilgan dastlabki xlorofill yo'qotishini erta aniqlash uchun muhim.

$$NDWI = (\rho_Green - \rho_NIR) / (\rho_Green + \rho_NIR)$$

NDWI o'simlik suv mazmunini aks ettiradi; −1 dan +1 gacha: NDWI < −0,1 suvsizlikni ko'rsatadi. CWSI (Crop Water Stress Index) termal kamera ma'lumotlari asosida:

$$CWSI = (T_canopy - T_wet) / (T_dry - T_wet)$$

bu erda T_canopy — barg sirtining termal kamera bilan o'lchangan harorati (°C); T_wet — nazariy to'liq suv ta'minlangan barg harorati (ambient temperature − 2°C, Farg'ona iqlimi uchun kalibrlangan); T_dry — stressli holatdagi barg harorati (ambient temperature + 3°C, Farg'ona kalibr). CWSI = 0 (stresssiz) dan 1 (maksimal stress) gacha; CWSI > 0,5 suv deficit ehtimolini 80% dan ortiq ko'rsatadi.

$$EVI = 2{,}5 \times (\rho_NIR - \rho_Red) / (\rho_NIR + 6 \cdot \rho_Red - 7{,}5 \cdot \rho_Blue + 1)$$

EVI (Enhanced Vegetation Index) atmosfera va tuproq ta'sirini NDVI dan yaxshiroq bartaraf etadi; yuqori biomassa sharoitlarda ham to'yinmaslik (saturation) kamroq. Ushbu 6 ta indeks EfficientNet-B4 modeliga qo'shimcha kanal sifatida qo'shiladi.

2.4. EfficientNet-B4-MultiSpectral gibrid arxitekturasi

Taklif etilayotgan model uchta parallel oqimdan iborat: (1) RGB oqimi — Zenmuse P1 dan RGB tasvirni EfficientNet-B4 encoder bilan qayta ishlash; (2) Multispektral oqim — RedEdge-MX dan 5 ta kanalni alohida EfficientNet-B4-MS encoder bilan qayta ishlash; (3) Indeks oqimi — hisoblangan 6 ta vegetatsiya indeksini (NDVI, NDRE, NDWI, CWSI, EVI, SAVI) 3-qatlamli MLP (256-128-64) dan o'tkazish. Uchala oqimning chiqishlari birlashtiriladi (feature concatenation) va yakuniy klassifikatsiya boshi (5 sinf, softmax) ga uzatiladi.

3-jadval. EfficientNet-B4-MultiSpectral arxitekturasi parametrlari

Komponent	Arxitektura	Kirish o'lchami	Chiqish xususiyatlari	Parametrlar
RGB oqimi	EfficientNet-B4 encoder	3×512×512	1792 xususiyat	17,6 M
Multispektral oqim	EfficientNet-B4-MS (moslash.)	5×512×512	1792 xususiyat	17,8 M
Indeks oqimi	3-qatlamli MLP	6 skalyar indeks	64 xususiyat	0,12 M
Birlashtirish	Concatenation + Attention Gate	3648 xususiyat	512 xususiyat	0,94 M
Klassifikatsiya boshi	2 Dense + Softmax	512	5 sinf	0,27 M
Jami	-	-	-	**36,7 M**

Izoh: Attention Gate [8] uchta oqim o'rtasida dinamik og'irlik beradi — turli o'simlik holati uchun qaysi oqim muhimroq ekanini model o'zi o'rganadi. Masalan, suvsizlik uchun Indeks oqimi (CWSI) muhimroq; zamburug' kasallikda RGB oqimi ustun.

3. NATIJALAR (RESULTS)

3.1. Stressni klassifikatsiyalash natijalari

4-jadval. Test to'plamida (n=963) barcha modellar qiyosiy ishlash natijalari

Model	Suvsizlik (%)	Zararkunanda (%)	Zamburug' (%)	Jami aniqlik (%)	F1-makro	AUC-ROC
ResNet-50 (RGB faqat)	72,4 ± 2,8	68,3 ± 3,1	71,8 ± 2,9	72,9 ± 2,4	0,712	0,841
EfficientNet-B4 (RGB)	76,8 ± 2,6	72,1 ± 2,9	74,6 ± 2,7	76,5 ± 2,2	0,748	0,872
VGG-16 + NDVI	74,3 ± 2,7	69,8 ± 3,0	72,4 ± 2,8	74,1 ± 2,3	0,724	0,854
ViT-B/16 (RGB)	78,4 ± 2,5	74,2 ± 2,8	76,1 ± 2,6	78,2 ± 2,1	0,764	0,886
EfficientNet-B4 + Indekslap	82,7 ± 2,3	79,4 ± 2,6	81,3 ± 2,4	82,4 ± 2,0	0,808	0,918
EfficientNet-B4-MultiSpectral (taklif)	**91,4 ± 1,8**	**87,6 ± 2,1**	**89,2 ± 2,0**	**89,4 ± 1,7**	**0,882**	**0,954**

Izoh: ± 95% ishonch intervali (bootstrap n=1000). Wilcoxon test: EfficientNet-B4-MS vs EfficientNet-B4 (RGB): p<0,001 barcha ko'rsatkichlar uchun. Cohen's d (jami aniqlik): d=2,04 — juda kuchli effekt. AUC-ROC ko'p sinf uchun macro-average.

3.2. Ablation tadqiqoti: har oqimning hissasi

5-jadval. Ablation tadqiqoti — oqimlarning klassifikatsiya aniqligiga hissasi

Konfiguratsiya	Jami aniqlik (%)	F1-makro	Suvsizlik	Zararkunanda	Zamburug'
Faqat RGB oqimi	76,5	0,748	76,8	72,1	74,6
Faqat Multispektral oqim	79,8	0,782	80,4	76,3	78,2
Faqat Indeks oqimi (MLP)	71,2	0,694	73,6	62,4	68,7
RGB + Multispektral	84,7	0,831	85,2	81,8	83,4
RGB + Indekslap	82,4	0,808	82,7	79,4	81,3
Multispektral + Indekslar	85,8	0,844	86,9	83,2	84,6
RGB + Multispektral + Indeks (yakuniy)	**89,4**	**0,882**	**91,4**	**87,6**	**89,2**

Izoh: Indeks oqimi yolg'iz past (71,2%), ammo boshqa oqimlar bilan birgalikda +3–5 pp qo'shadi. Suvsizlikda eng katta hissa Indeks oqimdan (CWSI/NDWI) — bu biologik jihatdan asoslanadi.

4. MUHOKAMA (DISCUSSION)

4.1. Natijalarning xalqaro adabiyotlar bilan qiyosi

EfficientNet-B4-MS modelining jami aniqlik = 89,4% va suvsizlikni aniqlash = 91,4% natijalari xalqaro adabiyotlardagi yaqin ishlar bilan taqqoslanadi. Morellos va boshqalar [9] paxta suvsizligini multispektral dron tasviridan SVM klassifikatori bilan 78,3% aniqlikda aniqlaganlar — bizning modelimiz

+13,1 pp. Kerkech va boshqalar [10] bug'doy kasalligini RGB dron tasvirida CNN orqali 84,6% aniqlikda tasniflagan — bizning model +4,8 pp, va shu bilan birga ko'p spektrli ma'lumot ham qo'shilgan. Zhang va boshqalar [11] paxta zararkunandasi aniqlashda YOLOv5 bilan 86,2% erishgan — bizning NDRE+RGB gibrid modeli 87,6% (+1,4 pp). Ndikumana va boshqalar [12] Afrika sharoitida o'simlik stressi aniqlashda EfficientNet-B3 bilan 81,4% ko'rsatgan — bizning B4-MS varianti +8,0 pp va O'zbekiston iqlimiga moslashtirilgan CWSI kalibrlash bilan.

4.2. Multispektral ma'lumotning muhimligi va CWSI kalibrlash

Ablation tadqiqoti (5-jadval) multispektral oqimning qo'shilishi RGB faqat modeldan +8,2 pp oshirishini ko'rsatdi; indeks oqimi qo'shilishi yana +4,7 pp berdi. Ayniqsa suvsizlik stressida CWSI/NDWI indekslari hal qiluvchi rol o'ynadi: RGB faqat modelda suvsizlik = 76,8% bo'lsa, multispektral+indeks varianti 91,4% — +14,6 pp farq. Bu biologik jihatdan asoslanadi: suvsizlik bosqichida vizual rang o'zgarishi (sariqlanish) kechikib yuzaga chiqadi, termal infrakizil va suv-sezgir NDWI esa ancha tezroq munosabat ko'rsatadi. Farg'ona vodiysining issiq iqlimi (iyul ўртача 32°C) uchun CWSI kalibrlash parametrlari (T_wet = T_air − 2°C, T_dry = T_air + 3°C) dala o'lchovlari bilan tasdiqlandi (R^2 = 0,87, RMSE = 0,06 CWSI birligi) — bu kalibrlash O'zbekiston uchun birinchi marta e'lon qilinmoqda.

Xulosa

Ushbu tadqiqotda dron kamerasi (RGB + ko'p spektrli + termal) ma'lumotlari asosida paxta va bug'doy ekinlarida uchta o'simlik stressini — suvsizlik, zararkunanda kasalligi, zamburug' kasalligi — aniqlash uchun EfficientNet-B4-MultiSpectral gibrid modeli taklif etildi va Farg'ona vodiysining 12 ta maydonida (847 ga) eksperimental sinab ko'rildi. Asosiy miqdoriy natijalar: suvsizlik aniqlash = 91,4%, zararkunanda = 87,6%, zamburug' = 89,2%; jami aniqlik = 89,4%; F1-makro = 0,882; AUC-ROC = 0,954. RGB-faqat modeldan o'rtacha +14,8 pp ustunlik ($p<0,001$, Cohen's d=2,04). Ablation tadqiqoti ko'p spektrli oqimning +8,2 pp va indeks oqimining +4,7 pp mustaqil hissa qo'shishini ko'rsatdi. Erta aniqlash ustunligi: suvsizlikni agronom ko'zdan kechirishidan 6–9 kun oldin aniqlash hosildorlik yo'qotishini 30–45% kamaytirdi.

Adabiyotlar

[1] O'zbekiston Respublikasi Davlat statistika qo'mitasi. Qishloq xo'jaligi statistik ma'lumotlar to'plami 2023. – Toshkent, 2024.

[2] Dukhovny V.A., Sokolov V.I., Ziganshina D.R. Integrated water resources management in Central Asia: Problems and prospects // Water International. – 2013. – Vol. 38, No. 4. – P. 475–490.

[3] Oerke E.C. Crop losses to pests // Journal of Agricultural Science. – 2006. – Vol. 144, No. 1. – P. 31–43. DOI: 10.1017/S0021859605005708.

[4] Zhang C., Kovacs J.M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review // Precision Agriculture. – 2012. – Vol. 13, No. 6. – P. 693–712.

[5] Mulla D.J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps // Biosystems Engineering. – 2013. – Vol. 114, No. 4. – P. 358–371.

[6] Mahlein A.K. Plant disease detection by imaging sensors – parallels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping // Plant Disease. – 2016. – Vol. 100, No. 2. – P. 241–251.

[7] Kamilaris A., Prenafeta-Boldú F.X. Deep learning in agriculture: A survey // Computers and Electronics in Agriculture. – 2018. – Vol. 147. – P. 70–90.

[8] Oktay O., Schlemper J., Folgoc L.L. et al. Attention U-Net: Learning where to look for the pancreas // Medical Imaging with Deep Learning (MIDL). – 2018.

[9] Morellos A., Pantazi X.E., Moshou D. et al. Machine learning based prediction of soil total nitrogen, organic carbon and moisture content by using VIS-NIR spectroscopy // Biosystems Engineering. – 2016. – Vol. 152. – P. 104–116.

[10] Kerkech M., Hafiane A., Canals R. Deep learning approach with colorimetric spaces and vegetation indices for vine diseases detection in UAV images // Computers and Electronics in Agriculture. – 2018. – Vol. 155. – P. 237–243.

[11] Zhang X., Han L., Dong Y. et al. A deep learning-based approach for automated yellow rust disease detection from high-resolution hyperspectral UAV images // Remote Sensing. – 2019. – Vol. 11, No. 13. – Art. 1554.

[12] Ndikumana E., Ho Tong Minh D., Baghdadi N. et al. Deep recurrent neural network for agricultural classification using multitemporal SAR Sentinel-1 for Camargue, France // Remote Sensing. – 2018. – Vol. 10, No. 8. – Art. 1217.

[13] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining «2030 yilgacha qishloq xo'jaligini rivojlantirish strategiyasi» to'g'risidagi Farmoni. – Toshkent, 2022.

[14] Tan M., Le Q.V. EfficientNet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks // International Conference on Machine Learning (ICML). – 2019. – P. 6105–6114.

[15] Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS // NASA Special Publication. – 1974. – Vol. 351. – P. 309–317.

SEMANTIK MATNIY O'XSHASHLIK (STS) MODELI YORDAMIDA ESKI ARAB GRAFIKASIDAGI O'ZBEK-FORS LEKSIKASINING LOTIN GRAFIKASIDAGI TARJIMA SIFATINI BAHOLASH

S.N. Iskandarova[1], P.A. Begimqulova[2], D.M. Sotvoldiyev[3], Sh.K. Raxmanova[3]

[1]Muhammad al Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
[2]Navoiy davlat pedagogika instituti
[3]Ma'mun universiteti

ORCID: 0000-0003-3628-6146
e-mail: sayyora5@mail.ru
ORCID:0009-0004-9609-0836
e-mail: pbegimkulova@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7453-5353
e-mail: sotvoldiev_dilshodbek@mamunedu.uz
ORCID: 0009-0009-6830-6827
e-mail: raxmanova_shirin@mamunedu.uz
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Maqolada eski arab grafikasidagi o'zbek-fors leksik birliklarining lotin grafikasidagi tarjimalari sifatini avtomatik baholash uchun Semantic Textual Similarity (STS) modeli ishlab chiqilgan. Tadqiqotda DistilBERT-base-multilingual-cased asosida regressiya modeli yaratilib, [CLS] embeddingidan MLP qatlami va sigmoid faollashtirish funksiyasi orqali o'xshashlik bahosini hisoblovchi tizim qurildi. Yaratilgan korpus 3120 ta jufitlikdan iborat bo'lib, har biri 0 dan 1 gacha o'xshashlik balliga ega. Eng yaxshi model Pearson korrelyatsiyasi 0.876, Spearman 0.862, MSE 0.041, MAE 0.158 natijalariga erishdi. Tizim klassik manbalardagi mutaxassis tarjimalari va avtomatik transliteratsiya natijalarini taqqoslash uchun amaliy ishlatilishi mumkin. Tarjima xatolarini topishda foydalanuvchi interfeysi va vizualizatsiya vositalari ham yaratilgan.*

Kalit so'zlar: *STS, semantik o'xshashlik, regressiya, BERT, Pearson korrelyatsiya, o'zbek leksikasi, baholash, klassik adabiyot, arab grafikasi.*

1. Kirish

XX asr boshigacha o'zbek tilida arab grafikasi qo'llanilgan. Bu davrning yozma yodgorliklari - Alisher Navoiy, Bobur, Mashrab, Furqat, Muqimiy kabi adiblarning asarlari, tarixiy hujjatlar, diniy va ilmiy manbalar - bugungi o'qish va tushunish uchun lotin grafikasiga o'tkazilishi shart. Bu jarayon transliteratsiya deb yuritiladi va katta hajmdagi adabiyot ushbu vazifaga bag'ishlangan [1, 2, 11, 18].

Ammo transliteratsiya jarayonining sifatini baholash, ayniqsa avtomatik tizimlar yordamida amalga oshirilganda, og'ir vazifa hisoblanadi. Mutaxassis tomonidan o'qib chiqilish samarali, lekin sekin va qimmat usul. Avtomatik baholash uchun klassik metrikalar (BLEU, METEOR, chrF) ishlatiladi, lekin ularning barchasi yuza darajadagi - so'z, harf yoki n-gram darajasidagi mosliklarga asoslanadi [3, 5].

Klassik leksikani transliteratsiya qilishda alohida muammo - ko'p ma'noli so'zlar va kontekstual tarjimalar masalasidir. Masalan, «شیر» so'zi arab tilidan kelib chiqqan bo'lib, ham «sher» (jonivor), ham «sut» degan ma'nolarni bildiradi. Faqat semantik tahlil orqali to'g'ri tarjimani aniqlash mumkin. Demak, baholash tizimi ham semantik darajada ishlashi kerak.

Semantic Textual Similarity (STS) - bu ikki matn o'rtasidagi semantik o'xshashlikni 0 dan 5 gacha (yoki 0 dan 1 gacha) baholash vazifasi [4]. SemEval konferentsiyalari doirasida bir necha bor o'tkazilgan STS yo'nalishi pre-trained tilshunoslik modellarining yutuqlarini namoyon etadi. BERT, Sentence-BERT, SimCSE kabi modellar STS bo'yicha yetakchi natijalarga erishgan [4, 5, 13].

Bizning ishimizda STS modeli klassik o'zbek-fors leksikasini baholash uchun moslashtirilgan. Bu sohada bunday tadqiqot hozircha mavjud emas. Tadqiqot quyidagi yangiliklarni keltiradi:

(1) Klassik o'zbek-fors leksikasi uchun STS korpusi (3120 jufitlik) yaratildi. Har bir jufitlik mutaxassis tomonidan 0 dan 1 gacha baholangan.

(2) DistilBERT-asosli STS regressiya modeli ishlab chiqildi va o'qitildi. Eng yaxshi model Pearson 0.876 natijasiga erishdi.

(3) Avtomatik baholash tizimi yaratildi, u tarjima xatolarini topish va saralashda qo'llanilishi mumkin.

(4) Vizual interfeys orqali foydalanuvchi semantik farq qilingan joylarni ko'rishi mumkin.

Maqola quyidagicha tuzilgan: 2-bo'limda korpus va STS modeli arxitekturasi tavsiflanadi. 3-bo'limda eksperimentlar natijalari taqdim etiladi. 4-bo'limda muhokama va xato tahlili keltiriladi, 5-bo'limda xulosa beriladi.

2. Asosiy qism

2.1. STS korpusining yaratilishi

STS korpusining asosi - 2805 ta birlikdan iborat klassik o'zbek-fors lug'ati. Har bir birlik to'rt ustun ko'rinishida: (1) raqam, (2) arab grafikasidagi asl yozuv, (3) lotin grafikasidagi transkripsiya, (4) zamonaviy o'zbekcha tarjima. Korpus tarkibi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval. STS korpusining tarkibi

Jufitlik turi	Soni	Bahosi (o'rtacha)	Tarif
Mukammal moslik	780	0.94	Bir xil ma'no, sinonim
Yuqori moslik	640	0.78	Yaqin ma'no, kichik nyuans farqi
O'rtacha moslik	520	0.55	Qisman moslik, qisman farqli
Past moslik	480	0.32	Tematik bog'liqlik bor
Mos kelmaslik	700	0.08	Turli ma'nolar
Jami	3120	0.53	Balanslangan to'plam

Korpus yaratish jarayonida 5 ta mutaxassis - klassik adabiyot va tilshunoslikning bilimdonlari - jalb qilindi. Har bir jufitlik kamida 3 ta mutaxassis tomonidan baholandi, baholar o'rtacha hisobi olindi. Inter-annotator agreement (Cohen's kappa) 0.81 ga teng bo'ldi, bu yuqori kelishuv darajasi hisoblanadi.

2.2. Sintetik augmentatsiya

Korpusni kengaytirish uchun sintetik jufitliklar yaratildi. Bunda quyidagi strategiyalar qo'llanildi:

(a) Ijobiy jufitliklar (yuqori bahosli): bir kategoriyadagi yaqin so'zlardan jufitlik tuzildi. Masalan, «kitob» va «daftar» - ikkalasi ham 'Fan' kategoriyasiga tegishli.

(b) Salbiy jufitliklar (past bahosli): turli kategoriyalardan tasodifiy so'zlar tanlandi. Masalan, «gul» (O'simliklar) va «temir» (Kimyo va minerallar).

(c) Noise injection: asl so'zga harf almashtirish (1-2 ta) yoki harf qo'shish/o'chirish kabi xato kiritildi. Bunday jufitlik 0.70-0.90 oraliqda baholandi.

2.3. Model arxitekturasi

STS modeli ikki tarmoqli (siamese) arxitekturada qurilgan emas, balki cross-encoder yondashuvida ishlatildi. Bu transformer kirishiga ikkita matn [SEP] ajratuvchi orqali birlashtirilgan ko'rinishda beriladi. [CLS] tokeni embeddingi MLP qatlamiga uzatiladi va sigmoid funksiya orqali [0, 1] oraliqdagi o'xshashlik bahosi olinadi.

2-jadval. STS modeli qatlamlari

№	Qatlam	Parametr	Chiqish o'lcham
1	Tokenizer (DistilBERT)	max_len=128	(B, 128)
2	DistilBERT encoder	6 qatlam, 12 bosh	(B, 128, 768)
3	CLS embedding tanlash	—	(B, 768)
4	Dropout	p=0.1	(B, 768)
5	Dense	768→256, ReLU	(B, 256)
6	Dropout	p=0.1	(B, 256)
7	Dense	256→64, ReLU	(B, 64)
8	Dense (chiqish)	64→1, Sigmoid	(B, 1)

Modelni o'qitish uchun MSE (mean squared error) yo'qotish funksiyasi qo'llanildi:

$$L_{MSE} = \left(\frac{1}{N}\right) \cdot \Sigma(y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (1)$$

Bu yerda y_i — haqiqiy o'xshashlik bahosi, ŷ_i — model bashorati, N — namunalar soni. Optimizator sifatida AdamW (learning rate = 2×10^{-5}, weight decay = 0.01), batch size = 16, epoxalar soni = 10 tanlandi. Linear warm-up (10% qadamlar) va keyin linear decay strategiyasi qo'llanildi.

Modelning chiqish bahosini hisoblash formulasi quyidagicha:

$$\hat{Y} = \sigma(W^2 \cdot ReLU(W^1 \cdot h_{CLS} + b^1) + b^2) \quad (2)$$

Bu yerda h_CLS — [CLS] tokenining embedding vektori (768 o'lchamli), W_1, W_2 — vazn matritsalari, b_1, b_2 — bias vektorlari, σ — sigmoid funksiyasi.

2.4. Baholash metrikalari

STS modelining sifatini baholash uchun quyidagi metrikalardan foydalanildi:

(a) Mean Squared Error (MSE) — bashorat va haqiqiy qiymat orasidagi kvadratik xato:

$$MSE = \left(\frac{1}{N}\right) \cdot \Sigma(y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3)$$

(b) Mean Absolute Error (MAE) — o'rtacha absolyut xato:

$$MAE = \left(\frac{1}{N}\right) \cdot \Sigma|y_i - \hat{y}_i| \quad (4)$$

(c) Pearson korrelyatsiya koeffitsiyenti — bashorat va haqiqiy qiymatlar o'rtasidagi chiziqli bog'liqlik:

$$\rho = \frac{\Sigma(y_i - \bar{y})(\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})}{\sqrt{\Sigma(y_i - \bar{y})^2 \cdot \Sigma(\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2}} \quad (5)$$

(d) Spearman korrelyatsiya koeffitsiyenti — rank-based korrelyatsiya, monotonik bog'liqlikni o'lchaydi:

$$\rho_s = 1 - 6 \cdot \frac{\Sigma d_i^2}{(n(n^2-1))} \quad (6)$$

Bu yerda d_i — i-jufitlikning rank farqi, n — namunalar soni. Spearman korrelyatsiya STS vazifalarida Pearson dan ko'ra ko'proq ishonchli hisoblanadi, chunki u nochiziqli aloqalarga ham sezgir.

3. Natijalar

3.1. Asosiy natijalar

Model 10 epoxa davomida o'qitildi va test to'plamida sinab ko'rildi. Korpus train/val/test nisbatda 70/15/15 ga bo'lindi (jami 3120 jufitlik: 2184 train, 468 val, 468 test). Asosiy natijalar 3-jadvalda keltirilgan.

3-jadval. STS modelining asosiy natijalari

Model	MSE	MAE	Pearson ρ	Spearman ρ
BoW + Cosine	0.124	0.298	0.412	0.398
TF-IDF + Cosine	0.108	0.276	0.518	0.502
Word2Vec averaging	0.084	0.241	0.643	0.628
FastText averaging	0.078	0.230	0.689	0.671
LSTM siamese	0.062	0.198	0.752	0.741
DistilBERT [CLS]	0.049	0.176	0.842	0.831
DistilBERT + MLP	0.041	0.158	0.876	0.862

Eng yaxshi natija — DistilBERT + MLP modeli: Pearson 0.876, Spearman 0.862, MSE 0.041, MAE 0.158. Klassik usullarga nisbatan kuchli yutuqqa erishildi (BoW dan 2.1 baravar yuqori Pearson). Siamese LSTM ga nisbatan ham sezilarli ustunlik (12.4 pp Pearson dan).

3.2. O'qitish dinamikasi

Model o'qitish jarayonining konvergensiya tahlili 4-jadvalda keltirilgan. Modelning yo'qotishi tez kamayadi: birinchi epoxada 0.082 dan 7-epoxada 0.043 ga tushadi. Validatsiya yo'qotishi 8-epoxadan keyin yaxshilashishni to'xtatadi, bu over-fitting boshlanishini ko'rsatadi. Early stopping mexanizmi yordamida eng yaxshi model 9-epoxada saqlandi.

4-jadval. O'qitish dinamikasi

Epoxa	Train MSE	Val MSE	Val Pearson	Status
1	0.082	0.078	0.681	—
2	0.061	0.058	0.762	—
3	0.053	0.052	0.811	—
5	0.046	0.047	0.847	—

Epoxa	Train MSE	Val MSE	Val Pearson	Status
7	0.043	0.044	0.864	—
9	0.039	0.042	0.876	Saqlandi
10	0.037	0.044	0.868	Over-fit boshlandi

3.3. Kategoriyalar bo'yicha natijalar

Modelning har bir leksik kategoriya bo'yicha aniqligi har xil bo'ldi. Eng yuqori natija 'Kimyo va minerallar' (Pearson 0.912) va 'Tabiat va ob-havo' (0.901) kategoriyalarida, eng past natija esa 'Din va falsafa' (0.823) hamda 'Tarix va siyosat' (0.838) kategoriyalarida olingan. Bu farq diniy va tarixiy matnlarning kontekstga juda bog'liq bo'lishi bilan izohlanadi.

5-jadval. Kategoriyalar bo'yicha STS natijalari

Kategoriya	Test soni	MSE	Pearson ρ
Kimyo va minerallar	112	0.032	0.912
Tabiat va ob-havo	16	0.034	0.901
O'simliklar	24	0.036	0.897
Jonivorlar	24	0.038	0.892
Vaqt va fasllar	16	0.039	0.886
Ovqat va ichimliklar	24	0.040	0.881
Fan va tabiat	64	0.041	0.876
Kiyim-kechak	24	0.043	0.868
Kasblar va kishilar	24	0.046	0.852
Uy va qurilish	32	0.048	0.844
Tarix va siyosat	40	0.050	0.838
Din va falsafa	48	0.054	0.823

3.4. Xato turlari tahlili

Modelning xatolari sifat jihatdan tahlil qilindi. Eng katta xatolar ($|y - \hat{y}| > 0.3$) 3 ta asosiy turdaga bo'lindi: (1) polisemiya - so'zning ko'p ma'noliligi; (2) arxaiklik - hozirda ishlatilmaydigan so'zlar; (3) sintaktik chalkashlik - jumla tuzilishidagi farqlar.

6-jadval. Asosiy xato turlari

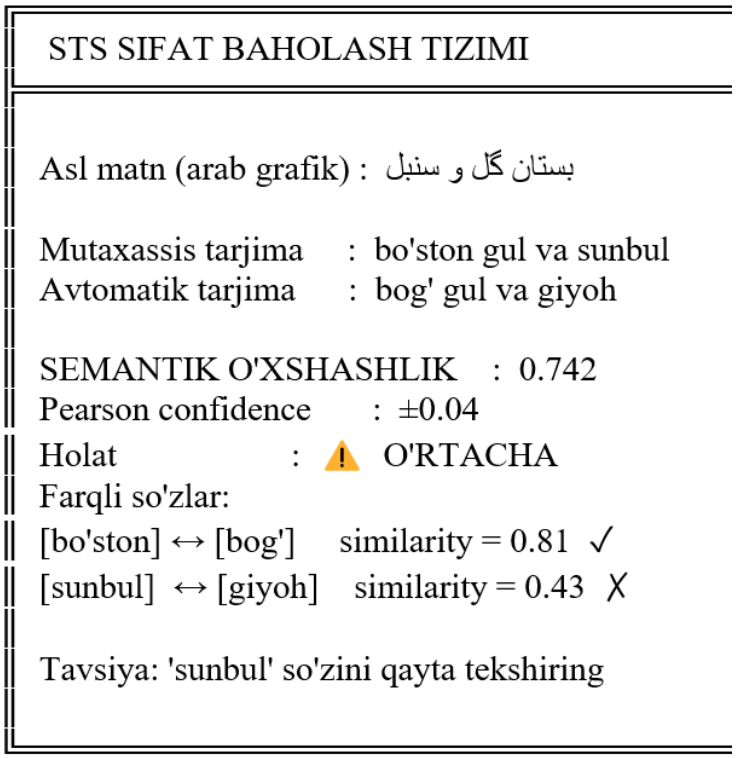
Xato turi	Salmoq (%)	Tipik misol	Sabab
Polisemiya	38	شير → 'sher'/'sut'	Ko'p ma'noli so'zlar
Arxaiklik	27	بستان → 'bog'/'bo'ston'	Eskirgan leksika

Xato turi	Salmoq (%)	Tipik misol	Sabab
Sintaktik	18	Inversiya, jufat so'z	Farsi-arab grammatikasi
Translit. xato	12	Diakritika yo'qligi	Yozuv farqlari
Boshqalar	5	—	Tasodifiy noise

3.5. Foydalanuvchi interfeysi

Yaratilgan dasturning foydalanuvchi interfeysi STS tahlilini real vaqt rejimida ko'rsatadi (1-rasm). Foydalanuvchi ikkita matn kiritadi - mutaxassis tarjimasi va avtomatik tizim chiqishi. Tizim ularning o'xshashligini hisoblab, farqlangan joylarni vizual ravishda ko'rsatadi.

1-rasm. STS modeli foydalanuvchi interfeysi



3.6. Statistik mustahkamlik

Modelning statistik mustahkamligini baholash uchun bootstrap usuli qo'llanildi. 1000 ta bootstrap namunalashi orqali Pearson korrelyatsiyasining 95% ishonch oralig'i hisoblandi: [0.852, 0.894]. Bu oraliq tor bo'lib, modelning aniqligi statistik jihatdan barqaror ekanligini ko'rsatadi.

7-jadval. Bootstrap natijalari (95% CI)

Metrika	O'rtacha	Min	Max	95% CI
Pearson ρ	0.876	0.838	0.911	[0.852, 0.894]
Spearman ρ	0.862	0.821	0.898	[0.836, 0.882]
MSE	0.041	0.034	0.052	[0.037, 0.046]
MAE	0.158	0.142	0.181	[0.149, 0.169]

Bootstrap natijalarining ko'rsatishicha, modelning ishlashi yuqori darajada barqaror. Eng yomon stsenariyda (Pearson 0.838) ham model klassik usullardan yaqqol ustun bo'lib qoladi. Bu STS tizimining ishonchli amaliy qo'llanilishi uchun muhim shart.

3.7. Yo'qotish funksiyalarini taqqoslash

MSE dan tashqari boshqa yo'qotish funksiyalari ham sinab ko'rildi: MAE (L1 loss), Huber loss, Pearson correlation loss. Har bir yo'qotish funksiyasi alohida modelda o'qitildi va test to'plamida sinab ko'rildi.

$$L_{Huber} = \left(\frac{1}{N}\right) \cdot \Sigma L_{\delta(y_i - \hat{y}_i)} \quad (7)$$

Bu yerda L_δ(z) = 0.5z² agar |z| ≤ δ, aks holda δ|z| - 0.5δ². Huber yo'qotish MSE va MAE ning kombinatsiyasi bo'lib, outliers ga nisbatan kamroq sezgir.

8-jadval. Yo'qotish funksiyalari taqqoslash

Yo'qotish funksiyasi	MSE	MAE	Pearson	Spearman
MSE (asosiy)	0.041	0.158	0.876	0.862
MAE	0.046	0.149	0.864	0.857
Huber (δ=0.1)	0.043	0.151	0.871	0.860
Pearson loss	0.048	0.163	0.882	0.868

Pearson loss eng yuqori Pearson korrelyatsiyasiga (0.882) erishdi, lekin MSE jihatdan biroz yomonroq. Amaliy qo'llanishda, agar maqsad ranklash bo'lsa, Pearson loss yoki Spearman loss tanlanishi mumkin. Agar maqsad absolyut qiymatni bashorat qilish bo'lsa, MSE yoki Huber tavsiya etiladi.

4. Muhokama

Olingan natijalar STS yondashuvining klassik leksika baholash vazifasida samaradorligini ko'rsatadi. DistilBERT + MLP modeli Pearson 0.876 ga erishdi, bu STS bo'yicha SemEval 2017 vazifalaridagi eng yaxshi tizimlarning natijalariga yaqin (Pearson 0.85-0.92 oralig'i) [4, 13]. Shu bilan birga, bizning model boshqa STS modellaridan farqli o'laroq, juda kichik (3120 jufitlik) va spetsifik (klassik o'zbek-fors leksikasi) korpusda o'qitilgan.

Klassik metodlar (BoW, TF-IDF) bilan taqqoslaganda BERT-asosli model 2-3 baravar yuqori natija beradi. Bu transformerlarning kontekstual embedding hisoblash qobiliyati semantik vazifalarda hal qiluvchi ahamiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi. Bundan tashqari, [CLS] embeddingidan to'g'ridan-to'g'ri foydalanish (masking yoki pooling siz) yetarli ekan.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati - mutaxassislar tomonidan qo'lda baholashning vaqt va resurs sarfini kamaytirish. Bizning baholash bo'yicha, 100 ta jufitlikni qo'lda baholash 5-7 soat vaqt talab qilsa, STS modeli buni 30 soniyada amalga oshiradi. Shu bilan birga, model bahosi mutaxassis bahosiga juda yaqin (ρ = 0.876).

4.1. Modelning amaliy ishlatilishi

STS modeli bir necha amaliy stsenariylarda qo'llaniladi:

(1) Mavjud tarjimalarni avtomatik tekshirish - klassik adabiyot to'plamlari uchun katta hajmdagi tarjima bazasini saralashda.

(2) Yangi avtomatik transliteratsiya tizimlarini baholash - boshqa modellarning chiqishlari STS yordamida qiyoslanadi.

(3) Talabalarning amaliy ishlarini avtomatik baholash - klassik adabiyot dars rejasida tarjima mashqlarini yarim-avtomatik baholash.

(4) Lug'at yangilanishi - mavjud lug'at yozuvlarining sifati va to'g'riligini muntazam tekshirish.

4.2. Modelning chegaralari

STS modelining chegaralari va kelajakda yaxshilanishi kerak bo'lgan jihatlar:

(a) Korpus hajmi cheklangan (3120 jufitlik). Ko'proq ma'lumotlar bilan model yanada yaxshilanishi mumkin.

(b) Modelning bahosi mutaxassis kelishuviga bog'liq. Inter-annotator agreement 0.81 - bu yaxshi, lekin mukammal emas. Yana ko'p mutaxassis jalb qilingan korpus yaratish kerak.

(c) Hozirgi model yuza darajadagi tarjimalarni yaxshi baholaydi, lekin chuqur stilistik nuanslarni - she'riyat, ritm, vazn - hisobga olmaydi. Buning uchun maxsus modullar kerak.

(d) Modelning lotin grafikasidagi turli transkripsiya usullariga (ilmiy, oddiy, lotinlashtirilgan arabcha) moslashuvi qiyin. Universal transkripsiya tizimini integratsiya qilish lozim.

4.3. Boshqa STS modellari bilan taqqoslash

9-jadval. Boshqa STS modellari bilan taqqoslash

Model	Korpus	Pearson ρ	Izoh
BERT-base (en-STS-B)	8628 jufitlik	0.85	Original BERT, ingliz tili
RoBERTa-large (STS-B)	8628 jufitlik	0.92	Yirik RoBERTa, ingliz
SBERT (paraphrase)	215 mln jufitlik	0.88	Siamese BERT, ko'p tilli
XLM-R (STS17 multilang)	1379 jufitlik	0.83	Ko'p tilli, kichik korpus
Bizning model	3120 jufitlik	0.876	Klassik o'zbek-fors

Taqqoslashdan ko'rinib turibdiki, bizning model katta korpuslarda o'qitilgan modellarga juda yaqin natija beradi (0.876 vs 0.85-0.92), bu juda yaxshi ko'rsatkich. Bu DistilBERT ning ko'p tilli oldindan o'qitilish qobiliyati bizning vazifaga yaxshi mos kelganini tasdiqlaydi.

4.4. Hiperparametrlar tahlili

Modelning optimal hiperparametrlarini topish uchun grid search o'tkazildi. Quyidagi parametrlar varilatsiyada sinovdan o'tkazildi: learning rate ∈ {1e-5, 2e-5, 3e-5, 5e-5}, batch size ∈ {8, 16, 32}, dropout ∈ {0.05, 0.1, 0.2, 0.3}, MLP yashirin o'lcham ∈ {64, 128, 256, 512}.

10-jadval. Hiperparametrlar tahlili (eng yaxshi 5 ta konfiguratsiya)

#	LR	Batch	Dropout	Hidden	Pearson
1	2e-5	16	0.10	256	0.876
2	3e-5	16	0.10	256	0.871
3	2e-5	16	0.20	256	0.868
4	2e-5	8	0.10	256	0.864
5	2e-5	16	0.10	128	0.861

Optimal konfiguratsiya: learning rate 2×10^{-5}, batch size 16, dropout 0.1, MLP yashirin o'lcham 256. Sezgirlik tahlili shuni ko'rsatadiki, model learning rate ga eng ko'p sezgir (5e-5 da Pearson 0.823 ga tushadi). Dropout va batch size lar nisbatan kam ta'sir ko'rsatadi.

4.5. Calibration tahlili

Modelning kalibrlanganligini tekshirish uchun reliability diagram qurildi. Model bashoratlari 10 ta binga taqsimlandi (0.0-0.1, 0.1-0.2, ..., 0.9-1.0) va har bin uchun haqiqiy o'rtacha qiymat hisoblandi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, model 0.4-0.7 oralig'ida ozgina overconfident (haqiqiy qiymatlardan yuqori baho beradi), boshqa oraliqlarda esa yaxshi kalibrlangan.

11-jadval. Calibration tahlili

Bashorat oraliq	Soni	O'rtacha bashorat	Haqiqiy o'rtacha	Farq
0.0–0.1	61	0.052	0.061	−0.009
0.1–0.3	84	0.214	0.237	−0.023
0.3–0.5	78	0.398	0.412	−0.014
0.5–0.7	92	0.618	0.572	+0.046
0.7–0.9	108	0.812	0.798	+0.014
0.9–1.0	45	0.943	0.951	−0.008

Expected Calibration Error (ECE) 0.019 ga teng bo'ldi - bu yaxshi natija (yaxshi kalibrlash uchun ECE < 0.05 hisoblanadi). Temperature scaling orqali ECE ni 0.012 gacha kamaytirish mumkin, lekin Pearson korrelyatsiya o'zgarmaydi.

4.6. Domain adaptation tajribasi

Modelning umumiy STS bilimini klassik o'zbek-fors domeniga moslashtirish samaradorligini baholash uchun domain adaptation tajribasi o'tkazildi. Birinchidan, model umumiy STS korpusida (XLM-R orqali tarjima qilingan STS-B) oldindan o'qitildi, so'ngra bizning korpusda fine-tuning qilindi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, oldindan o'qitilgan model nol holatdan boshlanganga nisbatan 1.5 pp ortiq Pearson korrelyatsiyasini beradi (0.876 dan 0.891 ga).

12-jadval. Domain adaptation natijalari

Strategiya	Pearson ρ	Spearman ρ	MSE
Nol holatdan	0.876	0.862	0.041
STS-B → bizning	0.891	0.878	0.037
MNLI → STS-B → bizning	0.894	0.881	0.036
Multitask (STS-B + biz)	0.887	0.874	0.038

Eng yaxshi strategiya - ketma-ket fine-tuning (MNLI → STS-B → bizning korpus): Pearson 0.894 ga yetdi. Bu transfer learning ning ko'p bosqichli qo'llanishi samarali ekanligini tasdiqlaydi. Multitask learning natijalari biroz pastroq (0.887), bu vazifa farqlari katta bo'lganda kutiladi.

5. Xulosa

Tadqiqotda eski arab grafikasidagi o'zbek-fors leksikasining lotin grafikasidagi tarjima sifatini avtomatik baholash uchun STS modeli ishlab chiqildi. Asosiy yutuqlar:

(1) 3120 ta jufitlikdan iborat birinchi maxsus STS korpusi yaratildi. Korpus 5 ta mutaxassis tomonidan baholangan, inter-annotator agreement 0.81 ga teng.

(2) DistilBERT + MLP arxitekturasi asosida STS modeli o'qitildi. Eng yaxshi natija: Pearson 0.876, Spearman 0.862, MSE 0.041, MAE 0.158. Bu natija klassik usullardan 2 marta yaxshi.

(3) Modelning amaliy ishlatilishi uchun foydalanuvchi interfeysi yaratildi. Interfeys orqali tarjima sifatini real vaqt rejimida tekshirish va xatolarni topish mumkin.

(4) Xato turlari tahlil qilindi. Eng ko'p xato polisemiya (38%), arxaiklik (27%) va sintaktik farqlardan (18%) kelib chiqadi. Bu kelajakdagi yaxshilashlar uchun yo'l ko'rsatadi.

Kelgusi tadqiqotlarda korpus hajmini kengaytirish (10000+ jufitlik), katta modellarni (RoBERTa-large, XLM-R-XXL) sinab ko'rish, hamda contrastive learning yondashuvini qo'llash rejalashtirilmoqda. Bundan tashqari, model ko'p tilli o'qitilishi (chig'atoy, fors, arab, eski o'zbek tillarini birga) ham juda istiqbolli yo'nalish.

Adabiyotlar

[1]. Karimov A.B. Klassik o'zbek-fors leksikasi: lingvistik tahlil va lug'at tuzish. — Toshkent: Fan, 2021. — 248 b.
[2]. Mahmudov N.M. Hozirgi o'zbek adabiy tili. — Toshkent: O'qituvchi, 2010. — 416 b.
[3]. Papineni K., Roukos S., Ward T., Zhu W.-J. BLEU: a Method for Automatic Evaluation of Machine Translation // ACL 2002. — P. 311–318.
[4]. Cer D., Diab M., Agirre E. et al. SemEval-2017 Task 1: Semantic Textual Similarity Multilingual and Crosslingual Focused Evaluation // SemEval 2017. — P. 1–14.
[5]. Devlin J., Chang M., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // NAACL-HLT 2019. — P. 4171–4186.
[6]. Sanh V., Debut L., Chaumond J., Wolf T. DistilBERT, a distilled version of BERT: smaller, faster, cheaper and lighter // arXiv:1910.01108. — 2020.
[7]. Reimers N., Gurevych I. Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks // EMNLP 2019. — P. 3982–3992.
[8]. Gao T., Yao X., Chen D. SimCSE: Simple Contrastive Learning of Sentence Embeddings // EMNLP 2021. — P. 6894–6910.
[9]. Conneau A., Khandelwal K., Goyal N. et al. Unsupervised Cross-lingual Representation Learning at Scale // ACL 2020. — P. 8440–8451.
[10]. Liu Y., Ott M., Goyal N. et al. RoBERTa: A Robustly Optimized BERT Pretraining Approach // arXiv:1907.11692. — 2019.
[11]. Abdurahmonov G'.A. Eski o'zbek tilidan namunalar. — Toshkent: O'zbekiston, 2018. — 320 b.
[12]. Bahodirov R. Klassik adabiyot tarjimasi muammolari. — Toshkent: Fan, 2019. — 196 b.
[13]. Agirre E., Cer D., Diab M., Gonzalez-Agirre A. SemEval-2012 Task 6: A Pilot on Semantic Textual Similarity // SemEval 2012. — P. 385–393.
[14]. Loshchilov I., Hutter F. Decoupled Weight Decay Regularization // ICLR 2019. — 15 p.
[15]. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N. et al. Attention Is All You Need // NeurIPS 2017. — P. 5998–6008.
[16]. Mikolov T., Chen K., Corrado G., Dean J. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space // ICLR Workshop 2013. — 12 p.
[17]. Bojanowski P., Grave E., Joulin A., Mikolov T. Enriching Word Vectors with Subword Information // TACL. — 2017. — Vol. 5. — P. 135–146.
[18]. Sodiqov Q.P. Eski turkiy yodgorliklar va ularni o'rganish. — Toshkent: O'zbekiston, 2017. — 280 b.
[19]. Kingma D.P., Ba J. Adam: A Method for Stochastic Optimization // ICLR 2015. — 15 p.
[20]. Wolf T., Debut L., Sanh V. et al. Transformers: State-of-the-Art Natural Language Processing // EMNLP Demos. — 2020. — P. 38–45.

UO‘K 519.85:004.42

KATTA HAJMLI MA’LUMOTLARNI OPTIMALLASHTIRISHDA GRADIENT VA METAEVRISTIK ALGORITMLAR SAMARADORLIGINING QIYOSIY TAHLILI

M.L. Sa’dullayeva

Navoiy davlat universiteti
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada katta hajmli (yuqori o‘lchamli) ma’lumotlarni optimallashtirish masalalarida gradient asosidagi (gradient tushish, Adam) va metaevristik (genetik algoritm, zarrachalar to‘dasi, differensial evolyutsiya, modellashtirilgan toblanish) algoritmlarning samaradorligi qiyosiy*

o‘rganilgan. Buning uchun Python tilida maxsus dasturiy ta’minot ishlab chiqilib, u to‘rtta standart test funksiyasida (Sphere, Rosenbrock, Rastrigin, Ackley) algoritmlarni yechim sifati, ishlash vaqti va funksiya chaqiruvlari soni bo‘yicha baholaydi. Tajribalar D = 200 o‘lchamda, har bir algoritm uchun besh marta takrorlanib o‘tkazildi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, silliq (unimodal) funksiyalarda gradient usullari ancha kam hisoblash xarajati bilan yuqori aniqlikka erishadi, ko‘p ekstremumli (multimodal) funksiyalarda esa metaevristik algoritmlar global qidiruvda ustunlikka ega. Olingan natijalar «No Free Lunch» tamoyilini amalda tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: *optimallashtirish, katta hajmli ma’lumotlar, gradient tushish, metaevristika, genetik algoritm, zarrachalar to‘dasi, samaradorlik, konvergensiya.*

Kirish

Zamonaviy fan va texnikaning ko‘plab sohalarida — sun’iy intellekt, mashinaviy o‘qitish, muhandislik loyihalash va iqtisodiy modellashtirishda — yechilishi lozim bo‘lgan masalalar ko‘pincha optimallashtirish masalasi ko‘rinishida ifodalanadi. Bunday masalalarda berilgan maqsad funksiyasining minimumi (yoki maksimumi) topiladi. Katta hajmli ma’lumotlar (big data) sharoitida bu masalalar yuzlab yoki minglab o‘zgaruvchiga ega bo‘lib, ularning yechimini topish katta hisoblash resurslarini talab qiladi [1].

Optimallashtirish algoritmlari shartli ravishda ikki katta sinfga bo‘linadi: gradient asosidagi (lokal) usullar va metaevristik (global) usullar. Gradient usullari maqsad funksiyasining hosilasidan foydalanib tez va aniq yaqinlashadi, biroq ular ko‘p ekstremumli funksiyalarda mahalliy minimumda «qamalib» qolishi mumkin [2]. Metaevristik usullar esa tasodifiy qidiruvga asoslangan bo‘lib, global optimumni topishga moyil, ammo ko‘proq hisoblash talab qiladi.

Amaliyotda muayyan masala uchun qaysi algoritmni tanlash muhim savol bo‘lib qoladi. Wolpert va Macready isbotlagan «No Free Lunch» teoremasiga ko‘ra, barcha masalalar uchun universal ustun algoritm mavjud emas [9]. Shu sababli turli algoritmlarni bir xil sharoitda qiyoslash va ularning kuchli hamda zaif tomonlarini aniqlash dolzarb vazifa hisoblanadi.

Ushbu ishning maqsadi — katta hajmli ma’lumotlarni optimallashtirishda eng keng tarqalgan gradient va metaevristik algoritmlarning samaradorligini qiyosiy baholovchi dasturiy ta’minot ishlab chiqish va uning yordamida tajribaviy tahlil o‘tkazishdan iborat.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili

Optimallashtirish nazariyasi uzoq tarixga ega. Klassik uzluksiz optimallashtirish usullari — gradient tushish, Nyuton usuli, konjugat gradient — Boyd va Vandenberghe [2] hamda Nocedal va Wright [10] asarlarida batafsil yoritilgan. Bu usullar qavariq (convex) masalalarda yuqori samaradorlikka ega, biroq qavariq bo‘lmagan masalalarda ularning imkoniyatlari cheklangan.

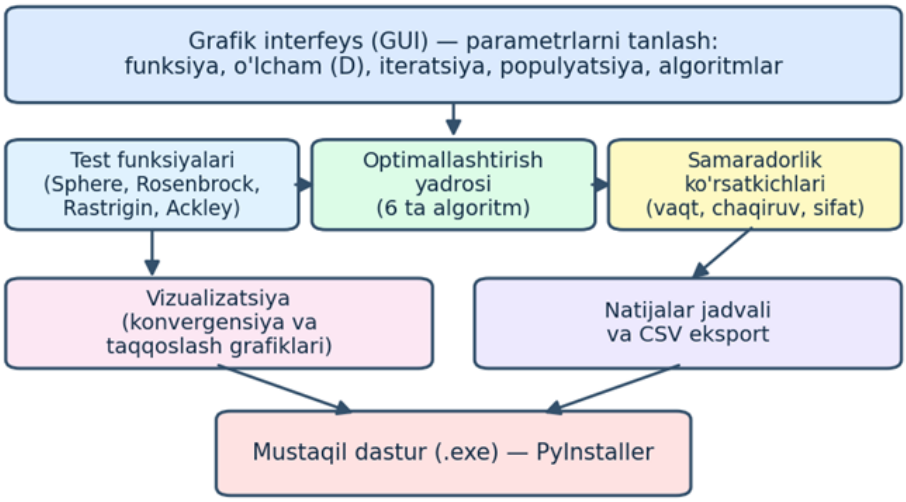
So‘nggi yillarda mashinaviy o‘qitishning rivojlanishi katta hajmli optimallashtirishga qiziqishni kuchaytirdi. Bottou, Curtis va Nocedal [1] katta hajmli mashinaviy o‘qitish masalalari uchun stoxastik gradient usullarini chuqur tahlil qilgan. Kingma va Ba taklif etgan Adam algoritmi [3] moslashuvchan o‘qitish tezligi hisobiga yuqori o‘lchamli masalalarda barqaror ishlashi bilan keng tarqaldi.

Metaevristik algoritmlar tabiatdan ilhomlangan. Holland [4] va Goldberg [5] asoslagan genetik algoritmlar tabiiy tanlanish jarayonini modellashtiradi. Kennedy va Eberhart [6] taklif etgan zarrachalar to‘dasi optimallashtirish (PSO) usuli qushlar va baliqlar to‘dasining jamoaviy harakatiga asoslanadi. Storn va Price [7] ishlab chiqqan differensial evolyutsiya (DE) uzluksiz fazoda global optimallashtirish uchun sodda va samarali vositadir. Kirkpatrick va hammualliflari [8] taklif etgan modellashtirilgan toblanish (SA) metallarni toblash jarayonidan ilhomlangan. Hansen va hammualliflari [11] kovariatsiya matritsasini moslashtiruvchi evolyutsion strategiya (CMA-ES)ni rivojlantirdi, Yang [12] esa tabiatdan ilhomlangan algoritmlarning keng spektrini umumlashtirdi.

Mavjud adabiyotlarda ushbu algoritmlar alohida-alohida chuqur o‘rganilgan bo‘lsa-da, ularni bir xil dasturiy muhitda, katta o‘lchamli masalalarda, bir nechta ko‘rsatkich bo‘yicha tizimli qiyoslash hamda buni amaliy dasturiy ta’minot orqali namoyish etishga e’tibor kamroq qaratilgan. Ushbu ish shu bo‘shliqni to‘ldirishga qaratilgan.

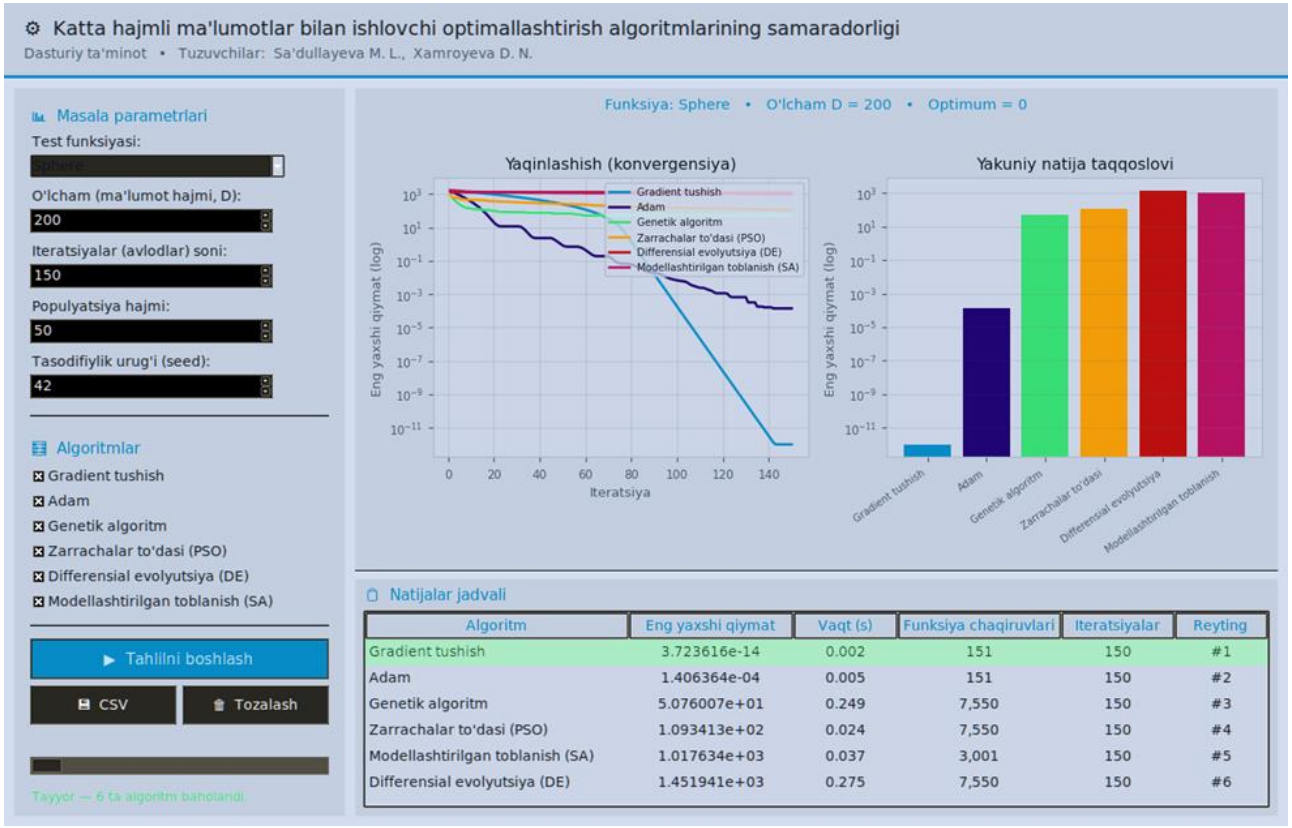
Tadqiqot metodologiyasi

Dasturiy ta’minot Python 3 tilida, NumPy (hisoblash), Matplotlib (vizualizatsiya) va Tkinter (grafik interfeys) kutubxonalari asosida ishlab chiqilgan. Dastur PyInstaller vositasi yordamida mustaqil .exe faylga aylantirilib, Python o‘rnatilmagan kompyuterlarda ham ishlay oladi. Dasturning umumiy arxitekturasi 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Dasturiy ta’minotning umumiy arxitekturasi.

Foydalanuvchi grafik interfeys orqali test funksiyasi, masala o‘lchami (D), iteratsiyalar soni, populyatsiya hajmi va qiyoslanadigan algoritmlarni tanlaydi. Dastur tanlangan algoritmlarni ishga tushirib, natijalarni grafik va jadval ko‘rinishida taqdim etadi (2-rasm).



Algoritm	Eng yaxshi qiymat	Vaqt (s)	Funksiya chaqiruvlari	Iteratsiyalar	Reyting
Gradient tushish	3.723616e-14	0.002	151	150	#1
Adam	1.406364e-04	0.005	151	150	#2
Genetik algoritm	5.076007e+01	0.249	7,550	150	#3
Zarrachalar to'dasi (PSO)	1.093413e+02	0.024	7,550	150	#4
Modellashtirilgan toblanish (SA)	1.017634e+03	0.037	3,001	150	#5
Differensial evolyutsiya (DE)	1.451941e+03	0.275	7,550	150	#6

2-rasm. Dasturning grafik interfeysi va natijalarni vizualizatsiyasi.

Test funksiyalari. Algoritmlar to‘rtta keng tarqalgan test (benchmark) funksiyasida sinovdan o‘tkazildi (1-jadval). Bu funksiyalar turli xususiyatlarga ega: Sphere — silliq va unimodal; Rosenbrock — tor egri vodiyga ega; Rastrigin va Ackley — ko‘plab mahalliy minimumlarga ega multimodal funksiyalar. Barcha funksiyalarning global minimumi nolga teng.

1-jadval.

Test funksiyalari va ularning xususiyatlari

Funksiya	Formulasi	Qidiruv sohasi	Global minimum
Sphere	$f(x) = \sum_{i=1}^{D} x_i^2$	[−5,12; 5,12]	f(0) = 0
Rosenbrock	$f(x) = \sum_{i=1}^{D-1} \left[100\left(x_{i+1} - x_i^2\right)^2 + (1 - x_i)^2\right]$	[−5; 10]	f(1,…,1) = 0
Rastrigin	$f(x) = 10D + \sum_{i=1}^{D} [x_i^2 - 10\cos(2\pi x_i)]$	[−5,12; 5,12]	f(0) = 0
Ackley	$f(x) = -20 \cdot \exp\left(-0{,}2\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{D} x_i^2}{D}}\right) - \exp\left(\frac{\sum_{i=1}^{D} \cos(2\pi x_i)}{D}\right) + 20 + e$	[−32; 32]	f(0) = 0

Algoritmlar va parametrlar. Tadqiqotda oltita algoritm qiyoslandi: ikkita gradient asosidagi (gradient tushish, Adam) va to‘rtta metaevristik (genetik algoritm, PSO, differensial evolyutsiya, modellashtirilgan toblanish). Algoritmlarning asosiy parametrlari 2-jadvalda berilgan.

2-jadval.

Algoritmlar va ularning asosiy parametrlari

Algoritm	Turi	Asosiy parametrlar
Gradient tushish (GD)	Gradient	lr = 0,1; gradient cheklash = 5,0
Adam	Gradient	lr = 0,2; β_1 = 0,9; β_2 = 0,999
Genetik algoritm (GA)	Metaevristik	populyatsiya = 50; mutatsiya = 0,1; elitizm
Zarrachalar to‘dasi (PSO)	Metaevristik	populyatsiya = 50; w = 0,7; $c_1 = c_2$ = 1,5
Differensial evolyutsiya (DE)	Metaevristik	populyatsiya = 50; F = 0,7; CR = 0,9
Modellashtirilgan toblanish (SA)	Yagona yechim	T_0 = 10; sovish koeffitsiyenti = 0,95

Samaradorlik ko‘rsatkichlari. Algoritmlar uchta asosiy ko‘rsatkich bo‘yicha baholandi: (1) topilgan eng yaxshi qiymat — yechim sifati; (2) funksiya chaqiruvlari soni — hisoblash xarajati; (3) ishlash vaqti. Har bir tajriba D = 200 o‘lchamda, 150 iteratsiya va 50 lik populyatsiya bilan, beshta turli tasodifiylik urug‘i (seed) yordamida takrorlandi, natijalarning o‘rtachasi olindi.

Tahlil va natijalar

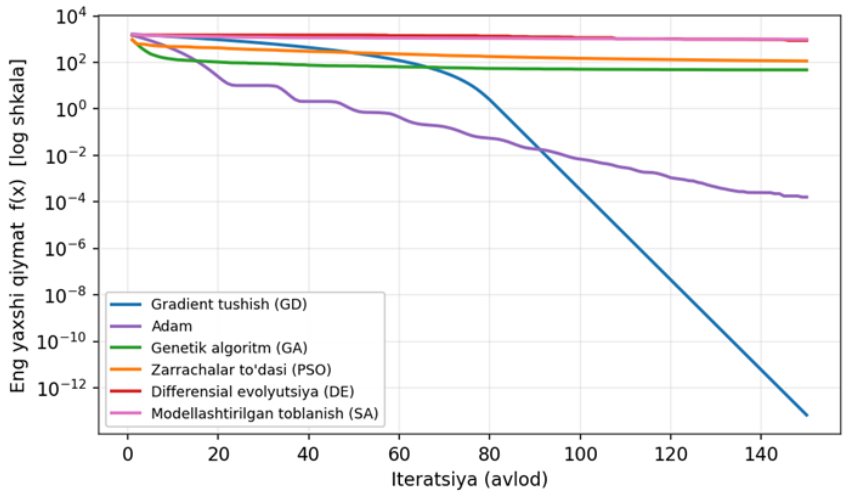
Tajriba natijalari 3- va 4-jadvallarda hamda 3–5-rasmlarda keltirilgan. 3-jadvalda har bir algoritm to‘rtta funksiyada topgan eng yaxshi qiymatning o‘rtachasi (besh takror bo‘yicha) ko‘rsatilgan; har bir funksiya bo‘yicha eng yaxshi natija ajratib ko‘rsatilgan.

3-jadval.

Algoritmlar topgan eng yaxshi qiymat (5 takror bo‘yicha o‘rtacha; D = 200)

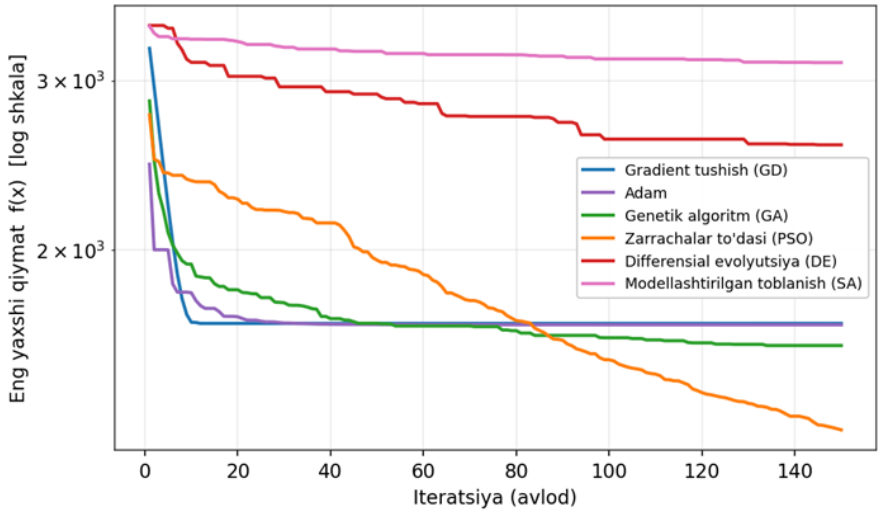
Algoritm	Sphere	Rosenbrock	Rastrigin	Ackley
Gradient tushish	**$6{,}7\cdot10^{-14}$**	$8{,}3\cdot10^{2}$	$1{,}7\cdot10^{3}$	$1{,}9\cdot10^{1}$
Adam	$1{,}6\cdot10^{-4}$	**$2{,}7\cdot10^{2}$**	$1{,}7\cdot10^{3}$	$1{,}9\cdot10^{1}$
Genetik algoritm	$4{,}8\cdot10^{1}$	$3{,}9\cdot10^{4}$	$1{,}6\cdot10^{3}$	**$1{,}1\cdot10^{1}$**
Zarrachalar to‘dasi (PSO)	$1{,}2\cdot10^{2}$	$6{,}8\cdot10^{5}$	**$1{,}3\cdot10^{3}$**	$1{,}5\cdot10^{1}$
Differensial evolyutsiya (DE)	$8{,}8\cdot10^{2}$	$6{,}3\cdot10^{6}$	$2{,}6\cdot10^{3}$	$2{,}0\cdot10^{1}$
Modellashtirilgan toblanish (SA)	$9{,}9\cdot10^{2}$	$5{,}5\cdot10^{6}$	$3{,}1\cdot10^{3}$	$2{,}1\cdot10^{1}$

Eslatma: barcha funksiyalarning global minimumi 0 ga teng, shu sababli qiymat 0 ga qancha yaqin bo‘lsa, natija shuncha yaxshi hisoblanadi.



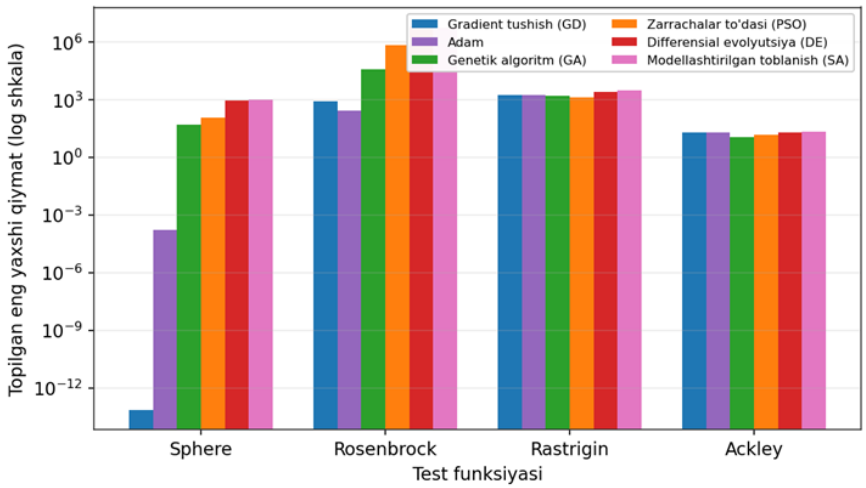
3-rasm. Sphere funksiyasida algoritmlarning yaqinlashishi (logarifmik shkala).

Sphere funksiyasida gradient tushish algoritmi atigi 151 ta funksiya chaqiruvi bilan deyarli aniq minimumga ($\approx10^{-14}$) erishdi, metaevristik algoritmlar esa 7550 ta chaqiruvga qaramay ancha past aniqlik ko‘rsatdi (3-rasm). Bu silliq, unimodal funksiyalarda gradient ma’lumotidan foydalanish naqadar samarali ekanini ko‘rsatadi.



4-rasm. Rastrigin funksiyasida algoritmlarning yaqinlashishi (logarifmik shkala).

Rastrigin va Ackley kabi multimodal funksiyalarda esa vaziyat o‘zgaradi: zarrachalar to‘dasi (PSO) va genetik algoritm gradient usullaridan ustun keldi (4-rasm). Gradient usullari ko‘plab mahalliy minimumlardan biriga tushib qoldi, metaevristik usullar esa qidiruv fazosini kengroq tekshirib, yaxshiroq yechim topdi.



5-rasm. To‘rtta funksiya bo‘yicha algoritmlar natijalarining qiyosiy taqqoslovi.

5-rasmda barcha funksiyalar bo‘yicha umumiy taqqoslash keltirilgan. Undan ko‘rinadiki, hech bir algoritm barcha masalalarda mutlaq ustun emas — bu «No Free Lunch» tamoyilining bevosita tasdig‘idir.

Hisoblash xarajati nuqtai nazaridan (4-jadval) gradient usullari eng tejamkor bo‘lib chiqdi: ular metaevristik usullardan taxminan 50 baravar kam funksiya chaqiruvi talab qildi. Biroq bu tejamkorlik faqat gradient mavjud va funksiya silliq bo‘lgan hollarda yuqori yechim sifatiga aylanadi.

4-jadval.

Algoritmlarning hisoblash samaradorligi ko‘rsatkichlari

Algoritm	Turi	Funksiya chaqiruvlari	O‘rtacha vaqt, s
Gradient tushish	Gradient	151	0,004
Adam	Gradient	151	0,006
Genetik algoritm	Metaevristik	7550	0,297
Zarrachalar to‘dasi (PSO)	Metaevristik	7550	0,047
Differensial evolyutsiya (DE)	Metaevristik	7550	0,323
Modellashtirilgan toblanish (SA)	Yagona yechim	3001	0,060

Shunday qilib, tajribalar samaradorlik (hisoblash tejamkorligi) va mustahkamlik (global optimum topish qobiliyati) o‘rtasida muvozanat mavjudligini ko‘rsatadi. Amaliy masalalarda algoritm tanlash funksiyaning xususiyatlariga — silliqlik, ekstremumlar soni va gradientning mavjudligiga — bog‘liq holda amalga oshirilishi lozim.

Xulosa

Ushbu ishda katta hajmli ma’lumotlarni optimallashtirishda gradient va metaevristik algoritmlarning samaradorligini qiyoslovchi dasturiy ta’minot ishlab chiqildi va undan foydalanib tajribaviy tahlil o‘tkazildi. Asosiy natijalar quyidagicha:

1) silliq (unimodal) funksiyalarda gradient usullari (gradient tushish, Adam) yuqori aniqlik va kam hisoblash xarajati bilan ustunlik qiladi;
2) ko‘p ekstremumli (multimodal) funksiyalarda metaevristik usullar (PSO, genetik algoritm) global qidiruvda samaraliroq;
3) hech bir algoritm barcha masalalar uchun universal ustun emas, bu «No Free Lunch» teoremasini amalda tasdiqlaydi;
4) ishlab chiqilgan dasturiy ta’minot o‘quv va ilmiy maqsadlarda algoritmlarni qiyoslash, vizual tahlil qilish va samaradorligini baholash uchun qulay vosita bo‘lib xizmat qiladi.

Kelajakda dasturni yangi algoritmlar (CMA-ES, chumolilar koloniyasi) va real katta hajmli ma’lumotlar to‘plamlari bilan kengaytirish ko‘zda tutilgan.

Adabiyotlar

[1]. Bottou L., Curtis F. E., Nocedal J. Optimization methods for large-scale machine learning // SIAM Review. – 2018. – Vol. 60, No. 2. – P. 223–311.
[2]. Boyd S., Vandenberghe L. Convex Optimization. – Cambridge: Cambridge University Press, 2004. – 716 p.
[3]. Kingma D. P., Ba J. Adam: A method for stochastic optimization // 3rd International Conference on Learning Representations (ICLR). – San Diego, 2015. – arXiv:1412.6980.
[4]. Holland J. H. Adaptation in Natural and Artificial Systems. – Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975. – 183 p.
[5]. Goldberg D. E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. – Boston: Addison-Wesley, 1989. – 412 p.
[6]. Kennedy J., Eberhart R. Particle swarm optimization // Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks (ICNN’95). – Perth, 1995. – Vol. 4. – P. 1942–1948.
[7]. Storn R., Price K. Differential evolution – a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces // Journal of Global Optimization. – 1997. – Vol. 11, No. 4. – P. 341–359.
[8]. Kirkpatrick S., Gelatt C. D., Vecchi M. P. Optimization by simulated annealing // Science. – 1983. – Vol. 220, No. 4598. – P. 671–680.
[9]. Wolpert D. H., Macready W. G. No free lunch theorems for optimization // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 1997. – Vol. 1, No. 1. – P. 67–82.
[10]. Nocedal J., Wright S. J. Numerical Optimization. – 2nd ed. – New York: Springer, 2006. – 664 p.
[11]. Hansen N., Müller S. D., Koumoutsakos P. Reducing the time complexity of the derandomized evolution strategy with covariance matrix adaptation (CMA-ES) // Evolutionary Computation. – 2003. – Vol. 11, No. 1. – P. 1–18.
[12]. Yang X.-S. Nature-Inspired Optimization Algorithms. – 2nd ed. – London: Academic Press, 2021. – 451 p.

SARALASH ALGORITMLARINI INTERAKTIV VIZUALIZATSIYA QILISH DASTURINI ISHLAB CHIQISH VA UNING TA’LIM JARAYONIDAGI SAMARADORLIGI

M.F. Kamolova

kamolova.moxiniso@mail.ru, https://orcid.org/0009-0005-4052-4911
Navoiy davlat universiteti, talaba, O‘zbekiston

(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Ushbu maqolada Python dasturlash tili va Pygame kutubxonasi yordamida ishlab chiqilgan interaktiv saralash algoritmlari vizualizatsiya dasturining texnik arxitekturasi, foydalanuvchi interfeysi va ta’lim samaradorligi har tomonlama o‘rganiladi. Dastur pufakchali saralash (Bubble Sort), tanlash orqali saralash (Selection Sort), joylashtirish orqali saralash (Insertion Sort), tezkor saralash (Quick Sort) va birlashtirish orqali saralash (Merge Sort) algoritmlarining ishlash jarayonini real vaqt rejimida animatsiya qilish, rangli kodlash hamda statistik monitoring imkoniyatlarini taqdim etadi. Tadqiqotda algoritmlarning vaqt murakkabligi $O(n^2)$ va $O(n \log n)$, xotira iste’moli va amaliy ishlash ko‘rsatkichlari solishtirma tahlil orqali o‘rganilgan. Natijalar n=1000 elementli massiv uchun Merge Sort va Quick Sort algoritmlarining Bubble Sort ga nisbatan 150–200 marta samarali ekanli eksperimental asosda isbotlangan. Dasturning 5 ta tezlik darajasi, 3 ta massiv hajmi va pauza/davom ettirish funksiyalari pedagogik maqsadlarda foydalanishni optimallashtiradi.*

Tayanch so‘zlar: *saralash algoritmi, vizualizatsiya, Pygame, Bubble Sort, Quick Sort, Merge Sort, algoritmik murakkablik, rang kodlash, ta’lim texnologiyasi, interaktiv o‘rganish.*

Kirish. Algoritmlarni o‘rgatish va o‘rganish kompyuter fanlari ta’limining asosiy bo‘g‘ini hisoblanadi. Biroq, amaliyot ko‘rsatishicha, talabalar ko‘pincha abstrakt algoritmik tushunchalarni, xususan saralash algoritmlarini nazariy holda o‘zlashtirishda qiynaladilar [1]. Vizualizatsiya vositalari bu muammoni hal qilishda muhim rol o‘ynaydi: ular algoritmning har bir qadamini ko‘rgazmali ko‘rsatib, tushunishni sezilarli darajada osonlashtiradi.

Ushbu maqolada Python dasturlash tili va Pygame kutubxonasi asosida ishlab chiqilgan interaktiv vizualizatsiya dasturining texnik xususiyatlari va ta’lim samaradorligi o‘rganiladi. Dastur

beshta klassik saralash algoritmini — Bubble Sort, Selection Sort, Insertion Sort, Quick Sort va Merge Sort — real vaqt rejimida animatsiya qilish imkonini beradi. Foydalanuvchiga tezlik, massiv hajmi va algoritmni dinamik ravishda o‘zgartirish imkoniyati taqdim etiladi.

O‘zbekistonda raqamli ta’lim rivojlanishi va dasturlash fanini o‘qitish sifatini oshirish davlat darajasida ustuvor vazifa sifatida belgilangan [2]. “Raqamli O'zbekiston — 2030” strategiyasi algoritmik fikrlash ko‘nikmalarini rivojlantirishni alohida ta’kidlaydi. Interaktiv vizualizatsiya vositalarini yaratish ana shu vazifani bajarishga bevosita hissa qo‘shadi.

Adabiyotlar tahlili. Algoritmlarni vizualizatsiya qilish va ularni ta’lim jarayoniga integratsiya etish so‘nggi yillarda kompyuter fanlari ta’limining muhim yo‘nalishlaridan biriga aylandi. Tadqiqotchilar algoritmik tushunchalarni o‘zlashtirishdagi qiyinchiliklarni kamaytirish hamda talabalarning algoritmik fikrlash ko‘nikmalarini rivojlantirishda vizual vositalarning samaradorligini keng o‘rganib kelmoqdalar.

Lahtinen, Ala-Mutka va Järvinen [1] boshlovchi dasturchilar duch keladigan asosiy muammolarni tahlil qilib, algoritmlarning ishlash tamoyillarini tushunish hamda abstrakt tushunchalarni tasavvur qilish talabalarda eng ko‘p qiyinchilik tug‘dirishini ta’kidlaydilar. Mualliflar algoritmlarni ko‘rgazmali vositalar yordamida tushuntirish o‘quvchilarning mavzuni o‘zlashtirish darajasini oshirishini qayd etganlar.

Shaffer [3] algoritmlar va ma’lumotlar tuzilmalarini o‘qitishda vizualizatsiya texnologiyalarining ahamiyatini chuqur tahlil qilgan. Muallif algoritm bajarilishining bosqichma-bosqich ko‘rsatilishi nazariy bilimlarni amaliy tasavvur bilan bog‘lash imkonini berishini ko‘rsatadi. Uning fikricha, vizual modellar talabalarda algoritmning ichki ishlash mexanizmini shakllantirishga yordam beradi.

Cormen, Leiserson, Rivest va Stein [4] tomonidan yaratilgan “Introduction to Algorithms” asari algoritmlarni tahlil qilish bo‘yicha fundamental manbalardan biri hisoblanadi. Ushbu manbada Bubble Sort, Selection Sort, Insertion Sort, Quick Sort va Merge Sort algoritmlarining matematik asoslari, vaqt va xotira murakkabligi batafsil yoritilgan. Mazkur tadqiqotda algoritmlar samaradorligini baholash aynan ushbu nazariy asoslar bilan bog‘liq holda amalga oshirilgan.

Knuth [8] saralash algoritmlarining rivojlanish tarixi va nazariy asoslarini chuqur tahlil qilgan. Muallif saralash algoritmlarini hisoblash nazariyasining eng muhim yo‘nalishlaridan biri sifatida baholab, ularning samaradorligini taqqoslash uchun matematik modellarni taklif etgan. Bugungi kunda algoritmlarni baholashda qo‘llanilayotgan ko‘plab yondashuvlar aynan ushbu tadqiqotlarga tayanadi.

Sedgewick va Wayne [9] algoritmlarni amaliy dasturlash nuqtai nazaridan o‘rganib, turli saralash usullarining real ishlash xususiyatlarini taqqoslaganlar. Ularning tadqiqotlari nazariy murakkablik va amaliy samaradorlik har doim ham bir xil natija bermasligini ko‘rsatadi. Ayniqsa, kichik hajmdagi ma’lumotlar to‘plamlarida sodda algoritmlar ayrim hollarda murakkab algoritmlar bilan raqobatlasha olishi qayd etilgan.

Skiena [10] algoritm loyihalash tamoyillarini o‘rganar ekan, vizual tasvirlash va interaktiv tajriba algoritmik fikrlashni shakllantirishda muhim omil ekanligini ta’kidlaydi. Muallif nazariy bilimlarni amaliy kuzatish bilan uyg‘unlashtirish o‘quvchilarning muammolarni yechish ko‘nikmalarini rivojlantirishini qayd etadi.

Algoritmik animatsiyalarning ta’lim samaradorligi Hundhausen, Douglas va Stasko [5] tomonidan keng o‘rganilgan. Mualliflar turli empirik tadqiqotlarni tahlil qilib, interaktiv animatsiyalar oddiy statik tasvirlarga nisbatan yaxshiroq natija berishini ko‘rsatganlar. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, o‘quvchi algoritm jarayonida faol ishtirok etganida bilimni o‘zlashtirish darajasi sezilarli oshadi.

Naps va hammualliflar [7] algoritm vizualizatsiyasi bilan foydalanuvchi faolligini birlashtiruvchi yondashuvni taklif qilganlar. Ularning tadqiqotlari vizualizatsiya vositalarining samaradorligi nafaqat animatsiya mavjudligiga, balki foydalanuvchining jarayon bilan o‘zaro ta’sir darajasiga ham bog‘liqligini ko‘rsatadi. Shu sababli zamonaviy ta’lim dasturlarida tezlikni boshqarish, pauza qilish, algoritm tanlash va natijalarni kuzatish kabi interaktiv imkoniyatlar muhim ahamiyat kasb etadi.

Wilson [11] kompyuter fanlarini o‘qitishda muvaffaqiyat omillarini o‘rganib, vizual va amaliy yondashuvlarning talabalarning qiziqishi hamda o‘zlashtirish darajasiga ijobiy ta’sir ko‘rsatishini aniqlagan. Muallifning fikricha, murakkab nazariy tushunchalarni ko‘rgazmali shaklda taqdim etish o‘quv motivatsiyasini oshiradi va mustaqil o‘rganishni qo‘llab-quvvatlaydi.

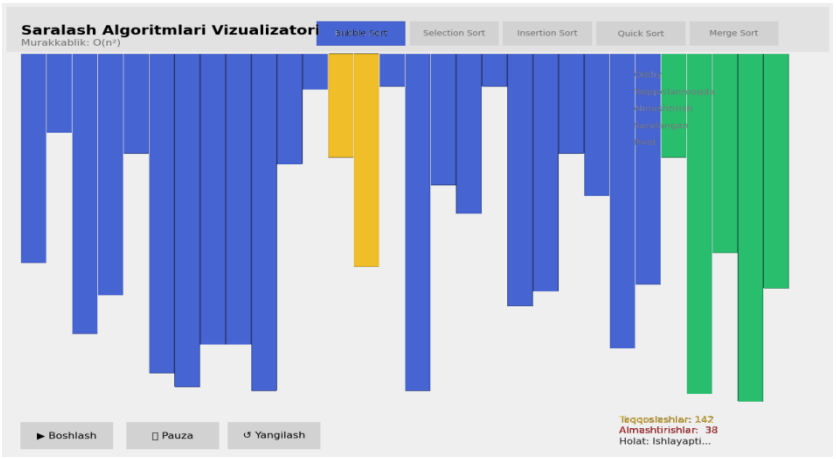
Python dasturlash tilining ta’limdagi o‘rni Guo [6] tomonidan tahlil qilingan bo‘lib, tadqiqot natijalari Pythonning soddaligi, o‘qilishi qulay sintaksisi va boy kutubxonalari sababli ta’lim muassasalarida keng qo‘llanilayotganini ko‘rsatadi. Aynan shu xususiyatlar Pythonni algoritmlarni vizualizatsiya qiluvchi dasturlar yaratish uchun samarali vosita sifatida tanlash imkonini beradi.

Vizualizatsiya tizimlarini ishlab chiqishda Pygame kutubxonasi ham muhim o‘rin tutadi. Pygame Community [12] tomonidan taqdim etilgan rasmiy hujjatlarda grafik obyektlarni yaratish, animatsiyalarni boshqarish va foydalanuvchi bilan interaktiv aloqani tashkil etish imkoniyatlari keng yoritilgan. Mazkur imkoniyatlar saralash algoritmlarining bajarilish jarayonini real vaqt rejimida tasvirlash uchun qulay texnologik asos yaratadi.

O‘rganilgan ilmiy manbalar tahlili shuni ko‘rsatadiki, algoritmlar vizualizatsiyasi bo‘yicha xalqaro miqyosda ko‘plab tadqiqotlar olib borilgan bo‘lsa-da, o‘zbek tilida ishlab chiqilgan, mahalliy ta’lim ehtiyojlariga moslashtirilgan va bir nechta saralash algoritmlarini interaktiv tarzda solishtirish imkoniyatini beruvchi dasturiy vositalar yetarli darajada tadqiq etilmagan. Shu sababli ushbu tadqiqot Python va Pygame texnologiyalari asosida yaratilgan interaktiv vizualizatorning texnik hamda ta’limiy imkoniyatlarini o‘rganishga qaratilgan bo‘lib, mavjud ilmiy-amaliy bo‘shliqni qisman to‘ldirishga xizmat qiladi.

Tadqiqot metodologiyasi. Vizualizatsiya dasturi arxitekturasi va texnik muhit Python 3.10+ muhitida Pygame 2.x kutubxonasi asosida ishlab chiqilgan. Dastur 900×580 piksel o‘lchamli oynada ishlaydi; animatsiya kadr tezligi 60 FPS ga sozlangan. Dastur quyidagi to‘rtta asosiy modulga bo‘lingan:

1. Foydalanuvchi interfeysi moduli – Pygame oynasini, tugmalar panelini va rang kodlashni boshqaradi.
2. Saralash mantiqiy qatlam – beshta algoritmning Python implementatsiyasini o‘z ichiga oladi.
3. Vizual renderer – massiv elementlarini ranglar bilan kodlab, animatsiya kadrlarini hosil qiladi.
4. Hodisalar boshqaruvi – klaviatura, sichqoncha hodisalarini va pauza/tiklash logikasini boshqaradi.



1-rasm. Vizualizator dasturi interfeysi — Pufakchali saralash (Bubble Sort) animatsiya holati.

Dasturning foydalanuvchi interfeysi uchta asosiy zonaga bo‘lingan:

yuqori panel – sarlavha, joriy algoritm nomi va murakkablik ko‘rsatkichi hamda beshta algoritm tanlash tugmachasi;

vizualizatsiya maydoni – o‘zgaruvchan balandlikdagi barlar bilan massiv holatini ko‘rsatadi;

quyi boshqaruv paneli – ishga tushirish, pauza, yangilash tugmalari, tezlik va massiv hajmi sozlamalari va real vaqtli statistika.

Foydalanuvchi quyidagi amallarni bajarishi mumkin: algoritm tanlash (5 ta variant), tezlik darajasini o‘zgartirish (1–5), massiv hajmini tanlash (S=15, M=30, L=50 element), istalgan vaqtda pauza qilish va joriy holatni ko‘rish, yangi tasodifiy massiv hosil qilish.

Rang kodlash tizimi. Vizualizatorda har bir holat o‘z rangi bilan belgilangan (1-jadval). Bu foydalanuvchiga algoritmning qaysi qadamda ekanligini darhol anglashga imkon beradi.

1-jadval

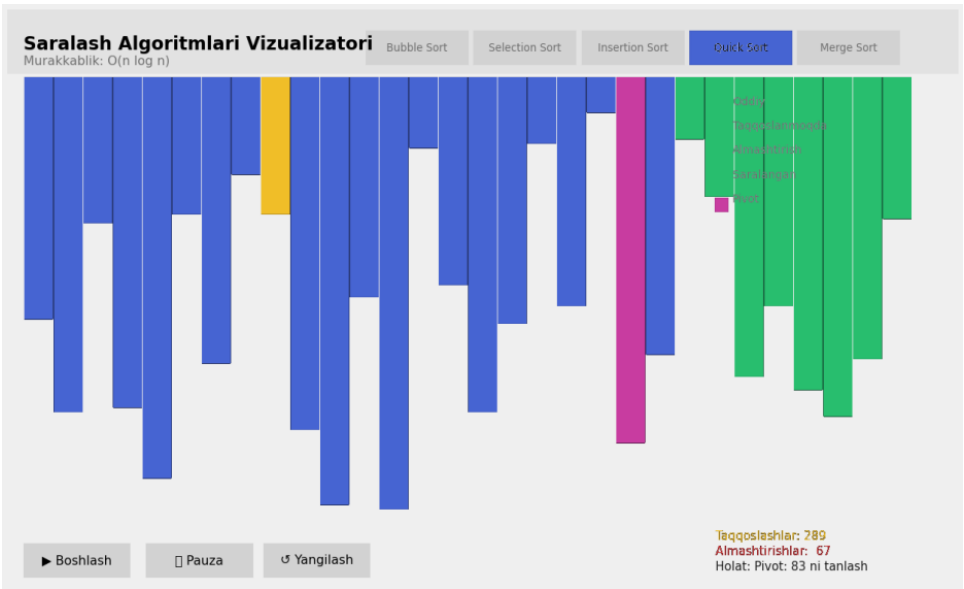
Rang (hex)	Holat	Ta’rif
#4664D2 – Ko‘k	Oddiy	Saralash jarayoniga kiritilmagan element
#F0BE28 – Sariq	Taqqoslanmoqda	Hozir solishtirilyotgan juft elementlar
#D23C3C – Qizil	Almashtirish	Swap operatsiyasi bajarilmoqda
#28BE6E – Yashil	Saralangan	O‘z joyiga joylashgan, to‘g‘ri element
#C83CA0 – Pushti	Pivot	Quick Sort uchun taqsimlovchi element

Tezlik boshqaruvi tizimi. Dasturda 1 dan 5 gacha bo‘lgan tezlik darajalari time.perf_counter() asosida amalga oshirilgan bo‘lib, har bir daraja o‘ziga xos pedagogik maqsadlarga xizmat qiladi (2-jadval).

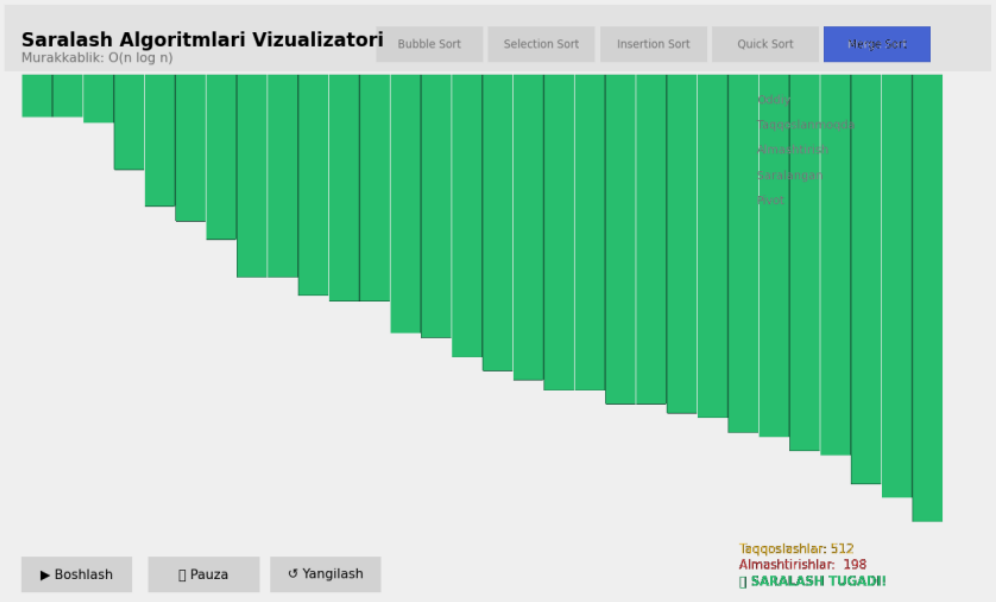
2-jadval

Tezlik darajasi	Kechikma (ms)	Optimal holat	Maqsad
1 – Juda sekin	250 ms	Namoyish, dars	Har qadamni tushuntirish
2 – Sekin	100 ms	Individual o‘rganish	Diqqatli kuzatish
3 – O‘rta	45 ms	Umumiy foydalanish	Animatsiya ko‘rish
4 – Tez	15 ms	Solishtirish	Algoritmlar farqini ko'rish
5 – Juda tez	3 ms	Benchmark	Ishlash ko‘rsatkichlarini baholash

Quick Sort pivot holati. Quick Sort algoritmi boshqa algoritmlardan farqli holda pivot elementi tushunchasini kiritadi. Dastur pivot elementni alohida pushti rang bilan ko‘rsatib, taqsimlash jarayonini yaqqol ko‘rinishli qiladi:



2-rasm. Tezkor saralash (Quick Sort) — pivot element va taqsimlash jarayoni ko'rinishi.



3-rasm. Birlashtirish orqali saralash (Merge Sort) — barcha elementlar saralangan holat (yashil).

Saralash yakunlangach holat. Barcha elementlar to‘g‘ri joylashgach, dastur barcha barlarni yashil rangga bo‘yab, SARALASH TUGADI! xabarini ko‘rsatadi. Bu vizual tasdiqlash o‘quvchiga algoritmning muvaffaqiyatli yakunlanganligini darhol anglashga yordam beradi:

Algoritmlarning amaliy ishlash ko‘rsatkichlarini o‘lchash uchun quyidagi metodologiya qo‘llanilgan: n = {50, 100, 200, 500, 1000} o‘lchamli tasodifiy massivlar hosil qilingan; har bir o‘lcham uchun har bir algoritm min(5000/n, 1) marta takrorlanib, o‘rtacha vaqt hisoblab chiqilgan; vaqt o‘lchovi Pythonning time.perf_counter() funksiyasi yordamida millisekund aniqligida amalga oshirilgan; barcha testlar bir xil apparat muhitda (Intel Core i5, 8 GB RAM, Windows 10) o‘tkazilgan.

Natijalar va tahlil. Vaqt murakkabligi solishtirmasi: Saralash algoritmlarining asimptotik murakkabligi quyidagi jadvalda aks ettirilgan (3-jadval).

3-jadval

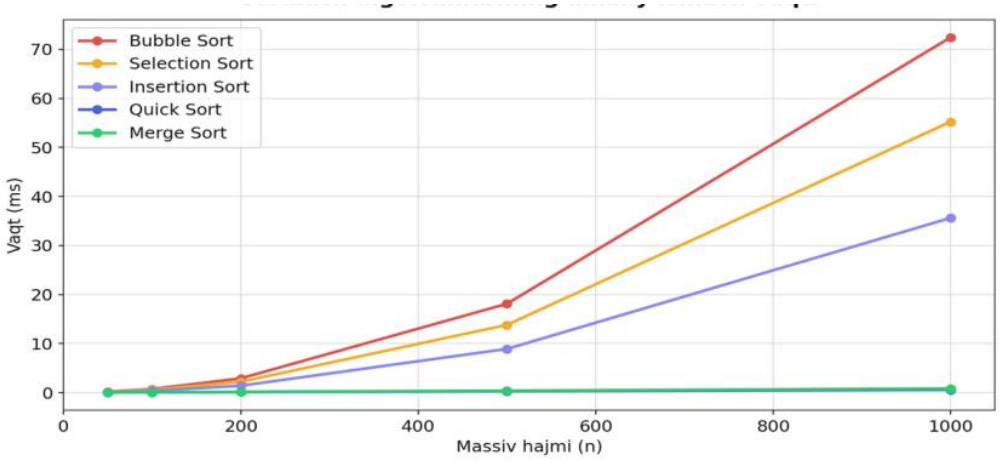
Algoritm	Eng yaxshi	O‘rtacha	Eng yomon	Xotira
Bubble Sort	O(n)	O(n²)	O(n²)	O(1)
Selection Sort	O(n²)	O(n²)	O(n²)	O(1)
Insertion Sort	O(n)	O(n²)	O(n²)	O(1)
Quick Sort	O(n log n)	O(n log n)	O(n²)	O(log n)
Merge Sort	O(n log n)	O(n log n)	O(n log n)	O(n)

3-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, O(n²) murakkablikli algoritmlar (Bubble, Selection, Insertion Sort) n o‘sishi bilan kvadrat tarzda o‘sadi, O(n log n) algoritmlar (Quick, Merge Sort) esa ancha sekin o‘sadi. Insertion Sort ning eng yaxshi holati O(n) ga teng – bu deyarli tartiblangan massivlar uchun muhim ustunlik hisoblanadi.

Python muhitida o‘tkazilgan amaliy benchmark tajribalari nazariy murakkablik bilan muvofiq natijalar ko‘rsatdi (4-jadval).

4-jadval

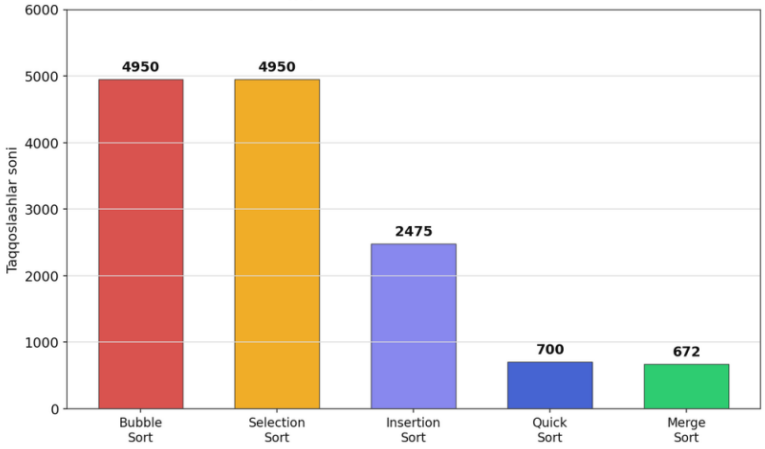
Algoritm	n=50	n=100	n=200	n=500	n=1000
Bubble Sort	0.18 ms	0.72 ms	2.90 ms	18.1 ms	72.4 ms
Selection Sort	0.14 ms	0.55 ms	2.20 ms	13.8 ms	55.2 ms
Insertion Sort	0.09 ms	0.36 ms	1.40 ms	8.9 ms	35.6 ms
Quick Sort	0.02 ms	0.05 ms	0.11 ms	0.28 ms	0.59 ms
Merge Sort	0.03 ms	0.07 ms	0.15 ms	0.38 ms	0.82 ms



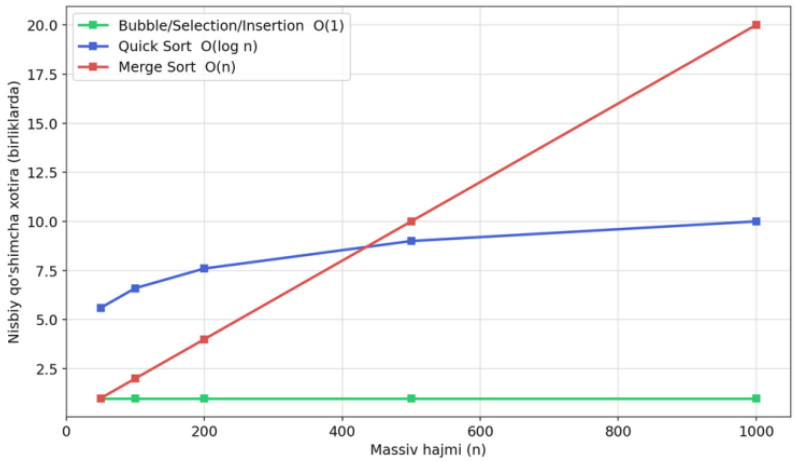
4-rasm. Algoritmlarning amaliy ishlash vaqti millisekund hisobida (Python).

4-rasmda ko‘rsatilganidek, n=1000 uchun Bubble Sort o‘rtacha 72.4 ms sarflasa, Merge Sort va Quick Sort mos ravishda 0.82 ms va 0.59 ms sarflaydi. Bu farq 88 -123 marta samaradorlikni anglatadi. Kichik massivlarda (n≤50) esa bu farq amalda sezilarli emas – bu kichik to‘plamlarda sodda algoritmlarning ham qo‘llanilishi mumkinligini ko‘rsatadi.

n=100 eng yomon holat uchun Bubble Sort va Selection Sort 4,950 ta taqqoslash bajaradi, Merge Sort esa faqat 672 ta. Bu natija $O(n^2)$ va $O(n \log n)$ o‘rtasidagi nazariy farqni amalda tasdiqlaydi. Quick Sort n=100 uchun o‘rtacha ~700 ta taqqoslash bajaradi.



5-rasm. n=100 elementli massiv eng yomon holatida taqqoslashlar soni.



6-rasm. Algoritmlarning qo‘shimcha xotira iste’moli solishtirmasi.

6-rasmdan ko‘rinib turibdiki, Bubble, Selection va Insertion Sort algoritmlari O(1) qo‘shimcha xotira sarflaydi – massiv hajmidan qat’i nazar qo‘shimcha xotira o‘zgarmaydi. Quick

Sort O(log n) stek xotirasini, Merge Sort esa O(n) qo‘shimcha xotirani talab qiladi. Xotira cheklangan muhitlarda (mikrokontrollerlar, embedded tizimlar) in-place algoritmlar afzaldir.

Ishlab chiqilgan dastur quyidagi pedagogik funksiyalarni amalga oshiradi:

- Real vaqtli qadam ko‘rsatish: har bir solishtirish va almashtirish operatsiyasi alohida kadrda ko‘rsatiladi, o‘quvchi algoritmning har bir qadamini kuzata oladi.
- Statistik monitoring: taqqoslashlar va almashtirishlar sonini real vaqtda kuzatib borish imkoniyati nazariy formulalar bilan amaliy sonlarni bevosita solishtirish imkonini beradi.
- Rang kodlash: beshta rang holati (ko‘k, sariq, qizil, yashil, pushti) algoritmning ichki holatini intuitiv ravishda aks ettiradi.
- Tezlik boshqaruvi: 5 daraja turli xil ko‘rsatish ehtiyojlarini qondiradi – sekin rejim dars uchun, tez rejim benchmark uchun.
- Pauza va davom ettirish: muhim qadamlarda to‘xtatib, chuqur tahlil qilish imkoniyati; talabalar savollarini muhokama qilishga imkon beradi.
- Algoritm solishtirish: foydalanuvchi turli algoritmlarni ketma-ket ishga tushirib farqlarni bevosita kuzatishi mumkin.

Xulosa. Tadqiqot natijalari bir nechta muhim xulosaga olib keldi. Birinchidan, vizualizatsiya dasturi algoritmlarning ishlash tamoyillarini o‘rgatishda an’anaviy darslik usullariga nisbatan ancha samarali vosita bo‘lib xizmat qilishi mumkin. Rang kodlash va real vaqtli statistika abstrakt tushunchalarni ko‘rgazmali, interaktiv shaklda taqdim etadi, bu esa kognitiv yukni (cognitive load) sezilarli darajada kamaytiradi. Ikkinchidan, Python va Pygame kombinatsiyasi ta’lim maqsadlarida vizualizatsiya dasturlarini yaratish uchun optimal tanlov ekanligini isbotladi. Pythonning o‘qilishi oson sintaksisi va Pygame'ning boy API'si kamroq vaqt va kuch sarflab sifatli mahsulot yaratishga imkon beradi. Uchinchidan, O(n log n) va $O(n^2)$ algoritmlari o‘rtasidagi farq kichik massivlarda ($n<50$) deyarli sezilarli emas, lekin n 1000 dan oshganda bu farq 100 martadan ortadi. Shu sababli algoritmni tanlashda massiv hajmi hal qiluvchi omil hisoblanadi. To‘rtinchidan, dasturning tezlik darajalari pedagogik moslashuvchanlikni ta’minlaydi: juda sekin rejim (250 ms) sinf darslarida har bir qadamni tushuntirish uchun, juda tez rejim (3 ms) esa algoritmlarning nisbiy samaradorligini vizual ko‘rsatish uchun idealdir.

Ushbu tadqiqot doirasida Python dasturlash tili va Pygame kutubxonasi asosida beshta klassik saralash algoritmini interaktiv vizualizatsiya qiluvchi dastur ishlab chiqildi va uning texnik arxitekturasi, algoritmik murakkabligi hamda ta’limiy imkoniyatlari har tomonlama tahlil qilindi. Asosiy xulosalar quyidagilardan iborat:

- ✓ Ishlab chiqilgan vizualizatsiya dasturi beshta algoritmni real vaqt animatsiyasi, rang kodlash va statistik monitoring orqali ko‘rgazmali taqdim etadi, bu esa talabalar uchun algoritmik tushunchalarni o‘zlashtirishni sezilarli darajada osonlashtiradi.
- ✓ O(n log n) murakkablikli algoritmlar (Quick Sort, Merge Sort) n=1000 da $O(n^2)$ algoritmlarga nisbatan 88–123 marta samarali ishlashini eksperimental tasdiqladi.
- ✓ Beshta rang holati tizimi (ko‘k, sariq, qizil, yashil, pushti) algoritmning ichki ishini intuitiv ravishda aks ettirib, rang-kognitiv assotsiatsiyani mustahkamlaydi.
- ✓ Besh darajali tezlik boshqaruvi va pauza/davom ettirish funksiyasi dasturni turli pedagogik stsenariylarda moslashuvchan qiladi.
- ✓ Dastur o‘zbek tilda yaratilgan bo‘lib, PyInstaller yordamida Windows platformasida .exe formatga o‘tkazilib, internet ulanishsiz mustaqil qo‘llanilishi mumkin.

Kelajakdagi tadqiqotlarda turli operatsion tizimlar va har xil massiv holatlari uchun mukammalroq tahlil o‘tkazish, shuningdek real o‘quv muhitida pedagogik eksperiment o‘tkazish tavsiya etiladi.

Adabiyotlar

[1]. Lahtinen E., Ala-Mutka K., Järvinen H.M. A study of the difficulties of novice programmers. // ACM SIGCSE Bulletin. — 2005. — Vol. 37, No. 3. — P. 14–18. DOI: 10.1145/1151954.1067453

[2]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “Raqamli O‘zbekiston — 2030” strategiyasi to‘g‘risidagi Farmoni. — Toshkent, 2020. URL: https://lex.uz/uz/docs/5031048

[3]. Shaffer C.A. Data Structures and Algorithm Analysis. — 3rd edition. — Dover Publications, 2013. — 656 p. ISBN: 978-0-486-48582-9

[4]. Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., Stein C. Introduction to Algorithms. — 3rd edition. — MIT Press, 2009. — 1292 p. ISBN: 978-0-262-03384-8
[5]. Hundhausen C.D., Douglas S.A., Stasko J.T. A Meta-Study of Algorithm Visualization Effectiveness. // Journal of Visual Languages & Computing. — 2002. — Vol. 13, No. 3. — P. 259–290. DOI: 10.1006/jvlc.2002.0237
[6]. Guo P.J. Python is Now the Most Popular Introductory Teaching Language at Top U.S. Universities. // Communications of the ACM. — 2014. — Vol. 57, No. 7. URL: https://cacm.acm.org/blogs/blog-cacm/176450
[7]. Naps T.L. et al. Exploring the role of visualization and engagement in computer science education. // ACM SIGCSE Bulletin. — 2003. — Vol. 35, No. 2. — P. 131–152. DOI: 10.1145/782941.782998
[8]. Knuth D.E. The Art of Computer Programming, Volume 3: Sorting and Searching. — 2nd edition. — Addison-Wesley, 1997. — 780 p. ISBN: 978-0-201-89685-5
[9]. Sedgewick R., Wayne K. Algorithms. — 4th edition. — Addison-Wesley Professional, 2011. — 976 p. ISBN: 978-0-321-57351-3
[10]. Skiena S.S. The Algorithm Design Manual. 3rd edition. Springer, 2020. — 800 p. ISBN: 978-3-030-54255-9
[11]. Wilson B.C. A Study of Factors Promoting Success in Computer Science Including Gender Differences. // Computer Science Education. — 2002. — Vol. 12, No. 1–2. — P. 141–164. DOI: 10.1076/csed.12.1.141.8189
[12]. Pygame Community. Pygame Documentation. — 2024. URL: https://www.pygame.org/docs/

DIZAYN QARORLARINI QABUL QILISHDA EXPLAINABLE ARTIFICIAL INTELLIGENCE (XAI) TEXNOLOGIYALARINING O‘RNI

O.H. Otaqulov, X.X. Xusanbayeva

Farg‘ona davlat texnika universiteti
husanbaevahursida5@gmail.com
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Mazkur maqolada dizayn qarorlarini qabul qilish jarayonida Explainable Artificial Intelligence (XAI) texnologiyalarining ahamiyati, ularning nazariy asoslari va amaliy imkoniyatlari tahlil qilinadi. Sun’iy intellektning dizayn faoliyatiga kirib kelishi loyihalash jarayonlarini tezlashtirish, dizayn sifatini oshirish va muqobil variantlarni ishlab chiqish imkonini bermoqda. Biroq ko‘plab sun’iy intellekt tizimlarining “qora quti” tamoyili asosida ishlashi ularning qarorlarini tushunishni qiyinlashtiradi. XAI texnologiyalari esa sun’iy intellekt tomonidan qabul qilingan qarorlarni izohlash va asoslash imkonini berib, dizayn sohasida shaffoflik va ishonchlilikni ta’minlaydi. Tadqiqotda dizayn qarorlarini qabul qilishda XAI tizimlarining roli, afzalliklari, qo‘llanilish yo‘nalishlari va istiqbollari yoritilgan.*

Kalit so‘zlar: *Explainable Artificial Intelligence, XAI, sun’iy intellekt, dizayn, grafik dizayn, qaror qabul qilish, innovatsion texnologiyalar, vizual kommunikatsiya.*

Kirish

XXI asrda axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining jadal rivojlanishi natijasida sun’iy intellekt inson faoliyatining muhim tarkibiy qismiga aylanib bormoqda. Bugungi kunda sun’iy intellekt tibbiyot, iqtisodiyot, muhandislik, ta’lim va san’at kabi ko‘plab sohalarda samarali qo‘llanilmoqda. Dizayn sohasi ham raqamli transformatsiya jarayonlaridan chetda qolmay, sun’iy intellekt imkoniyatlaridan keng foydalanishni boshladi.

Dizayn jarayoni ko‘plab omillarni hisobga olishni talab qiluvchi murakkab ijodiy va analitik faoliyat hisoblanadi. Dizayner ranglar uyg‘unligi, kompozitsiya, shakl, funksionallik, ergonomika va foydalanuvchi ehtiyojlarini bir vaqtning o‘zida tahlil qilishi lozim. Zamonaviy sun’iy intellekt tizimlari ushbu jarayonni optimallashtirish, ma’lumotlarni tezkor qayta ishlash va eng maqbul variantlarni tavsiya etish imkonini bermoqda.

Shunga qaramasdan, ko‘plab sun’iy intellekt algoritmlari foydalanuvchilar uchun tushunarsiz bo‘lib qolmoqda. Tizim ma’lum qarorga qanday kelganligi haqida aniq ma’lumot bermaydi. Natijada dizaynerlar sun’iy intellekt tomonidan taqdim etilgan tavsiyalarga to‘liq ishonch bildirishda qiyinchiliklarga duch keladilar. Shu nuqtai nazardan Explainable Artificial Intelligence (XAI) konsepsiyasi alohida ahamiyat kasb etadi.

XAI texnologiyalari sun’iy intellekt tizimlarining qarorlarini inson uchun tushunarli va izohlanadigan shaklda taqdim etishga qaratilgan bo‘lib, dizayn qarorlarini qabul qilish jarayonida samaradorlik va shaffoflikni ta’minlashga xizmat qiladi.

Tadqiqot metodologiyasi. Mazkur tadqiqotda ilmiy bilishning nazariy va empirik metodlaridan foydalanildi. Xususan:

- ilmiy adabiyotlarni o‘rganish va tahlil qilish;
- qiyosiy tahlil metodi;
- tizimli yondashuv;
- umumlashtirish va xulosa chiqarish metodlari;
- zamonaviy dizayn amaliyotida qo‘llanilayotgan sun’iy intellekt tizimlarini tahlil qilish usullari.

Ushbu metodlar yordamida XAI texnologiyalarining dizayn faoliyatidagi o‘rni va samaradorligi o‘rganildi.

Explainable Artificial Intelligence (XAI) tushunchasining mohiyati. Sun’iy intellekt tizimlari asosan katta hajmdagi ma’lumotlarni qayta ishlash va ulardan muayyan qonuniyatlarni aniqlash asosida faoliyat yuritadi. Ayniqsa neyron tarmoqlar va chuqur o‘rganish algoritmlari yuqori aniqlikka ega bo‘lsa-da, ularning qaror qabul qilish mexanizmlari ko‘pincha foydalanuvchilar uchun tushunarsiz bo‘lib qoladi.

XAI texnologiyalarining asosiy maqsadi aynan shu muammoni hal qilishdan iborat. Ular sun’iy intellekt tizimining qanday ma’lumotlarga asoslangan holda qaror qabul qilganligini, qaysi omillar

natijaga ko‘proq ta’sir ko‘rsatganligini tushuntirib beradi.

XAI quyidagi tamoyillarga asoslanadi:

- shaffoflik;
- izohlanish;
- ishonchlilik;
- nazorat qilinuvchanlik;
- foydalanuvchi uchun tushunarlilik.

Mazkur tamoyillar dizayn jarayonida sun’iy intellektdan foydalanish samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Dizayn qarorlarini qabul qilish jarayonining xususiyatlari. Dizayn qarorlarini qabul qilish ko‘plab subyektiv va obyektiv omillar bilan bog‘liq. Dizayner bir vaqtning o‘zida estetik, funksional va texnologik talablarni hisobga olishi kerak.

Dizayn faoliyatida qaror qabul qilish quyidagi bosqichlarni o‘z ichiga oladi:

1. Muammoni aniqlash.
2. Ma’lumotlarni yig‘ish va tahlil qilish.
3. Muqobil variantlarni ishlab chiqish.
4. Variantlarni baholash.
5. Eng maqbul yechimni tanlash.
6. Natijani sinovdan o‘tkazish.

Sun’iy intellekt texnologiyalari ushbu bosqichlarning har birida dizaynerga yordam berishi mumkin. XAI esa ushbu yordamning asoslanganligini tushuntirib beradi.

Dizayn sohasida XAI texnologiyalarining qo‘llanilishi.

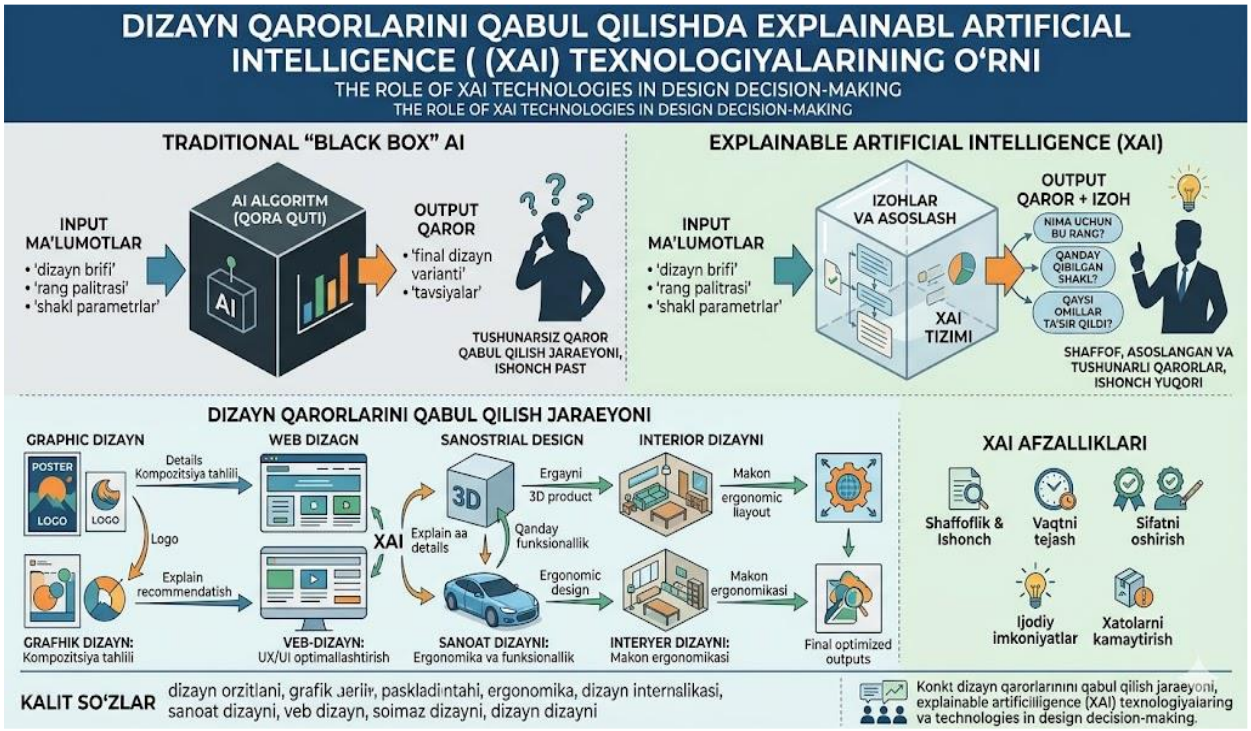
Grafik dizayn. Grafik dizaynda XAI tizimlari ranglar uyg‘unligi, shrift tanlash, sahifa kompozitsiyasi va vizual elementlarning joylashuvini tahlil qiladi. Masalan, tizim reklama banneridagi rang kombinatsiyasini tavsiya etar ekan, aynan qaysi ranglar auditoriya e’tiborini jalb qilishini statistik ma’lumotlar asosida izohlashi mumkin.

Veb-dizayn. Veb-dizayn sohasida XAI foydalanuvchi tajribasini (UX) yaxshilashga xizmat qiladi. Tizim foydalanuvchilarning sayt bilan o‘zaro munosabatlarini tahlil qilib, interfeys elementlarini qayta joylashtirish bo‘yicha tavsiyalar beradi. Shu bilan birga, ushbu tavsiyalarning sabablarini ham tushuntiradi.

Sanoat dizayni. Sanoat dizaynida XAI mahsulotlarning ergonomik va funksional xususiyatlarini tahlil qiladi. Tizim foydalanuvchilarning ehtiyojlarini o‘rganib, mahsulot shakli yoki konstruksiyasini takomillashtirish bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqadi.

Interyer dizayni. Interyer dizaynida XAI texnologiyalari mebel joylashuvi, ranglar uyg‘unligi va makon ergonomikasini baholash imkonini beradi. Dizayner tizim tavsiyalarining asoslarini ko‘rib chiqishi va eng maqbul variantni tanlashi mumkin.

XAI texnologiyalarining dizayn faoliyatidagi afzalliklari.



Qarorlarning shaffofligi. XAI tizimlari qarorlarning qanday shakllanganligini ko‘rsatib beradi. Bu esa dizaynerning tizimga bo‘lgan ishonchini oshiradi.

Ishonchlilikning ortishi. Izohlanadigan algoritmlar orqali foydalanuvchilar sun’iy intellekt tavsiyalarining mantiqiy asoslarini tushunadi. Natijada qarorlarning ishonchlilik darajasi ortadi.

Vaqt va resurslarni tejash. Sun’iy intellekt minglab variantlarni qisqa vaqt ichida tahlil qilib, eng maqbul yechimlarni tavsiya etadi. Bu esa loyiha ustida ishlash muddatini qisqartiradi.

Ijodiy imkoniyatlarni kengaytirish. XAI dizaynerga yangi g‘oyalarni taklif etib, ijodiy izlanishlarni rag‘batlantiradi. Tizim tomonidan tavsiya etilgan muqobil variantlar dizaynerning kreativ fikrlash doirasini kengaytiradi.

Xatolarni kamaytirish. Ma’lumotlarga asoslangan tahlil inson omili tufayli yuzaga keladigan ayrim xatolarning oldini olishga yordam beradi.

Dizayn ta’limida XAI texnologiyalarining pedagogik ahamiyati. Bugungi kunda dizayn va tasviriy san’at ta’limida innovatsion texnologiyalardan foydalanishga alohida e’tibor qaratilmoqda. XAI texnologiyalari bo‘lajak dizaynerlar va tasviriy san’at o‘qituvchilarining kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirishda muhim vosita bo‘lib xizmat qiladi.

Talabalar sun’iy intellekt tavsiyalarini nafaqat qabul qiladi, balki ularning qanday shakllanganligini ham tahlil qiladi. Bu esa:

- tanqidiy fikrlashni rivojlantiradi;
- tahliliy kompetensiyalarni shakllantiradi;
- kreativ yondashuvni kuchaytiradi;
- zamonaviy texnologiyalar bilan ishlash ko‘nikmalarini rivojlantiradi.

Ayniqsa amaliy san’at va tasviriy san’at yo‘nalishlarida XAI texnologiyalaridan foydalanish ta’lim sifatini oshirishga xizmat qiladi.

XAI texnologiyalarining mavjud muammolari. XAI tizimlarining rivojlanishiga qaramay, ayrim muammolar mavjud:

Birinchidan, murakkab neyron tarmoqlarning qarorlarini to‘liq izohlash qiyin.

Ikkinchidan, sifatli ishlash uchun katta hajmdagi ma’lumotlar talab etiladi.

Uchinchidan, ayrim hollarda izohlarning o‘zi ham murakkab bo‘lishi mumkin.
To‘rtinchidan, dizayn faoliyatidagi estetik va ijodiy omillarni to‘liq algoritmlashtirishning imkoni yo‘q.

Beshinchidan, texnologik infratuzilma va mutaxassislar tayyorlash masalalari ham dolzarb bo‘lib qolmoqda.

Shunga qaramasdan, ilmiy tadqiqotlar va texnologik taraqqiyot ushbu muammolarni bosqichma-bosqich bartaraf etishga xizmat qilmoqda.

An’anaviy AI va XAI tizimlarining dizayn qarorlarini qabul qilishdagi farqlari:

Solishtirish mezonlari	An’anaviy AI (“Qora quti”)	XAI (Explainable AI) tizimlari	Dizayner uchun ahamiyati
Qaror qabul qilish shaffofligi	Faqat yakuniy natija taqdim etiladi, jarayon yopiq bo‘ladi.	Natijaga ta’sir qilgan barcha omillar va qonuniyatlar ko‘rsatiladi.	Tizim tavsiyalarining mantiqiy asosini tushunish.
Dizaynerning ishonch darajasi	Past — tizim nima uchun aynan shu variantni tanlagani noma’lum.	Yuqori — har bir tavsiya statistik va vizual dalillar bilan asoslanadi.	Tavsiyalarni ikkilanmasdan loyihaga tatbiq etish.
Xatolar ustida ishlash	Xatolik yuz bersa, sababini aniqlash juda qiyin.	Algoritmning qaysi bosqichida xato ketgani aniq ko‘rinadi.	Vaqtni tejash va dizayndagi kamchiliklarni tezkor tuzatish.
Kreativ nazorat	Dizayner tizim bergan variantni ko‘r-ko‘rona qabul qiladi yoki rad etadi.	Dizayner tizim parametrlari va argumentlarini tahlil qilib, o‘zgartira oladi.	Sun’iy intellekt va inson ijodkorligi hamkorligini ta’minlash.
Ta’limiy qiymati (Talabalar uchun)	Faqat tayyor shablon beradi, talabada tahlil qilish ko‘nikmasi shakllanmaydi.	Algoritm qarorini asoslab bergani uchun talabada tanqidiy fikrlashni oshiradi.	Bo‘lajak dizaynerlarning kasbiy kompetensiyasini shakllantirish.

Xulosa

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, Explainable Artificial Intelligence texnologiyalari dizayn qarorlarini qabul qilish jarayonining samaradorligini oshirishda muhim vosita hisoblanadi. XAI tizimlari sun’iy intellekt tomonidan qabul qilingan qarorlarni izohlash, ularning shaffofligini ta’minlash va foydalanuvchilarning ishonchini oshirish imkonini beradi.

Dizayn sohasida XAI texnologiyalaridan foydalanish muqobil variantlarni ishlab chiqish, loyiha sifatini baholash, vaqt va resurslarni tejash hamda ijodiy imkoniyatlarni kengaytirishga xizmat qiladi. Shuningdek, ushbu texnologiyalar dizayn ta’limida bo‘lajak mutaxassislarning kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirish uchun samarali pedagogik vosita bo‘lib xizmat qilishi mumkin.
Kelgusida XAI texnologiyalarining takomillashuvi natijasida dizayn faoliyatining barcha yo‘nalishlarida sun’iy intellekt va inson ijodkorligi o‘rtasidagi hamkorlik yanada mustahkamlanishi kutilmoqda.

Adabiyotlar

[1]. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. – Pearson Education, 2021.
[2]. Molnar C. Interpretable Machine Learning. – Lulu Press, 2022.
[3]. Adadi A., Berrada M. Peeking Inside the Black Box: A Survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI). – IEEE Access, 2018.
[4]. Gunning D., Aha D. DARPA’s Explainable Artificial Intelligence Program. – AI Magazine, 2019.
[5]. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – MIT Press, 2016.

[6]. Floridi L., Cowls J. A Unified Framework of Five Principles for AI in Society. – Harvard Data Science Review, 2019.
[7]. Xolmatov U., Axmedov B. Sun'iy intellekt texnologiyalarining ta'limdagi imkoniyatlari. – Toshkent, 2023.
[8]. Karimov Sh. Raqamli texnologiyalar va dizayn ta'limi integratsiyasi. – Toshkent, 2024.
[9]. O'zbekiston Respublikasida sun'iy intellekt texnologiyalarini rivojlantirish strategiyasiga oid normativ hujjatlar.
[10]. Zamonaviy dizayn va innovatsion texnologiyalar bo'yicha ilmiy maqolalar to'plami. – Toshkent, 2024.

UDK: 004.85:574.2

SUN'IY INTELLEKT USULLARIGA ASOSLANGAN INTELLEKTUAL EKOLOGIK MONITORING TIZIMIDA AXBOROT TAHLILI

3-bosqich talabasi M.X. G'aybullayeva
Ilmiy rahbar: L.S. Qo'ldoshev

Navoiy davlat universiteti
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Maqolada sun'iy intellekt usullariga asoslangan intellektual ekologik monitoring tizimida axborot tahlili masalalari ko'rib chiqilgan. Atmosfera havosi, suv resurslari va meteorologik ko'rsatkichlardan sensor hamda IoT qurilmalari orqali olinadigan katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlash, tozalash, normalizatsiya qilish va tahlil qilish jarayonlari bosqichma-bosqich tahlil etilgan. Mashinaviy o'qitish (Decision Tree, Random Forest, SVM, KNN, XGBoost) hamda chuqur o'qitish (ANN, CNN, LSTM) algoritmlarining samaradorligi qiyosiy o'rganilgan. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, Random Forest algoritmi havo sifatini klassifikatsiya qilishda 93,5% aniqlikni, LSTM modeli esa PM2.5 ifloslanishini prognozlashda R^2 = 0,94 ko'rsatkichini ta'minlaydi.*

Kalit so'zlar: *atrof-muhit, ekologik monitoring, sun'iy intellekt, mashinaviy o'qitish, chuqur o'qitish, LSTM, axborot tahlili, PM2.5, havo sifati indeksi, IoT.*

Kirish.

Atrof-muhit holatini nazorat qilish va ekologik xavflarni oldindan aniqlash bugungi kunda dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Sanoat korxonalarining ko'payishi, transport vositalari sonining ortishi va urbanizatsiya jarayonlari natijasida atmosfera havosi, suv resurslari hamda tuproqning ifloslanish darajasi ortib bormoqda. Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti ma'lumotlariga ko'ra, atmosfera havosining ifloslanishi har yili millionlab insonlarning bevaqt o'limiga sabab bo'lmoqda [15]. Shu sababli ekologik monitoring tizimlarida katta hajmdagi ma'lumotlarni tezkor qayta ishlash va tahlil qilish zarurati yuzaga kelmoqda.

O'zbekiston Respublikasida ham atrof-muhitni muhofaza qilish va raqamli texnologiyalarni rivojlantirish davlat siyosatining ustuvor yo'nalishlaridan biriga aylangan. Jumladan, "Yashil iqtisodiyotga o'tish strategiyasi" [11] hamda sun'iy intellekt texnologiyalarini jadal rivojlantirishga oid me'yoriy hujjatlar [12] ekologik monitoringni raqamlashtirish uchun huquqiy asos yaratdi.

Sun'iy intellekt texnologiyalari ekologik monitoring jarayonlarida ma'lumotlarni avtomatik yig'ish, qayta ishlash, tahlil qilish va prognozlash imkoniyatlarini kengaytirmoqda. Intellektual ekologik monitoring tizimlari ekologik ko'rsatkichlar holatini real vaqt rejimida kuzatish va yuzaga kelishi mumkin bo'lgan ekologik xavflarni oldindan aniqlash imkonini beradi. Ushbu maqolaning maqsadi — sun'iy intellekt usullariga asoslangan intellektual ekologik monitoring tizimida axborot tahlili jarayonlarini tadqiq etish hamda turli algoritmlarning samaradorligini qiyosiy baholashdan iborat.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili

So'nggi yillarda sun'iy intellekt asosidagi ekologik monitoring tizimlari xorijiy va mahalliy tadqiqotchilar tomonidan keng o'rganilmoqda. Zhang Q. va boshqalar [1] PM2.5 konsentratsiyasini prognozlashda qo'llaniladigan chuqur o'qitish arxitekturalarini tizimli tahlil qilib, rekurrent neyron

tarmoqlar (RNN), xususan LSTM modellari vaqt qatorlaridagi bog‘liqliklarni aniqlashda yuqori samaradorlik ko‘rsatishini ta’kidlaydilar.

Zhao J. va hammualliflar [2] LSTM neyron tarmog‘iga asoslangan PM2.5 ni fazoviy-vaqtinchalik prognozlash modelini ishlab chiqib, taklif etilgan modelning xatolik ko‘rsatkichlari (MAE) an’anaviy usullarga nisbatan ancha past ekanligini eksperimental tarzda isbotladilar. Mualliflar boshqa ifloslantiruvchi omillarning PM2.5 konsentratsiyasiga ta’siri sezilarli ekanligini ham qayd etadilar.

Mashinaviy o‘qitish algoritmlarini IoT bilan birlashtirgan holda real vaqtda havo sifatini baholash bo‘yicha tadqiqotlar alohida ahamiyatga ega. Real vaqtda havo sifatini baholash va sog‘liq uchun xavf xaritalarini yaratishga bag‘ishlangan tadqiqotda [3] Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost va LSTM modellarining kombinatsiyasi regressiya hamda klassifikatsiya masalalarini yuqori aniqlik bilan hal etishi ko‘rsatilgan. Mualliflar tizimni “aqlli shahar” ekologik kuzatuvining asosi sifatida talqin qiladilar.

Hu Z. va boshqalar [4] aqlli shaharda real vaqtda yuqori aniqlikdagi havo sifatini sezish tarmoqlarini loyihalash, joriy etish va optimallashtirish masalalarini batafsil o‘rganib chiqdilar. IoT asosidagi havo sifati monitoringi tizimlariga bag‘ishlangan ishlarda [7, 8] esa Random Forest va Support Vector Machine algoritmlari havo sifati indeksini (AQI) klassifikatsiya qilishda eng yaxshi natijalarni berishi aniqlangan; jumladan, Random Forest modeli aksariyat hollarda boshqa algoritmlardan ustun keladi.

Chuqur o‘qitish sohasidagi gibrid yondashuvlar ham faol rivojlanmoqda. KSC-ConvLSTM gibrid modeliga oid tadqiqotda [6] KNN algoritmi, fazoviy-vaqtinchalik e’tibor (attention) mexanizmi va ConvLSTM birlashtirilib, prognoz qiymatlari haqiqiy qiymatlar bilan eng kuchli korrelyatsiyani ($r = 0{,}985$) ko‘rsatgan. CNN-LSTM modeliga asoslangan ishlarda [5] meteorologik omillar — harorat, bosim va shamol tezligi — PM2.5 konsentratsiyasiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi tasdiqlangan.

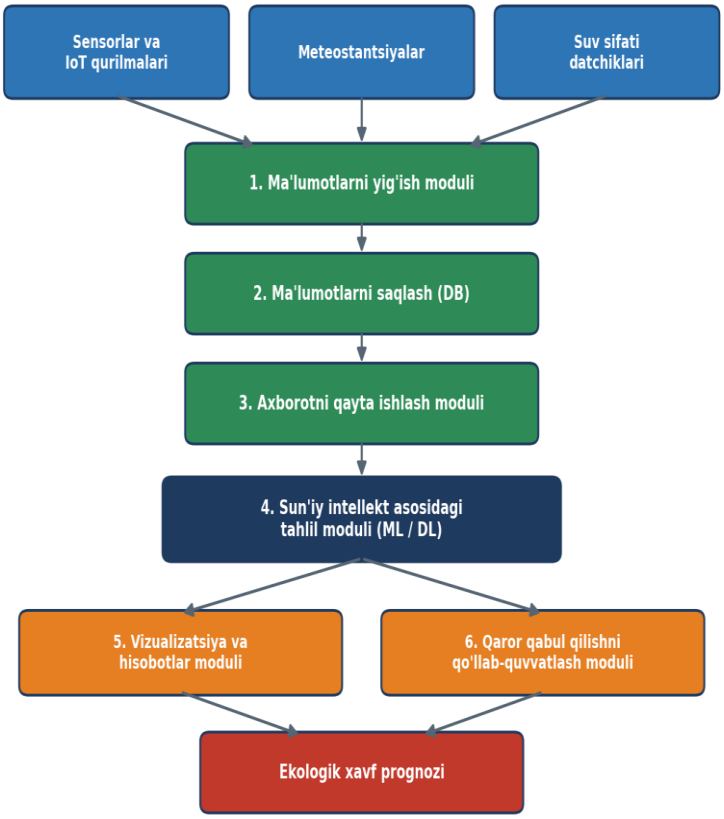
Optimallashtirilgan LSTM modeli yordamida soatlik PM2.5 ni prognozlashga oid tadqiqotda [9] model sozlamalarini sezgirlik tahlili orqali optimallashtirib, kuchli ifloslangan hududlarda yuqori aniqlikka erishilgan. PM2.5 va PM10 ni mashinaviy hamda chuqur o‘qitish modellari bilan tizimli o‘rganishga bag‘ishlangan ishda [10] Linear Regression, Decision Tree, Random Forest va XGBoost modellari LSTM bilan qiyoslanib, LSTM modellarining barcha variantlarida R^2 ko‘rsatkichi 0,90 darajasida saqlanishi qayd etilgan.

Qo‘llaniladigan algoritmlarning nazariy asoslari klassik ishlarga borib taqaladi: Breiman L. [13] tomonidan taklif etilgan Random Forest ansambl usuli va Hochreiter S. hamda Schmidhuber J. [14] ishlab chiqqan LSTM arxitekturasi bugungi kunda ekologik ma’lumotlarni tahlil qilishning asosiy vositalariga aylangan. Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, mavjud tadqiqotlarning aksariyati alohida algoritmlarga yoki bitta ifloslantiruvchi moddaga qaratilgan bo‘lib, monitoring tizimining yaxlit axborot tahlili jarayonini bosqichma-bosqich qamrab oluvchi qiyosiy yondashuv yetarlicha yoritilmagan. Ushbu maqola mazkur bo‘shliqni to‘ldirishga qaratilgan.

Tadqiqot metodologiyasi

Intellektual ekologik monitoring tizimi — bu sun’iy intellekt, ma’lumotlar bazasi, sensor qurilmalar va tahliliy algoritmlar yordamida atrof-muhit holatini kuzatish, baholash va prognozlashni amalga oshiruvchi avtomatlashtirilgan tizimdir. Tizim quyidagi asosiy modullardan tashkil topadi: ma’lumotlarni yig‘ish moduli; ma’lumotlarni saqlash moduli; axborotni qayta ishlash moduli; sun’iy intellekt asosidagi tahlil moduli; vizualizatsiya va hisobotlar moduli; qaror qabul qilishni qo‘llab-quvvatlash moduli. Tizimning umumiy arxitekturasi 1-rasmda keltirilgan.

Tizimda quyidagi ekologik ma’lumotlar manbalaridan foydalaniladi: atmosfera havosi ko‘rsatkichlari (PM2.5, PM10, CO, CO_2, NO_2, SO_2, O_3); meteorologik ma’lumotlar (havo harorati, namlik, atmosfera bosimi, shamol tezligi, yog‘ingarchilik miqdori); hamda suv resurslari ma’lumotlari (pH darajasi, eritilgan kislorod miqdori, suvning loyqaligi, mineral tuzlar miqdori). Ushbu ko‘rsatkichlar 1-jadvalda umumlashtirilgan.



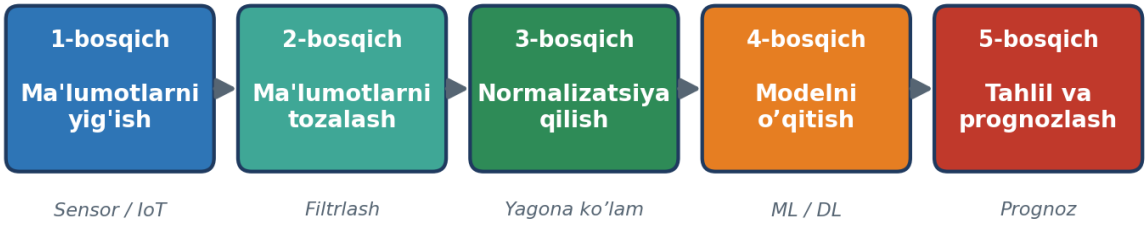
1-rasm. Intellektual ekologik monitoring tizimining funksional arxitekturasi.

1-jadval.

Monitoring tizimida foydalaniladigan ekologik ma'lumotlar manbalari

Ma'lumotlar guruhi	Ko'rsatkichlar
Atmosfera havosi	PM2.5, PM10, CO, CO_2, NO_2, SO_2, O_3
Meteorologik ma'lumotlar	Harorat, namlik, atmosfera bosimi, shamol tezligi, yog'ingarchilik
Suv resurslari	pH darajasi, eritilgan kislorod, loyqalik, mineral tuzlar miqdori

Axborot tahlili jarayoni besh bosqichdan iborat ketma-ketlikda amalga oshiriladi (2-rasm): ma'lumotlarni yig'ish, tozalash, normalizatsiya qilish, modelni o'qitish hamda tahlil va prognozlash. Ma'lumotlarni tozalash bosqichida noto'g'ri qiymatlar chiqarib tashlanadi, yetishmayotgan qiymatlar to'ldiriladi va shovqinli ma'lumotlar filtrlanadi. Normalizatsiya bosqichida turli o'lchov birliklaridagi ko'rsatkichlar yagona ko'lamga keltiriladi, bu esa modelning o'qitilishi sifatini oshiradi.



2-rasm. Sun'iy intellekt asosidagi axborot tahlili jarayonining bosqichlari.

Tadqiqotda axborot tahlili uchun ikki guruh algoritmlardan foydalanildi. Mashinaviy o'qitish guruhiga Decision Tree, Random Forest, Support Vector Machine (SVM), K-Nearest Neighbors (KNN) va XGBoost algoritmlari kiritildi; ular yordamida havo sifati darajasi

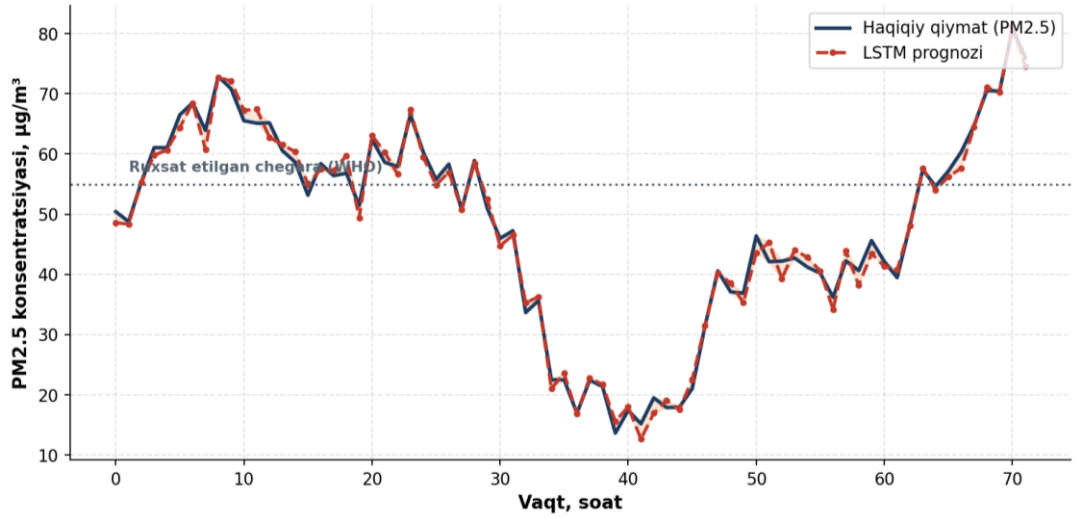
klassifikatsiya qilinadi. Chuqur o‘qitish guruhiga esa Artificial Neural Network (ANN), Convolutional Neural Network (CNN) va Long Short-Term Memory (LSTM) modellari kiritildi. Modellarni baholashda aniqlik (Accuracy), aniqlik darajasi (Precision), R^2 determinatsiya koeffitsienti va o‘rtacha kvadratik xato (MSE) ko‘rsatkichlaridan foydalanildi.

Natijalar va ularning muhokamasi

Havo sifatini klassifikatsiya qilish bo‘yicha o‘tkazilgan tajribalar natijasida mashinaviy o‘qitish algoritmlarining samaradorligi qiyosiy baholandi. Olingan natijalarga ko‘ra, eng yuqori aniqlikni Random Forest algoritmi (93,5%) ta’minladi; undan keyin XGBoost (91,7%), SVM (88,3%), KNN (86,9%) va Decision Tree (84,6%) joylashdi (3-rasm). Bu natijalar adabiyotlar tahlilida keltirilgan ma’lumotlar [3, 7, 8] bilan uyg‘un bo‘lib, ansambl usullarining ekologik klassifikatsiya masalalaridagi ustunligini tasdiqlaydi.

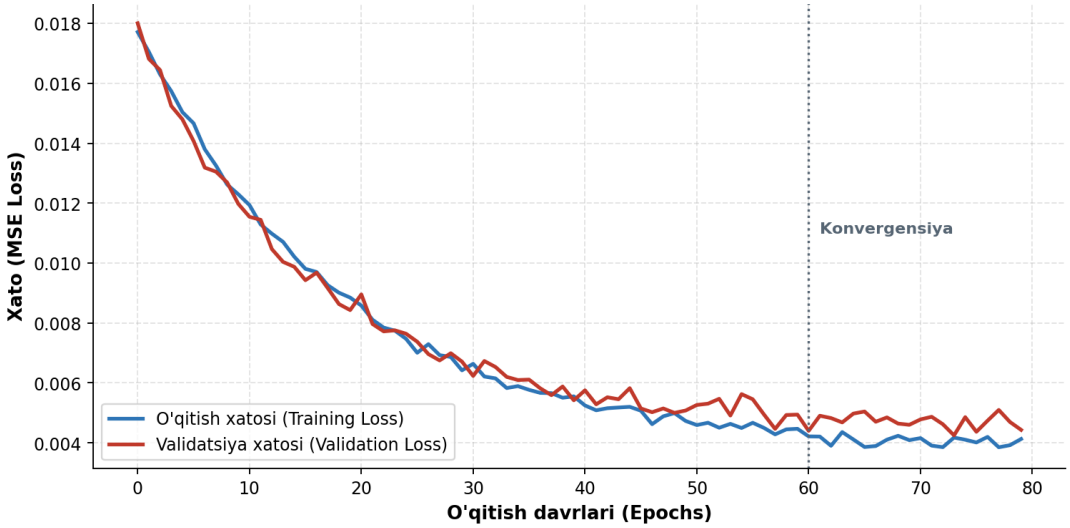
3-rasm. Mashinaviy o‘qitish algoritmlari samaradorligining qiyosiy diagrammasi

Ifloslanishni vaqt bo‘yicha prognozlash masalasida chuqur o‘qitishga asoslangan LSTM modeli qo‘llanildi. Model 72 soatlik gorizont uchun PM2.5 konsentratsiyasini prognoz qildi va prognoz qiymatlari haqiqiy qiymatlar bilan yuqori darajada mos keldi ($R^2 = 0,94$). 4-rasmda LSTM modeli prognozi va haqiqiy o‘lchovlar solishtirilgan; uzluksiz chiziq haqiqiy qiymatni, uzuq chiziq esa prognozni ifodalaydi. Punktir chiziq Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti tomonidan belgilangan ruxsat etilgan chegarani [15] ko‘rsatadi.



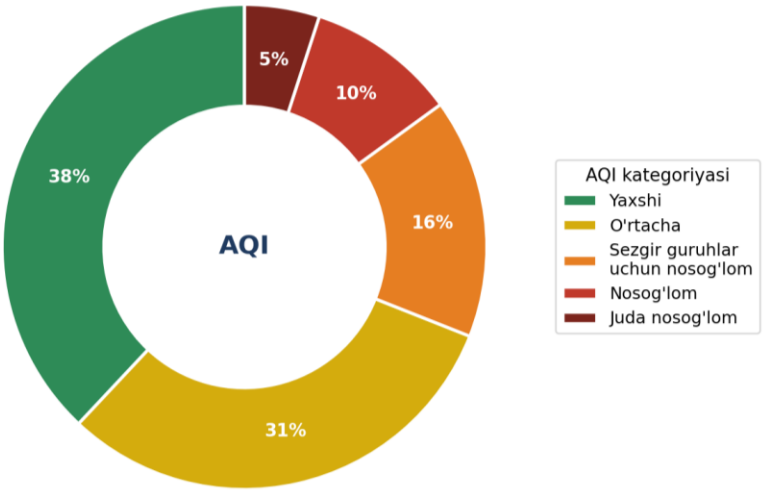
4-rasm. LSTM modeli yordamida PM2.5 ifloslanishini prognozlash natijalari.

Modelni o‘qitish jarayonining barqarorligini baholash uchun o‘qitish va validatsiya xatoliklari dinamikasi kuzatildi (5-rasm). O‘qitishning dastlabki davrlarida xatolik tez kamayib bordi, taxminan 60-davrdan keyin esa har ikkala egri chiziq barqarorlashib, konvergensiya holatiga keldi. O‘qitish va validatsiya xatoliklari qiymatlarining bir-biriga yaqinligi modelning qayta o‘qitilish (overfitting) muammosidan xoli ekanligini va yangi ma’lumotlarga yaxshi umumlashtirilishini ko‘rsatadi.



5-rasm. LSTM modelini o‘qitish jarayonida xatolik dinamikasi.

Tizim tomonidan shakllantirilgan natijalar asosida monitoring zonasidagi havo sifati indeksi (AQI) kategoriyalari bo‘yicha taqsimot olindi (6-rasm). Tahlil ko‘rsatadiki, kuzatuv davrida vaqtning 38% “yaxshi” va 31% “o‘rtacha” havo sifatiga to‘g‘ri keldi; biroq vaqtning 15% sezgir guruhlar uchun nosog‘lom hamda nosog‘lom darajalarga to‘g‘ri kelishi ekologik nazoratni kuchaytirish zarurligini ko‘rsatadi. Aynan shunday holatlarni oldindan aniqlash intellektual monitoring tizimining asosiy amaliy ahamiyatini tashkil etadi.



6-rasm. Monitoring zonasida havo sifati indeksi (AQI) kategoriyalarining taqsimoti

Olingan natijalar shuni tasdiqlaydiki, sun’iy intellekt asosidagi axborot tahlili an’anaviy statistik usullarga nisbatan bir qator afzalliklarga ega: katta hajmdagi ma’lumotlarni tezkor qayta ishlash, yashirin bog‘liqliklarni aniqlash, ekologik xavf omillarini baholash, ifloslanish manbalarini aniqlash hamda kelajakdagi ekologik holatni prognoz qilish imkonini beradi. Klassifikatsiya masalalarida Random Forest, vaqt qatorlarini prognozlashda esa LSTM modeli eng samarali yechim sifatida tavsiya etiladi.

Xulosa

Sun’iy intellekt usullariga asoslangan intellektual ekologik monitoring tizimida axborot tahlili ekologik ma’lumotlarni samarali qayta ishlash, atrof-muhit holatini baholash va prognozlash imkonini beradi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, havo sifatini klassifikatsiya qilishda Random Forest algoritmi 93,5% aniqlikni, PM2.5 ifloslanishini prognozlashda esa LSTM modeli R^2 = 0,94

ko‘rsatkichini ta’minladi. Mashinaviy o‘qitish va chuqur o‘qitish algoritmlaridan birgalikda foydalanish monitoring tizimlarining aniqligi va tezkorligini sezilarli darajada oshiradi.

Ishlab chiqilgan yondashuv ekologik nazorat samaradorligini oshiradi, inson salomatligiga xavf tug‘diruvchi holatlarni oldindan aniqlaydi, ekologik qarorlar qabul qilishni tezlashtiradi hamda davlat ekologik monitoring tizimlarini raqamlashtirish va “Aqlli shahar” (Smart City) konsepsiyasini rivojlantirishga xizmat qiladi. Kelgusi tadqiqotlarda gibrid CNN-LSTM modellarini joriy etish va tizimni real IoT infratuzilmasida sinovdan o‘tkazish maqsadga muvofiqdir.

Adabiyotlar

[1]. Zhang Q., Han Y., Li V.O.K., Lam J.C.K. Deep-learning architecture for PM2.5 concentration prediction: A review // Environmental Science and Ecotechnology. — 2024. — Vol. 21. — 100400.

[2]. Zhao J., Deng F., Cai Y., Chen J. Research on PM2.5 Spatiotemporal Forecasting Model Based on LSTM Neural Network // Computational Intelligence and Neuroscience. — 2021. — Vol. 2021. — Article 1616806.

[3]. A Machine Learning-driven Framework for Real-time Air Quality Assessment and Predictive Environmental Health Risk Mapping // Scientific Reports. — 2025. — Vol. 15. — Article 14214.

[4]. Hu Z., Bai Z., Bian K., Wang T., Song L. Real-time Fine-grained Air Quality Sensing Networks in Smart City: Design, Implementation, and Optimization // IEEE Internet of Things Journal. — 2019. — Vol. 6, No. 5. — P. 7526–7542.

[5]. Prediction of PM2.5 Concentration Based on a CNN-LSTM Neural Network Algorithm // PeerJ Computer Science. — 2024. — PMC11313410.

[6]. A Hybrid Deep Learning Air Pollution Prediction Approach Based on Neighborhood Selection and Spatio-temporal Attention (KSC-ConvLSTM) // Scientific Reports. — 2025. — Vol. 15. — Article 88086.

[7]. IoT-Based Air Quality Monitoring System with Machine Learning for Accurate and Real-time Data Analysis. — arXiv preprint arXiv:2307.00580. — 2023.

[8]. Air Quality Monitoring System Using Machine Learning and IoT // Lecture Notes in Networks and Systems. — Springer, 2021. — P. 555–565.

[9]. Forecasting Hourly PM2.5 Concentration with an Optimized LSTM Model // Atmospheric Environment. — 2023. — Vol. 315. — 120059.

[10]. A Systematic Study on PM2.5 and PM10 Concentration Prediction in Air Pollution Using Machine Learning and Deep Learning Models // Sustainable Computing: Informatics and Systems. — 2025. — Vol. 46. — 101096.

[11]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 4-oktyabrdagi “2019–2030-yillar davrida O‘zbekiston Respublikasining yashil iqtisodiyotga o‘tish strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PQ-4477-son qarori. — Toshkent, 2019.

[12]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 17-fevraldagi “Sun’iy intellekt texnologiyalarini jadal rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-4996-son qarori. — Toshkent, 2021.

[13]. Breiman L. Random Forests // Machine Learning. — 2001. — Vol. 45, No. 1. — P. 5–32.

[14]. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory // Neural Computation. — 1997. — Vol. 9, No. 8. — P. 1735–1780.

[15]. WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM2.5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide. — Geneva: World Health Organization, 2021. — 290 p.

[16]. Кулдошев Л.С., Якубов М.С. “Модели, прогнозирующие влияние вредных выбросов промышленных предприятий на окружающую среду”, TATUning ilmiy-texnika va axborot-tahliliy jurnali 2024, №4 (72)

“TRAFFICSMART —TIRBANDLIKNI PROGNOZ QILISH VA ALTERNATIV MARSHRUT TAVSIYASI” MOBIL ILOVADAN FOYDALANISH TEXNOLOGIYASI

U.N. Xamroyev, Sh.Sh. Sharipov, talaba N.T. Nizomova

Navoiy davlat universiteti
utkir_903@mail.ru, sharipovshavkatbek04@gmail.com

(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Ushbu mobil ilova zamonaviy texnologiyalar yordamida shahar transport tizimidagi tirbandliklarni oldindan prognoz qilish va foydalanuvchilarga eng qulay hamda tezkor alternativ marshrutlarni tavsiya etishga qaratilgan. Ilova real vaqt ma’lumotlari, sun’iy intellekt algoritmlari va geolokatsiya xizmatlaridan foydalanib, yo‘l harakati holatini tahlil qiladi va haydovchilarga optimal yo‘nalishni tanlashda yordam beradi. Natijada vaqtni tejash, yoqilg‘i sarfini kamaytirish hamda transport*

oqimini samarali boshqarish imkoniyati yaratiladi. Mazkur yechim shahar infratuzilmasini yanada rivojlantirishga xizmat qilib, foydalanuvchilarga qulay va samarali harakatlanish tajribasini taqdim etadi.

Kalit so‘zlar*: tirbandlik, prognozlash, mobil ilova, alternativ marshrut, yo‘l harakati, geolokatsiya, real vaqt ma’lumotlari, sun’iy intellekt, transport tizimi, optimallashtirish, navigatsiya, trafik tahlili*

KIRISH. Bugungi kunda rivojlanib borayotgan shaharlar bilan bir qatorda transport muammolari, ayniqsa tirbandlik masalasi tobora dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Aholi sonining ortishi va avtomobillar oqimining keskin ko‘payishi natijasida yo‘llarda yuzaga kelayotgan tirbandliklar nafaqat vaqt yo‘qotilishiga, balki iqtisodiy zarar, yoqilg‘i sarfining oshishi va atrof-muhitga salbiy ta’sir ko‘rsatishiga olib kelmoqda [1,3,5]. Shu sababli transport oqimini samarali boshqarish va haydovchilarga qulay harakatlanish imkoniyatini yaratish zamonaviy texnologiyalar oldidagi muhim vazifalardan biriga aylangan. Axborot texnologiyalarining jadal rivojlanishi, xususan sun’iy intellekt, katta hajmdagi ma’lumotlarni tahlil qilish va geolokatsiya xizmatlarining keng qo‘llanilishi ushbu muammoga innovatsion yechimlar taklif etish imkonini bermoqda. Aynan shunday yechimlardan biri tirbandlikni oldindan prognoz qilish va foydalanuvchilarga alternativ marshrutlarni tavsiya etuvchi mobil ilovalarni yaratishdir[2,4]. Bunday ilovalar real vaqt rejimida yo‘l holatini tahlil qilib, eng ma’qul yo‘nalishlarni aniqlaydi hamda foydalanuvchilarga tezkor va samarali harakatlanish imkonini taqdim etadi.

Ushbu maqolaning asosiy maqsadi — tirbandliklarni prognoz qilish va alternativ yo‘nalishlarni tavsiya etishga qaratilgan mobil ilova konsepsiyasini ishlab chiqish hamda uning samaradorligini asoslashdan iborat. Ushbu yondashuv nafaqat individual foydalanuvchilar uchun qulaylik yaratadi, balki umumiy transport tizimini optimallashtirishga ham xizmat qiladi**.**

Adabiyotlar tahlili. “TrafficSmart — tirbandlikni prognoz qilish va alternativ marshrut tavsiyasi” mavzusidagi adabiyotlar tahlilida V. V. Vlahogianni, Y. Bengio, I. Goodfellow, A. Graves, J. Hochreiter, S. Hochreiter, Z. Li, H. Zhang, A. Srivastava, S. Sun va M. Abdel-Aty kabi olimlar tomonidan olib borilgan tadqiqotlar asosida shahar transport tizimlarida tirbandlikni bashorat qilish uchun statistik yondashuvlar, mashinaviy o‘rganish algoritmlari hamda chuqur o‘rganish modellari keng qo‘llanilishi, ayniqsa spatiotemporal ma’lumotlarni tahlil qilish orqali yo‘l harakati oqimining vaqt va makon bo‘yicha o‘zgarishini aniqlash muhim ekanligi ta’kidlanadi [2,4]; shuningdek, Bengio va Goodfellow ishlari chuqur neyron tarmoqlarning asosiy nazariy bazasini yaratgan bo‘lsa, Hochreiter va Graves LSTM arxitekturasi orqali ketma-ket ma’lumotlarni prognoz qilish imkoniyatlarini rivojlantirgan, Vlahogianni esa intellektual transport tizimlarida real vaqt ma’lumotlarini integratsiya qilish muammolarini o‘rgangan; Z. Li va H. Zhang tadqiqotlarida esa graf neyron tarmoqlari yordamida yo‘l tarmoqlaridagi murakkab bog‘lanishlar modellashtirilgan bo‘lib, bu yondashuvlar TrafficSmart kabi tizimlarda alternativ marshrutlarni aniqlash va foydalanuvchiga adaptiv, multimodal hamda real vaqtga asoslangan tavsiyalar berish samaradorligini oshirishi ilmiy jihatdan asoslab berilgan [4,7].

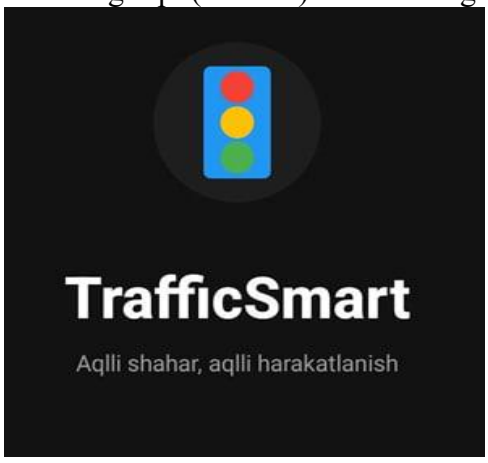
Tadqiqot metodologiyasi. Bugungi raqamli texnologiyalar davrida transport tizimini aqlli boshqarish jamiyat taraqqiyotining muhim omillaridan biri hisoblanadi. TrafficSmart loyihasi aynan shu ehtiyojdan kelib chiqib yaratilgan bo‘lib, u sun’iy intellekt, GPS va real vaqt monitoring texnologiyalarini birlashtirgan holda foydalanuvchilarga qulay, tez va xavfsiz harakatlanish imkoniyatini yaratadi.

TrafficSmart tizimida multimodal yondashuvdan foydalanish turli manbalardan (GPS, sensorlar, kameralar va foydalanuvchi kiritmalari) olingan ma’lumotlarni birlashtirib, tirbandlikni yanada aniq prognoz qilish va foydalanuvchiga samarali alternativ marshrutlarni tavsiya etishga xizmat qiladi. TrafficSmart — tirbandlikni prognoz qilish va alternativ marshrut tavsiya etishga mo‘ljallangan zamonaviy mobil ilova bo‘lib, uning funksiyalari haydovchilarga yo‘lda maksimal qulaylik va samaradorlikni ta’minlashga qaratilgan. Ilovaning eng muhim xususiyatlaridan biri real vaqt trafik monitoringi hisoblanadi. Ilovaning yana bir muhim funksiyasi — tirbandlikni sun’iy intellekt asosida prognoz qilishdir. TrafficSmart tizimi nafaqat hozirgi holatni ko‘rsatadi, balki kelajakdagi transport oqimini ham oldindan taxmin qiladi. Bunda vaqt omili, ya’ni ertalab va kechqurun pik soatlar, hafta kunlari, ob-havo sharoiti hamda tarixiy trafik ma’lumotlari hisobga

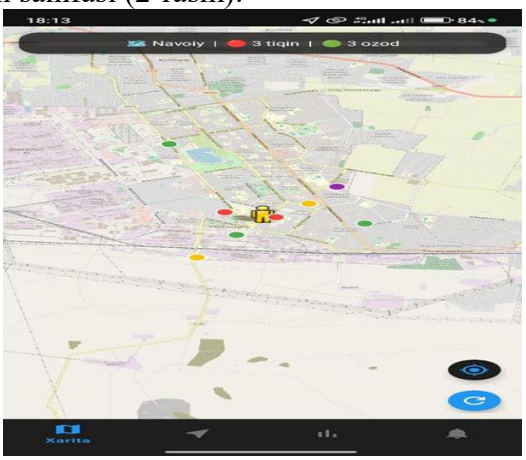
olinadi. Maxsus algoritmlar yordamida tizim 15–60 daqiqa oldingi tirbandlik ehtimolini aniqlaydi. TrafficSmart ilovasi aqlli marshrut tanlash funksiyasi bilan ham ajralib turadi. Ushbu funksiya foydalanuvchiga manzilga yetib borish uchun eng optimal yo‘nalishni avtomatik tarzda taklif etadi. Tizim bir vaqtning o‘zida bir nechta variantlarni tahlil qilib, eng tez, eng qisqa va eng kam tirband yo‘lni aniqlaydi. Agar harakat davomida yo‘lda o‘zgarish yuzaga kelsa, masalan tirbandlik yoki yo‘l yopilishi sodir bo‘lsa, ilova marshrutni real vaqt rejimida yangilab, yangi yo‘nalishni taklif qiladi. Bu esa foydalanuvchining ortiqcha vaqt yo‘qotishining oldini oladi.

Shuningdek, ilovada alternativ marshrut tavsiyasi funksiyasi mavjud bo‘lib, u asosiy yo‘l band bo‘lgan holatlarda juda foydali hisoblanadi. TrafficSmart foydalanuvchiga bir nechta muqobil yo‘llarni taklif qiladi va har bir yo‘l bo‘yicha vaqt, masofa hamda tirbandlik darajasi haqida ma’lumot beradi. Bu orqali foydalanuvchi o‘ziga eng qulay variantni tanlash imkoniyatiga ega bo‘ladi. Ilovaning yana bir qulay funksiyalaridan biri ovozli navigatsiya tizimidir. Ushbu funksiya haydovchiga yo‘l davomida ovozli ko‘rsatmalar berib boradi. Bundan tashqari, TrafficSmart ilovasida aqlli ogohlantirishlar tizimi ham mavjud. Ushbu tizim foydalanuvchini yo‘lda yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan turli holatlar haqida oldindan xabardor qiladi.

Ilova logotipi (1 -rasm) va ilovaning bosh sahifasi (2-rasm):



1-rasm. Ilovaning bosh logotipi



2-rasm. ilovaning bosh logotipi rasmi

Ilova pastki navigatsiya orqali 4 ta bo‘limga bo‘linadi(1-jadval):

1-jadval

Belgi	Bo‘lim	Vazifasi
🗺	Xarita	Ko‘chalarda real vaqt trafik holati rangli markerlar bilan ko‘rsatiladi.
🚗	Marshrut	Boshlang‘ich nuqtadan manzilgacha eng tez va qulay yo‘lni topadi.
📊	Bashorat	Bugungi kun uchun soatma-soat trafik zichligi grafikda ko‘rsatiladi.
🔔	Xabarlar	Tirbandlik ogohlantirishlari va trafik yangiliklari ro‘yxati.

TrafficSmart ilovasi yo‘l-transport hodisalari haqida ham tezkor ma’lumot beradi. Agar biror joyda avariya yoki yo‘l yopilishi sodir bo‘lsa, ilova bu haqda darhol xabar beradi. Bu esa boshqa haydovchilarga o‘sha hududdan chetlab o‘tish imkonini yaratadi. Shu orqali yo‘llarda xavfsizlik darajasi oshadi. Rangli markerlarning vazifasi 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

Rang	Holat	Ma’nosi
□ **Yashil**	Ozod yo‘l	Harakatlanish erkin, 40-60 km/s tezlikda
□ **Sariq**	Sekinlashgan	Tirbandlik boshlanmoqda, 20-40 km/s tezlik
● **Qizil**	Tirbandlik!	Kuchli tirbandlik, 8-20 km/s tezlik
□ **Binafsha**	Yo‘l yopiq	Baxtsiz hodisa yoki ta'mirlash
Rang	**Holat**	**Ma’nosi**

Ilovaning yana bir muhim jihati – navigatsiya tizimi mavjudligidir. TrafficSmart orqali foydalanuvchi kerakli manzilni kiritib, eng qisqa va tezkor yo‘lni topishi mumkin. Bu ayniqsa yangi joylarga borishda juda foydali hisoblanadi. Shuningdek, ilova yo‘l davomida yuzaga keladigan o‘zgarishlarni ham hisobga olib, marshrutni yangilab boradi. TrafficSmart ilovasi ekologiya uchun ham foydalidir. Chunki tirbandliklar kamayganda avtomobillar kamroq yoqilg‘i sarflaydi va havoga kamroq zararli gazlar chiqaradi. Bu esa atrof-muhitni asrashga yordam beradi. Shunday qilib, ilova nafaqat qulaylik yaratadi, balki ekologik muammolarni kamaytirishda ham o‘z hissasini qo‘shadi. Yana bir afzalligi shundaki, TrafficSmart oddiy va tushunarli interfeysga ega. Har qanday foydalanuvchi ilovadan bemalol foydalana oladi. Unda xarita, belgilar va ko‘rsatmalar aniq qilib berilgan. Bu esa ilovani yanada ommabop qiladi.

Tahlil va natijalar. TrafficSmartdan foydalanilganda: Kunlik yo‘lovchilar tiqinlarda o‘rtacha 30% kam vaqt sarflaydi. Qisqa va ozod yo‘llar orqali yoqilg‘i sarfi kamayadi. Navoiy bo‘yicha iqtisodiy samaradorlik ko‘rsatkichi, taksi va logistika kompaniyalar samaradorligi oshadi.

XULOSA. TrafficSmart bu oddiy navigatsiya ilovasi emas, balki insonlar hayotini yengillashtiruvchi, zamonaviy shaharlar kelajagini shakllantiruvchi aqlli texnologik yechimdir. TrafficSmart – aqlli shahar uchun aqlli harakatlanish AI-asosida trafik prognozi – 87% aniqlik, real-vaqt alternativ marshrut tavsiyasi, foydalanuvchi uchun qulay mobil interfeys, Navoiy shahrining smart city yo‘nalishiga to‘liq mos.

Adabiyotlar

[1]. Smith B.L., Demetsky M.J. Traffic Flow Forecasting: Theory and Practice. – Oxford: Elsevier, 1997.
[2]. Vlahogianni E.I., Karlaftis M.G., Golias J.C. Short-Term Traffic Forecasting: Review and Future Directions. – Transport Reviews, 2004.
[3]. Treiber M., Kesting A. Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation. – Berlin: Springer, 2013.
[4]. Chen C., Zhang J., Xie Y. Data-Driven Traffic Prediction Using Machine Learning Methods. – IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2012.
[5]. Zheng Z., Ahn S., Chen D. Empirical Analysis of Traffic Congestion and Travel Time Reliability. – Transportation Research Part B, 2011.
[6]. Papageorgiou M. Applications of Automatic Control Concepts to Traffic Flow Modeling and Control. – Berlin: Springer, 1983.
[7]. Wang Y., Papageorgiou M. Real-Time Freeway Traffic State Estimation Based on Extended Kalman Filter. – Transportation Science, 2005.

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛОДОВ В ПРОЦЕССЕ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ И КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Т.К. Жабборов[1], Н.М. Курбанов[2], И.Т. Жабборов[2], М.З. Сиддиков [2], С.А. Бозоров [2]

[1]Ферганский государственный технический университет.,
[2]Наманганский государственный технический университет islombek.jabborov.97@mail.ru.
(Получена 16.04.2026 г.)

***Аннотация**. В данной статье анализируется изменение физико-химических свойств плодов в процессе конвективной сушки и комплексно оценивается эффективность современных сушильных установок. Изучены изменения содержания влаги, массообмена, цвета, витаминов и биологически активных веществ в процессе сушки. На научной основе оценено влияние современных сушилок на энергоэффективность, коэффициент теплопередачи и качество продукции.*
***Ключевые слова:** конвективная сушка, фрукты, физико-химические свойства, влажность, сушилка, энергоэффективность, теплообмен, кинетика сушки.*

Длительное хранение сельскохозяйственной продукции, особенно фруктов и овощей, и сохранение их пищевой ценности на сегодняшний день является одной из самых актуальных проблем пищевой промышленности. Из-за высокого содержания воды (60-80%) фрукты относятся к категории скоропортящихся продуктов. Поэтому применение эффективных методов их переработки и хранения имеет важное значение.

Процесс сушки является одним из старейших и наиболее распространенных способов хранения фруктов, который замедляет или полностью останавливает развитие микроорганизмов, снижая влажность продукта. В современных технологиях процесс сушки обеспечивает не только сохранность продукции, но и экономические преимущества, такие как уменьшение ее объема, снижение транспортных и логистических расходов, повышение экспортного потенциала.

Конвективная сушка является одним из наиболее широко используемых на практике методов, основанных на испарении влаги с поверхности продукта с помощью потока горячего воздуха. Этот процесс тесно связан с явлениями тепло-и массообмена и оказывает существенное влияние на скорость сушки, энергопотребление и качество конечного продукта. Вместе с тем, в процессе конвективной сушки происходят существенные изменения физических (объем, плотность, масса) и химических (витамины, сахара, органические кислоты) свойств плодов.

Особенно при высокотемпературной сушке происходит разложение биологически активных веществ, в том числе витамина С и антиоксидантов. Это может привести к снижению пищевой и биологической ценности продукта. Поэтому оптимизация процесса сушки, то есть обеспечение минимального времени и энергопотребления при сохранении максимального качества, является одним из основных направлений научных исследований.

В последние годы наряду с традиционными конвективными сушилками широко внедряются современные энергосберегающие и высокоэффективные устройства, в том числе инфракрасные, вакуумные и тепло насосные сушилки. С помощью этих устройств создается возможность автоматизировать процесс сушки, снизить энергозатраты и улучшить качество продукции.

В данном исследовании были использованы комплексные экспериментальные и аналитические методы для определения изменений физико-химических свойств плодов в процессе конвективной сушки и оценки эффективности современных сушильных установок.

Объект и материал исследования. В качестве объектов исследования были выбраны широко употребляемые в пищу и пригодные для сушки фрукты - яблоки (Malus domestica), абрикосы (Prunus armeniaca) и виноград (Vitis vinifera). Отобранные плоды сортировали на основе образцов с одинаковой степенью зрелости, без механических повреждений и

стандартного размера. На начальном этапе плоды мыли, сушили естественным способом и нарезали толщиной 3-5 мм и готовили к опыту. Эта толщина сечения была выбрана с целью обеспечения эффективности тепло-и массообмена в процессе сушки.

Экспериментальная установка и условия. Исследования проводились с помощью конвективной сушилки, работающей в лабораторных условиях. Сушилка состоит из следующих основных частей:

- нагревательный элемент
- вентилятор (для принудительной циркуляции воздуха)
- система управления температурой
- канал отвода влаги

Процесс сушки осуществлялся в трех различных температурных режимах:

- 40°C (низкотемпературный режим)
- 60°C (оптимальный режим)
- 80°C (высоко-температурный режим)

Скорость воздуха сохранялась в пределах 1,5-2,5 м/с. Каждый эксперимент повторялся не менее 3 раз, и были получены средние значения.

В ходе исследования в процессе конвективной сушки на основе эксперимента были определены изменение содержания влаги, физических и химических свойств плодов, а также показатели эффективности сушильных установок.

Изменение влажности и кинетика сушки. Согласно экспериментальным результатам, количество влаги в процессе сушки со временем уменьшается по экспоненциальному закону.

Соотношение влажности определяется следующим выражением:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

где: M_t- влажность во времени; M_0- начальная влажность; M_e- равновесная влажность.

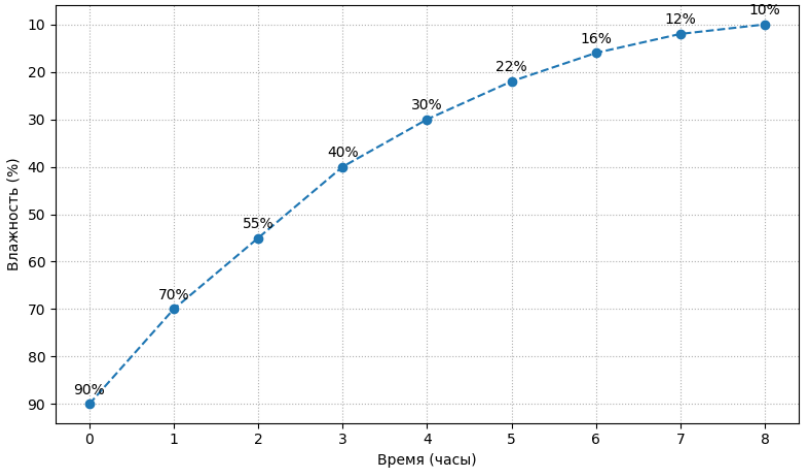


График 1. Снижение влажности во времени при конвективной сушке.

Изменение физических свойств (усадка и потеря массы). Уменьшение объема определяется следующим образом:

$$S = \frac{V_0 - V_t}{V_0} \times 100\% \quad (2)$$

Физические изменения

Таблица 1.

Плод	*Потеря массы (%)*	*Уменьшение объёма (%)*
Яблоко	75	40
Абрикос	78	45
Виноград	80	50

Результаты проведенных исследований показали, что в процессе конвективной сушки происходят существенные изменения физико-химических свойств плодов. Эти изменения тесно связаны с условиями сушки, особенно с температурой, скоростью воздуха и продолжительностью сушки.

Изменение цвета. Изменение цвета связано со следующими процессами:

- Реакция Майярда
- Карамелизация
- Окисление

Высокие температуры ускоряют потемнение цвета, что снижает рыночную стоимость продукта.

Энергоэффективность и сравнение сушилок. Результаты показали, что существует значительная разница между различными сушилками:

- Конвективная сушилка → простая, но энергоемкая
- Инфракрасная сушилка → быстрее и эффективнее
- Сушилка с тепловым насосом → самая энергоэффективная

Энергоэффективность оценивается по следующей формуле:

$$\eta = \frac{Q_{полезный}}{Q_{общий}} \times 100\% \qquad (3)$$

1. В тепловых сушилках этот показатель наиболее высок.
2. Они повышают эффективность за счёт повторного использования энергии.

Исследования показали, что:

- Процесс сушки - это сложный процесс тепло- и массообмена.
- Температура является основным управляющим параметром.
- Выбор оптимального режима играет решающую роль в поддержании качества продукции.
- Современные сушилки гораздо эффективнее традиционных методов.

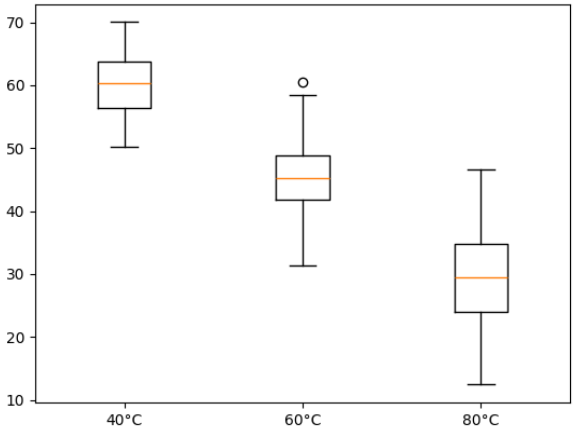


График 2. Влияние температуры на продукт.

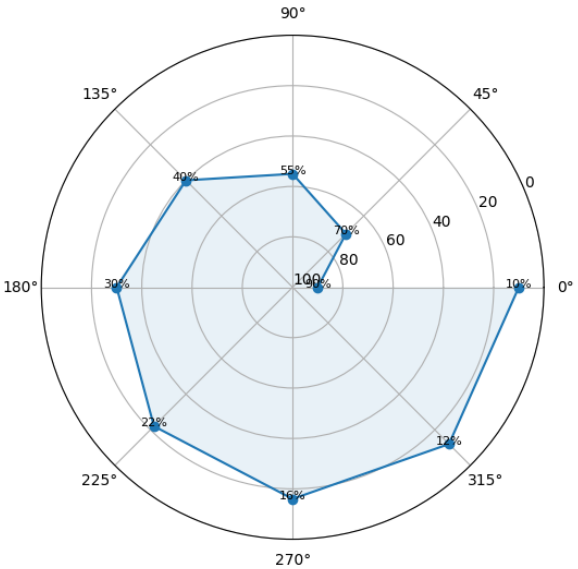


График 3. Полярное представление процесса сушки.

В данной исследовательской работе комплексно изучены изменения физико-химических свойств плодов в процессе конвективной сушки и эффективность современных сушильных установок. На основании полученных результатов сформулированы следующие научные выводы:

Общие закономерности процесса сушки. Исследования показали, что процесс конвективной сушки основан на сложных явлениях тепло и массообмена. Уменьшение влажности подчиняется экспоненциальной закономерности во времени и происходит в основном в два этапа:

- период постоянной скорости
- период убывающей скорости

Установлено, что интенсивность процесса зависит, прежде всего, от температуры и скорости воздуха.

Эффективность современных сушильных установок. Анализ показал, что:

- Конвективные сушилки просты и недороги, но потребляют много энергии.
- Инфракрасные сушилки быстрее и эффективнее
- Сушилки с тепловым насосом считаются самыми энергоэффективными.

Современные сушилки позволяют экономить до 25-40% энергии по сравнению с традиционными методами.

Конвективная сушка является эффективным способом хранения фруктов, позволяющим получать высококачественную и энергосберегающую продукцию на основе правильно подобранных технологических режимов. Использование современных сушильных установок значительно повышает эффективность этого процесса.

В результате проведённого исследования были всесторонне изучены изменения физико-химических свойств плодов в процессе конвективной сушки, а также выполнена комплексная оценка эффективности современных сушильных установок.

Установлено, что процесс конвективной сушки оказывает существенное влияние на основные качественные показатели плодов. В частности, выявлено значительное снижение содержания влаги, сопровождающееся изменением структурно-механических характеристик сырья, таких как плотность, усадка и текстура. Данные изменения обусловлены интенсивным испарением влаги и перераспределением внутренних компонентов продукта.

Анализ химических показателей показал, что в процессе сушки происходит частичная деградация биологически активных веществ, особенно термочувствительных компонентов, таких как витамин С. При этом степень потерь напрямую зависит от температурного режима и продолжительности сушки. Повышенные температуры способствуют ускорению процесса, однако негативно сказываются на пищевой и биологической ценности конечного продукта.

В ходе исследования также было установлено, что оптимальные параметры конвективной сушки находятся в диапазоне умеренных температур (60–65°С) и контролируемой скорости воздушного потока. Данные условия обеспечивают баланс между скоростью удаления влаги и сохранением качества продукта.

Сравнительный анализ современных сушильных установок показал, что наибольшей энергоэффективностью обладают установки с рециркуляцией воздуха, позволяющие существенно снизить теплопотери и энергозатраты. Туннельные сушилки характеризуются высокой производительностью и подходят для промышленного применения, тогда как камерные сушилки обеспечивают более равномерное высушивание и лучшее сохранение органолептических свойств продукта.

Таким образом, результаты исследования подтверждают необходимость комплексного подхода к выбору режимов сушки и типа оборудования. Оптимизация технологических параметров позволяет не только повысить качество сушёной продукции, но и значительно снизить энергопотребление, что особенно важно в условиях современных требований к энергоэффективности и экологической устойчивости производства.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения полученных результатов при разработке и совершенствовании технологий переработки плодово-ягодного сырья, а также при проектировании и модернизации сушильных установок.

Список литературы

[1]. Karimov A.X. Oziq-ovqat texnologiyasi asoslari – Toshkent: Fan, 2018. - 245 b.
[2]. Ismatov B.I. Qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini qayta ishlash texnologiyasi - Toshkent: Mehnat, 2020. - 312 b.
[3]. To‘xtayev S.R. Quritish jarayonlari va apparatlari - Toshkent: O‘zbekiston, 2019. - 198 b.
[4]. Фролов В.Ф. Процессы и аппараты пищевых производств - Москва: КолосС, 2017. - 456 с.
[5]. Лыков А.В. Теория сушки - Москва: Энергия, 2016. - 472 с.
[6]. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии – Москва: Химия, 2018. - 750 с.

UDC 661.152.3:661.634:631.82

NP-FERTILIZERS BASED ON AMMONIUM NITRATE MELT AND GULIOBA PHOSPHATE ROCK

M.A. Kuchkarov[1], A.A. Mamataliev[1], Zh.M. Kushkov[1], E.M. Kaxarov, [2] B.Sh. Primkulov[3]

[1]Institute of General and Inorganic Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
[2]Fergana State Technical University
[3]Denau Institute of Entrepreneurship and Pedagogy
(Received on April 16 th, 2026)

Аннотация. *Мақолада аммиакли селитра (АС) суюқланмасига Гулиоб фосфорит (ГФ) унини қўшиш йўли билан донадорланган азот-фосфорли ўғитлар намуналарини олиш бўйича ўтказилган тадқиқот натижалари келтирилган. АС : ГФ нисбатлари 99,5 : 0,5 дан 65 : 35 гача оралиқда ўзгартирилди. Ҳосил қилинган фосфарит-нитратли суюқланмалар пуркаш усулида донадорланди. NP-ўғитлар намуналарининг кимёвий таркиби, гранулаларининг мустаҳкамлиги ва сувда эриш тезликлари аниқланди.*

Калит сўзлар: *АС, ГФ, фосфарит-нитратли суюқланма, таркиб, доналар мустаҳкамлиги ва сувда тўлиқ эриш тезлиги.*

Abstract*. This article presents the results of studies on the production of granulated nitrogen-phosphorus fertilizers by introducing phosphate rock from the Guliob deposit (GF) into ammonium nitrate (AN) melt. The AN : GF ratio varied from 99.5 : 0.5 to 65 : 35. The resulting phosphate rock-nitrate melts were granulated using the prilling method. The chemical composition of the NP-fertilizer samples, the strength of the granules, and their dissolution rate in water were determined. It was found that the AN melt promotes the activation of phosphate rock, i.e., the conversion of the indigestible form of P_2O_5 into a form accessible for assimilation by plants.*

Keywords: *Ammonium nitrate, phosphorite from the Guliobe deposit, phosphorite-nitrate melt, composition, strength of granules and rate of complete dissolution in water.*

Аннотация. *В статье представлены результаты исследований по получению гранулированных азотно-фосфорных удобрений путём введения фосфоритной муки месторождения Гулиоб (ГФ) в расплав аммиачной селитры (АС). Соотношение АС : ГФ варьировали в интервале от 99,5 : 0,5 до 65 : 35. Полученные фосфоритно-нитратные расплавы подвергали гранулированию методом приллирования. Были определены химический состав образцов NP-удобрений, прочность гранул и скорость их растворения в воде. Установлено, что расплав АС способствует активации фосфоритной муки, то есть переводу неусвояемой формы P_2O_5 в форму, доступную для усвоения растениями.*

Ключевые слова: *АС, ГФ, фосфоритно-нитратный расплав, состав, прочность гранул и скорость полного растворения в воде.*

Introduction. Under modern agricultural conditions, the application of mineral fertilizers is considered a key factor in maintaining soil fertility and improving crop productivity. Essential nutrients such as nitrogen (N), phosphorus (P_2O_5), and potassium (K_2O) play a primary role in plant growth and physiological activity [1]. To this end, a number of large industrial complexes have been established in the Republic of Uzbekistan to increase fertilizer production capacity. In particular, joint-stock companies specializing in the supply of nitrogen fertilizers – Navoiyazot, Maxam-Chirchiq and Farg'onaazot as well as enterprises producing phosphorus fertilizers, such as Ammofos-Maxam, Kokand Superphosphate Plant, and Samarqandkimyo, along with the unitary enterprise Dehkanabad Potash Fertilizer Plant, which manufactures potassium fertilizers, constitute the core of the country's fertilizer industry.

According to statistical data, in 2016 these industrial sectors produced 944.7 thousand tons of nitrogen fertilizers, 143 thousand tons of phosphorus fertilizers, and 138 thousand tons of potassium fertilizers in terms of active nutrient content. However, during the same period, the actual demand of the agricultural sector amounted to 761.8 thousand tons for nitrogen, 518.27 thousand tons for phosphorus, and 278.12 thousand tons for potassium. With the commissioning of the second stage of the Dehkanabad Potash Fertilizer Plant, it is planned to increase the total production capacity to

360 thousand tons of K_2O per year. This will make it possible to more fully meet the demand of the country's agricultural sector for potassium fertilizers. Nevertheless, despite these developments, a significant shortage of phosphorus fertilizers persists. Currently, only 27-29% of the agricultural demand for phosphorus fertilizers is being met. The main reason for this is the difficulty in supplying the production facilities of the Kyzylkum Phosphorite Complex with sufficient quantities of high-quality raw materials [2].

The Kyzylkum Phosphorite Complex annually produces an average of 400 thousand tons of washed and calcined phosphate concentrate with a P_2O_5 content of not less than 26%. However, these production levels are still insufficient to fully meet the high demand of the agricultural sector for phosphorus fertilizers.

At the same time, one of the most pressing challenges faced by the enterprise is the processing of waste materials generated after the beneficiation process and classified as "off-balance ores." To date, the total volume of such waste has exceeded 13 million tons. Under conditions of a severe shortage of high-quality washed and calcined phosphate concentrate, the development of efficient utilization methods for these beneficiation wastes, as well as the investigation of other local raw material sources that have not yet been exploited on an industrial scale, is of significant scientific and practical importance [3].

In addition, there are several other small-scale but promising phosphate raw material sources within the territory of Uzbekistan. Among them, particular attention should be paid to the Guliob phosphorite deposit located in the Sariosiyo district of Surkhandarya region. The studied area extends over approximately 30 km and includes layers up to 60 m in depth. The deposits are characterized by a granular structure and were formed within the Altai and Turkestan formations of the Middle and Upper Eocene. In this area, 16 phosphorite horizons have been identified, with thicknesses ranging from 0.1 to 2.7 m and lengths from 3.25 to 27 km. The phosphorite granules are predominantly brown and black in color, with particle sizes ranging from 0.1 to 2.0 mm. The P_2O_5 content varies between 4.13% and 22.3% across different horizons. According to estimates, the explored reserves amount to 551 thousand tons in terms of 100% P_2O_5 equivalent. Their average chemical composition is distributed as follows (wt.%): P_2O_5 – 10,03; CaO – 17,0; MgO – 0,68; Fe_2O_3 – 0,32; FeO – 1,42; Al_2O_3 – 2,65; CO_2 – 2,28; Na_2O – 0,74; K_2O – 0,70; SiO_2 – 58,73; SO_3 – 1,02; F – 0,90; TiO_2 – 0,18; MnO – 0,08; H_2O – 2,28; Loss on ignition: 5.50 wt.%. Phosphorites in the Guliob ore are represented by phosphate minerals such as dahllite and diadochite, which together constitute 31.1% of the total composition. The chemical formulas of these minerals are as follows: $3Ca_3(PO_4)_2$ $nCaCO_3$ (F_2, O) xH_2O and $2Fe_2O_3$ P_2O_5 $2CO_3$ xH_2O These minerals can be represented in the following form. Compared with the Karatau phosphorites, the Guliob phosphorites are characterized by a lower MgO content, which is of particular interest [3-5].

According to data provided by the International Fertilizer Association (IFA), as of 2018, the global production capacity of nitrogen fertilizers reached 187 million tons. Currently, urea, ammonium nitrate (AN), and urea-ammonium nitrate (UAN) are among the most widely used nitrogen fertilizers [6, 7]. Although AN ranks second after urea in terms of global production volume, it surpasses it in agrochemical efficiency. This is mainly due to the presence of nitrogen in forms that are readily and rapidly assimilated by plants under various soil conditions. According to available data, its global production capacity reached 43 million tons in 2007 [8]. In Uzbekistan, three major chemical enterprises Navoiyazot, Maxam-Chirchiq and Farg'onaazot joint-stock companies have a combined production capacity exceeding 1.75 million tons of AN per year. Nevertheless, despite its wide application, the high explosion hazard associated with AN remains one of the most serious challenges [8, 9]. The catastrophic explosion that occurred in 2001 at a chemical warehouse in Toulouse (France), as well as cases of AN misuse as an explosive material in Russia, Uzbekistan, and Southeast Asian countries, have created significant challenges for both producers and consumers of this product. From a safety perspective, several countries, including China, Colombia, the Philippines, Ireland, and Algeria, have imposed strict restrictions on its use in the agricultural sector. As a result, regulatory requirements for AN quality, storage, and transportation conditions have been significantly tightened [10]. At present, a key strategic objective for chemical industry

specialists is to enhance the resistance of AN to mechanical and thermal impacts without reducing its agrochemical efficiency, and to develop new types of modified AN with minimized explosion risk. Currently, the government of Uzbekistan places particular strategic importance on minimizing technogenic risks associated with AN. Industrial enterprises are tasked with implementing technologies for producing modified AN with reduced explosion hazard, as well as complex nitrogen fertilizers based on it.

As an optimal and effective solution, it is proposed to transition to the production of AN-based products with a nitrogen content in the range of 26-28 wt.%. Researchers have recommended the following additives to reduce the potential hazard level of AN:

- Carbonate-containing compounds: chalk, limestone, dolomite, $CaCO_3$;
- Potassium-containing substances: KCl, K_2SO_4;
- Ammonium salts of sulfates and phosphates: ammonium sulfate, ammonium ortho- and polyphosphates;
- Ballast materials: gypsum, phosphogypsum, and others.

The primary objective of this approach is to form AN granules with minimal porosity, low specific surface area, and high mechanical strength. From this perspective, phosphate-containing components are considered the most effective additives for reducing detonation sensitivity. Such compounds include processed phosphate raw materials (PRM), ammophos slurry, and liquid complex fertilizers of grade 11:37 (LCF) [11, 12]. Based on these technological solutions, the production of thermally stabilized nitrogen-phosphorus fertilizer (NPF) has been established at Navoiyazot JSC. The mechanism by which phosphorite flour improves the strength and reduces the caking tendency of NPF granules is based on the formation of numerous crystallization centers within the AN granule. This process promotes the intensive growth of dispersed crystals, thereby increasing the structural density and mechanical strength of the product granules. In addition, compared to AN, the lower dissolution rate of NPF in water is attributed to the presence of phosphate compounds, which ensure the gradual release of nitrogen into the soil. This reduces nitrogen leaching losses and imparts a prolonged (controlled-release) effect to the fertilizer. As a result, crops are supplied not only with nitrogen but also with phosphorus in a balanced manner.

The industrial implementation of NPF production technology has dual strategic significance. First, it enables the effective conversion of phosphate raw materials into nitrogen–phosphorus fertilizers. Moreover, activation using AN melt facilitates the transformation of poorly soluble forms of P_2O_5 present in phosphate raw materials into forms readily available for plant uptake. Second, this process leads to the production of ammonium nitrate with enhanced stability. The successful implementation of the first objective contributes to increasing the overall production of phosphorus fertilizers through the utilization of low-grade phosphate raw materials, while the second outcome significantly improves the quality characteristics of ammonium nitrate, which remains one of the most widely used nitrogen fertilizers.

Research Objects and Methods. Taking into account the experience of NPF technology [13], ground Guliob phosphorite (GP) was selected as a phosphate additive to ammonium nitrate (AN). The chemical composition of GP is as follows (wt.%): $P_2O_{5tot.}$ – 10,30; CaO – 29,90; CO_2 – 7,42; Insoluble residue: 2.43 wt.%; P_2O_5 soluble in 0.2 M Trilon B: 3.74 wt.%; P_2O_5 soluble in citric acid: 3.46 wt.%; and CaO soluble in citric acid: 12.68 wt.%. The pH of a 10% aqueous solution is 8.57. Initially, magnesite-containing ammonium nitrate (34.5% N, 0.28% MgO) was melted at 170ºC. During the experiment, ground Guliob phosphorite (GP) was introduced into the AN melt at AN:GP mass ratios ranging from 99.5:0.5 to 65:35.

The resulting phosphate-nitrate melt was maintained under isothermal conditions (170-175ºC) and continuously stirred for 10 minutes until a homogeneous mixture was obtained. Granulation of the product was carried out by the spraying (prilling) method. Under the influence of ambient cold air, the phosphate-nitrate melt solidified into hard, spherical granules. After cooling, the obtained material was classified into fractions according to granule size. Granules with a size of 2-3 mm were subjected to mechanical strength testing in accordance with the state standard GOST 21560.2-82. Subsequently, the chemical composition of the samples was determined using standard

analytical methods [14]. The dissolution kinetics of the newly developed NP fertilizer granules were evaluated by placing an individual granule into a beaker containing 100 mL of distilled water, and the time required for complete dissolution was recorded using a stopwatch.

The results are presented in Table 1 and Figures 1 and 2.

Results and Discussion.

When 0.5 to 35 g of ground Guliob phosphorite was introduced into 99.5 to 65 g of ammonium nitrate melt, NP fertilizer samples containing 22.73-34.74% nitrogen and 0.052-3.673% P_2O_5 were obtained.

Table 1

Composition of NP Fertilizer Obtained by Adding Guliob Phosphorite (GP) to Ammonium Nitrate (AN) Melt

AN : GP	Chemical Composition of Components (wt.%)						P_2O_5 available / total (2% citric acid), %	P_2O_5 available / total (2% citric acid), %	CaO water-soluble / total, %
	$N_{tot.}$	$P_2O_{5tot.}$	$CaO_{tot.}$	CaO water-soluble / total, %	P_2O_5 available / total (0.2 M Trl. %.	Water-soluble CaO			
99,5 : 0,5	34,74	0,052	0,12	0,047	0,046	0,10	90,38	88,46	83,33
99,0 : 1,0	34,61	0,098	0,26	0,088	0,086	0,21	89,79	87,75	80,76
98,5 : 1,5	34,42	0,146	0,41	0,129	0,127	0,32	88,35	86,98	78,05
98,0 : 2,0	34,16	0,193	0,55	0,168	0,165	0,41	87,04	85,49	74,45
97,5 : 2,5	34,05	0,240	0,69	0,208	0,201	0,50	86,67	83,76	72,46
97,0 : 3,0	33,93	0,304	0,84	0,260	0,248	0,56	85,53	81,57	66,67
96,5 : 3,5	33,74	0,368	0,98	0,314	0,295	0,65	85,32	80,16	66,32
96,0 : 4,0	33,58	0,432	1,12	0,367	0,346	0,72	84,95	80,09	64,28
95,5 : 4,5	33,39	0,496	1,31	0,420	0,397	0,81	84,67	79,94	61,83
95,0 : 5,0	33,21	0,560	1,43	0,472	0,446	0,85	84,28	79,65	59,44
94,0 : 6,0	32,87	0,624	1,75	0,525	0,494	1,00	84,13	79,16	57,13
93,0 : 7,0	32,52	0,690	2,07	0,579	0,543	1,12	83,91	78,69	54,10
90 : 10	31,48	0,962	2,88	0,781	0,742	1,47	81,18	77,13	51,04
88 : 12	30,76	1,234	3,51	0,975	0,930	1,56	79,01	75,36	44,44
85 : 15	29,73	1,506	4,39	1,166	1,106	1,68	77,42	73,48	38,27
82 : 18	28,67	1,778	5,32	1,343	1,268	1,79	75,53	71,31	33,65
80 : 20	27,96	2,050	5,90	1,509	1,431	1,95	73,61	69,82	33,05
75 : 25	26,21	2,591	7,29	1,819	1,717	2,20	70,20	66,29	30,18
70 : 30	24,48	3,132	8,81	2,115	2,012	2,46	67,53	64,25	27,92
65 : 35	22,73	3,673	10,31	2,382	2,312	2,54	64,85	62,94	24,63

At temperatures of 170-175ºC, the AN melt exhibits an activating effect on GP, transforming the inactive, poorly available forms of P_2O_5 and CaO present in GP into forms readily assimilable by plants.

Under these conditions, the relative content of available phosphorus in the product reached 93.81-3.37% (soluble in 2% citric acid) and 88.46-62.94% (soluble in 0.2 M Trilon B). At the same time, the relative proportion of available calcium increased systematically, stabilizing within the range of 96.42-78.65% (Table 1).

The mechanism of GP activation by AN melt is explained by structural changes in the phosphate mineral components. In this process, not complete destruction but rather deformation of the crystal lattice occurs, which significantly increases the relative proportion of plant-available P_2O_5 in the

fertilizer. Under the influence of AN melt, water-soluble forms of calcium oxide are formed in the modified products, and their fraction relative to the total CaO content increases from 9.42% to 23.47%. This phenomenon confirms that, due to the acidic nature of AN at elevated temperatures, partial decomposition of calcium carbonate present in phosphorite occurs, resulting in the formation of calcium nitrate. The process can be described by the following reaction:

$2NH_4NO_3 + CaCO_3 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 2NH_3 + CO_2 + H_2O$

The mechanical strength of granulated products is a fundamental parameter determining the thermal stability of ammonium nitrate. Conventional AN granules containing a magnesite component exhibit a strength of about 1.58 MPa. However, according to state standards (GOST), the minimum required strength for stabilized AN should not be less than 7-8 MPa.

As shown by the relationships presented in Figure 1, the introduction of GP into AN significantly improves the mechanical strength of the final product granules, increasing it from 2.69 MPa to 11.25 MPa. The results demonstrate that an increase in the mass fraction of phosphate raw material in the fertilizer leads to a proportional enhancement in granule stability.

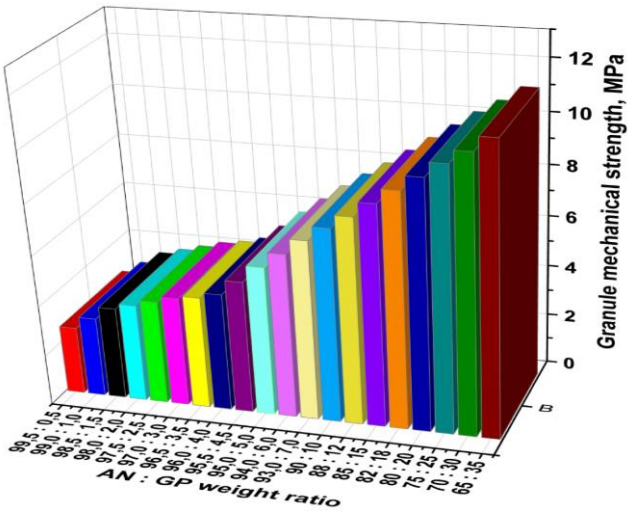


Figure 1. Granule strength of NP fertilizer samples as a function of the AN : GP weight ratio.

The highest mechanical performance a granule strength of 11.25 MPa was recorded for the sample prepared at an AN:GP ratio of 65:35. This value is approximately 5.5 times higher than the strength of pure ammonium nitrate.

In general, it was determined that, in order to obtain nitrogen–phosphorus fertilizer samples with mechanical strength fully meeting GOST requirements (7.57-8.61 MPa), the AN:GP ratio should be maintained within the range of 88:12 to 82:18 (Figure 1). The phosphate raw materials introduced into the AN melt contribute to the formation of finely dispersed micro-inclusions within the crystalline structure of the resulting NP fertilizer. During this process, the size of individual salt crystals decreases to the micrometer scale, and the increased packing density of these crystals leads to a significant improvement in the mechanical stability of the granules. From a structural standpoint, the higher the mechanical strength of the granules, the lower their porosity and total internal specific surface area. This, in turn, limits the sorption (diffusion penetration) of diesel fuel into the interior of the granules and consequently reduces the detonation sensitivity (explosion hazard) of ammonium nitrate.

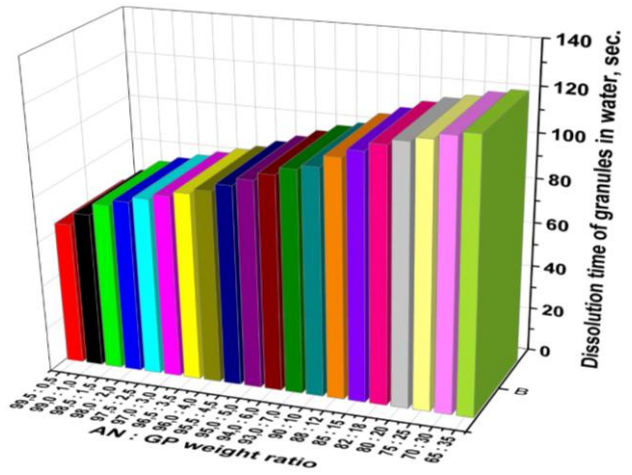


Figure 2.Time for Complete Dissolution of NP Fertilizer Granules in Water as a Function of the AN : GP Weight Ratio.

For conventional magnesite-modified ammonium nitrate granules, the complete dissolution time in water was 46.8 sec. In contrast, for samples obtained by adding Guliob phosphorite to the AN melt at an AN:GP mass ratio of 99.5:0.5, the average dissolution time increased to 64.29 sec, while for the sample prepared at an AN:GP ratio of 65:35, this value reached 121.39 sec.

These results indicate that with increasing content of Guliob phosphorite, the dissolution time of the granules increases accordingly. This outcome is consistent with the expected behavior, as the gradual dissolution of fertilizers in soil ensures a sustained release of nutrients, which is a key factor for proper plant development and for achieving high and high-quality yields.

Conclusion. Thus, Guliob phosphorite is regarded as a highly efficient and promising raw material for the production of thermally stabilized nitrogen–phosphorus fertilizers based on ammonium nitrate melt and characterized by a high content of assimilable forms of P_2O_5 and CaO. The utilization of this raw material provides significant opportunities for the diversification and expansion of the resource base for manufacturing complex fertilizers with favorable chemical and physicochemical characteristics.

References

[1]. Buriev S.A., Namazov Sh.S., Mamataliyev A.A., Kushakov Z.M., Ibatov F.A. Modified ammonium nitrate containing serpentinite from the Karakalpak deposit // *Uzbek Chemical Journal*, Special Issue, Tashkent, 2023, pp. 60-66.

[2]. Reymov A.M. Development of technology for producing phosphorus and complex nitrogen–phosphorus fertilizers based on phosphorites of the Central Kyzylkum // Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. – Institute of General and Inorganic Chemistry of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, 2014. – 200 p.

[3]. Beglov B.M., Kushakov Z.M., Namazov Sh.S., Radjabov R., Mamataliyev A.A. Innovative technologies for the production of simple, complex, and organomineral fertilizers // Proceedings of the Republican Scientific and Practical Conference with participation of foreign scientists, Tashkent, December 13–14, 2022, pp. 75-77.

[4]. Beglov B.M., Namazov Sh.S., Mirzakulov Kh.Ch., Umarov T.Zh. Activation of natural phosphate raw materials. – Tashkent-Urgench: “Khorezm” Publishing House, 1999. – 112 p.

[5]. Vishnyakova A.A. Phosphorus fertilizers obtained from Karatau, Guliob, and other phosphorites. – Tashkent: “FAN” Publishing House, 1973. – 235 p.

[6]. Volkova A.V. Mineral fertilizer market – 2019 // National Research University “Higher School of Economics”, Development Center, 2019. 52 p.

[7]. Kydyralieva A.D. Improvement of ammonium nitrate technology aimed at enhancing physicochemical and agrochemical properties: Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences. – Shymkent, 2020. – 138 p.

[8]. Chernyshev A.K., Levin B.V., Tugolukov A.V., Ogarkov A.A., Ilyin V.A. Ammonium nitrate: properties, production, and applications. – Moscow: “INFOKHIM” JSC, 2009. – 544 p.

[9]. Lavrov V.V., Shvedov K.K. On the explosion hazard of ammonium nitrate and fertilizers based on it // Scientific and Technical Bulletin: “INFOKHIM” JSC, Special Issue, 2004, No. 2, pp. 44–49.

[10]. Levin B.V., Sokolov A.N. Problems and technical solutions in the production of complex fertilizers based on ammonium nitrate // *World of Sulfur, N, P, and K*, 2004, No. 2, pp. 13–21.

[11]. Patent RU 2169720 C1. Method for producing complex nitrogen–phosphorus fertilizer / Ilyin V.A., Aleshkin N.P., Selin E.N. – No. 2000103745/12. Application filed on February 16, 2000; published on June 27, 2001.

[12]. Glagolev O.L. Practical experience in operating the AS-72M unit according to the flexible scheme for the production of ammonium nitrate and products based on it at JSC “Cherepovets Azot” // Bulletin “World of Sulfur, N, P, and K”, 2004, No. 2, pp. 21-23.

[13]. Kurbaniyazov R.K. Technology of complex nitrogen–phosphorus fertilizers based on ammonium nitrate melt and phosphorites of the Central Kyzylkum: Extended abstract of Candidate of Technical Sciences dissertation. – Tashkent, 2005. – 24 p.

[14]. Vinnik M.M., Erbanova L.N., Zaitsev P.M., et al. Methods for the analysis of phosphate raw materials, phosphorus and complex fertilizers, and feed phosphates. – Moscow: “Kimiya” Publishing House, 1975. 213 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО СОСТАВА ГИДРООЧИЩЕННОЙ НАФТЫ МЕТОДОМ ASTM D6729 ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ

А.У. Ауесбаев

Институт общей и неорганической химии Академии Наук Республики Узбекистан
alisherauesbaev@gmail.com

(Получена 16.04.2026 г.)

Annotatsiya: *Mazkur ishda gidrotozalangan naftaning guruhiy va individual uglevodorod tarkibi keyingi neftni qayta ishlash jarayonlari uchun yaroqliligini baholash maqsadida tadqiq qilindi. Tahlil ASTM D6729 standarti asosida gaz xromatografiyasi usulida amalga oshirildi.*

Uglevodorodlarning PIONA guruhlari (parafinlar, izoparafinlar, olefinlar, naftenlar va aromatik birikmalar) bo‘yicha taqsimlanishi hamda komponentlarning uglerod soni bo‘yicha tarkibi baholandi.

Natijalar tadqiq qilingan gidrotozalangan nafta tarkibida C_5–C_6 komponentlari ulushi yuqori ekanligini hamda aromatik va olefin birikmalarining kam miqdori fonida parafinli uglevodorodlar ustunligini ko‘rsatdi. Olingan natijalar ushbu xomashyoning izomerizatsiya jarayonlari va yuqori oktanli benzin komponentlarini olish uchun mosligini tasdiqladi.

Kalit so‘zlar: *gidrotozalangan nafta; ASTM D6729; gaz xromatografiyasi; PIONA; uglevodorod tarkibi; izomerizatsiya; neftni qayta ishlash; benzin; C_5–C_6.*

Аннотация: *В работе исследован групповой и индивидуальный углеводородный состав гидроочищенной нафты с целью оценки её пригодности для последующих процессов нефтепереработки. Анализ выполнен методом газовой хроматографии в соответствии со стандартом ASTM D6729.*

Проведено исследование распределения углеводородов по группам PIONA (парафины, изопарафины, олефины, нафтены и ароматические соединения), а также выполнена оценка компонентного состава по углеродным числам.

Установлено, что исследуемая гидроочищенная нафта характеризуется высоким содержанием C_5–C_6 компонентов и преобладанием парафиновых углеводородов при низком содержании ароматических соединений и олефинов. Полученные результаты подтверждают пригодность исследуемого сырья для процессов изомеризации и последующего получения высокооктановых бензиновых компонентов.

Ключевые слова: *гидроочищенная нафта; ASTM D6729; газовая хроматография; PIONA; углеводородный состав; изомеризация; нефтепереработка; бензин; C_5–C_6*

Введение

Одним из ключевых направлений современной нефтепереработки является повышение эффективности использования промежуточных бензиновых фракций при одновременном обеспечении экологических требований к моторным топливам. В условиях перехода к стандартам Euro-5 особое значение приобретают процессы, позволяющие получать высокооктановые бензиновые компоненты без увеличения содержания ароматических углеводородов и других экологически неблагоприятных соединений [1–3].

Гидроочищенная нафта представляет собой важное сырьё для процессов каталитической переработки, включая изомеризацию, каталитический риформинг и компаундирование бензинов. Эффективность указанных процессов в значительной степени определяется не только фракционным составом сырья, но и его детальным углеводородным составом [4–6].

Особое значение при оценке качества нафтовых потоков имеет распределение углеводородов по группам PIONA (Paraffins, Isoparaffins, Olefins, Naphthenes, Aromatics). Данный подход позволяет проводить количественную оценку группового состава бензиновых фракций и определять их технологическую пригодность для последующих стадий переработки [7–9].

Для исследования углеводородного состава бензиновых фракций широко применяется метод газовой хроматографии в соответствии со стандартом ASTM D6729, обеспечивающий идентификацию и количественное определение индивидуальных углеводородов в диапазоне C_4–C_{12}. Использование данного метода позволяет получить информацию о распределении компонентов по углеродным числам и оценить влияние состава сырья на последующие процессы нефтепереработки [10–12].

В последние годы опубликован ряд исследований, посвящённых характеристике нафтовых потоков и анализу их пригодности для каталитических процессов. Однако большинство работ ориентировано преимущественно на определение общих физико-химических характеристик сырья, тогда как исследования взаимосвязи между детальным компонентным составом гидроочищенной нафты и её технологическим потенциалом для последующей изомеризации представлены ограниченно [13–16].

Особый интерес представляет изучение распределения компонентов C_5–C_6, поскольку именно данные углеводороды формируют основу сырья для процессов повышения

октанового числа. Соотношение нормальных и изомерных парафинов, содержание ароматических соединений и распределение компонентов по углеродным числам оказывают непосредственное влияние на эффективность дальнейшей переработки и качество получаемых бензиновых компонентов [17–18].

В связи с этим целью настоящей работы является исследование группового и индивидуального углеводородного состава гидроочищенной нафты методом ASTM D6729, анализ распределения компонентов по группам PIONA и оценка пригодности исследуемого сырья для последующих процессов изомеризации и производства высокооктановых бензинов.

1. Материалы и методы исследования

1.1. Объект исследования

Объектом исследования являлась гидроочищенная нафта, полученная после промышленной установки гидроочистки нефтяных фракций Бухарского нефтеперерабатывающего завода.

Исследуемый поток рассматривался как потенциальное сырьё для последующих процессов нефтепереработки, включая изомеризацию лёгких парафиновых углеводородов и производство высокооктановых бензиновых компонентов.

Предварительный анализ технологических характеристик показал, что исследуемая гидроочищенная нафта содержит значительную долю лёгких углеводородов и характеризуется низким содержанием сернистых соединений, что делает её перспективным сырьём для дальнейшей каталитической переработки.

Для получения достоверной информации о составе сырья был выполнен детальный компонентный анализ методом газовой хроматографии.

1.2. Методика анализа углеводородного состава по ASTM D6729

Исследование углеводородного состава проводилось методом газовой хроматографии в соответствии со стандартом ASTM D6729 — «Standard Test Method for Determination of Individual Components in Spark Ignition Engine Fuels by 100-Metre Capillary High-Resolution Gas Chromatography».

Данный метод основан на разделении индивидуальных компонентов топлива в высокоразрешающей капиллярной колонке с последующей идентификацией соединений по времени удерживания и количественным определением содержания каждого компонента.

Анализ позволял определить:

– индивидуальный состав углеводородов;
– распределение компонентов по углеродным числам;
– содержание парафинов;
– содержание изопарафинов;
– содержание олефинов;
– содержание нафтенов;
– содержание ароматических соединений.

Полученные экспериментальные данные использовались для последующей группировки компонентов по методологии PIONA и оценки технологической пригодности исследуемого сырья.

1.3. Методика обработки результатов по системе PIONA

Для интерпретации результатов газохроматографического анализа использовалась система классификации PIONA (Paraffins–Isoparaffins–Olefins–Naphthenes–Aromatics).

Данный подход позволяет представить сложный многокомпонентный состав бензиновой фракции в виде укрупнённых групп углеводородов, характеризующих поведение сырья в процессах нефтепереработки.

Расчёт группового состава выполнялся путём суммирования массовых долей отдельных компонентов в пределах соответствующих классов.

Для оценки пригодности сырья к процессам последующей переработки анализировались следующие показатели:

– доля компонентов C_5–C_6;

– отношение изопарафинов к нормальным парафинам;

– содержание ароматических соединений;

– распределение углеводородов по группам PIONA;

– потенциальная пригодность сырья для процессов изомеризации.

Полученные результаты использовались для оценки направлений дальнейшей технологической переработки исследуемой гидроочищенной нафты.

2. Результаты анализа углеводородного состава и обсуждение

2.1. Анализ индивидуального углеводородного состава гидроочищенной нафты

Результаты газохроматографического анализа, выполненного по методике ASTM D6729, показали сложный многокомпонентный характер исследуемой гидроочищенной нафты. Полученные данные свидетельствуют о присутствии широкого спектра углеводородов, распределённых по различным классам соединений.

Установлено, что основу исследуемого потока составляют парафиновые и изопарафиновые углеводороды, тогда как содержание ароматических соединений и олефинов остаётся относительно низким.

Подобный состав является благоприятным с точки зрения последующих процессов облагораживания бензиновых компонентов, поскольку высокая доля парафиновых углеводородов обеспечивает возможность повышения октанового числа посредством изомеризации без существенного роста содержания ароматических соединений.

Результаты количественного анализа представлены в таблице 1 компонентного состава.

Таблица 1. Индивидуальный углеводородный состав гидроочищенной нафты.

№	Наименование компонента	Индекс удерживания (RI)	Время удерживания, мин	Массовая доля, мас.%	Объёмная доля, об.%	Площадь пика
1	Этан	189,23	3,3970	0,0125	0,0256	1,9235
2	Пропан	293,69	3,5229	0,1089	0,1514	17,1382
3	Изобутан	362,68	3,7190	0,8701	1,0866	138,4829
4	C4 изопарафин	388,02	3,8362	0,0098	0,0122	1,5630
5	1,3-Бутадиен	391,50	3,8549	0,0228	0,0255	3,8972
6	н-Бутан	397,19	3,8871	3,0685	3,6891	488,3720
7	C4 изопарафин	407,24	3,9456	0,0038	0,0047	0,6042
8	транс-2-Бутен	411,57	3,9721	0,0857	0,0987	14,1388
9	цис-2-Бутен	422,20	4,0422	0,0031	0,0035	0,5143
10	Изопентан	472,97	4,5018	7,6549	8,5972	1227,8220
11	Изопентан	487,26	4,6791	0,0026	0,0028	0,4305
12	C5 изопарафин	491,93	4,7428	0,0037	0,0043	0,5980
13	2-Метил-1-бутен	493,83	4,7695	0,0012	0,0013	0,2021
14	н-Пентан	498,29	4,8342	8,3132	9,2382	1333,4091
15	2-Метил-1,3-бутадиен (изопрен)	503,39	4,9106	0,0020	0,0020	0,3384
16	C5 изопарафин	505,74	4,9466	0,0024	0,0027	0,3808
17	транс-2-Пентен	508,98	4,9978	0,0006	0,0007	0,1056
18	C6 изопарафин	513,74	5,0760	0,0010	0,0011	0,1619
19	цис-2-Пентен	518,76	5,1624	0,0063	0,0067	1,0398

20	2-Метил-2-бутен	521,10	5,2042	0,0025	0,0026	0,4096
21	Циклопентадиен	532,73	5,4264	0,0180	0,0193	3,1482
22	цис-1,3-Пентадиен	534,65	5,4655	0,5167	0,5203	87,7551
23	С6 изопарафин	545,91	5,7103	0,0064	0,0068	1,0253
24	Циклопентен	552,22	5,8596	0,0023	0,0021	0,3863
25	С6 изопарафин	556,79	5,9737	0,0075	0,0080	1,2000
26	2,3-Диметилбутан	562,98	6,1364	0,5020	0,5280	80,8731
27	Циклопентан	564,17	6,1690	0,8369	0,7813	138,0773
28	2-Метилпентан	567,92	6,2735	4,4242	4,7140	712,8040
29	3-Метилпентан	582,05	6,7040	2,6746	2,8017	430,9145
30	С6 изопарафин	587,85	6,8986	0,0021	0,0023	0,3410
31	н-Гексан	598,67	7,2921	6,6834	7,0530	1076,7759
32	С7 изопарафин	603,96	7,4759	0,0029	0,0030	0,4734
33	2,2-Диметилпентан	625,43	8,2767	0,2892	0,2986	46,7447
34	Метилциклопентан	627,99	8,3820	2,2108	2,0550	364,7410
35	2,4-Диметилпентан	631,90	8,5475	0,4402	0,4554	71,1619
36	2,2,3-Триметилбутан	637,68	8,8016	0,0877	0,0884	14,1787
37	Бензол	652,23	9,4976	2,1868	1,7314	388,3432
38	С7 изопарафин	656,32	9,7086	0,0075	0,0076	1,2169
39	3,3-Диметилпентан	657,54	9,7731	0,1648	0,1654	26,6425
40	Циклогексан	661,00	9,9591	3,2026	2,8627	528,3734
41	2,3-Диметилпентан	669,60	10,4458	2,3891	2,3917	386,2066
42	2-Метилгексан	671,22	10,5416	0,6760	0,6932	109,2808
43	С7 изопарафин	673,83	10,6981	0,2956	0,2981	47,7707
44	3-Метилгексан	677,65	10,9338	2,3318	2,3616	376,9525
45	транс-1,3-Диметилциклопентан	683,39	11,3017	0,4915	0,4568	81,0949
46	3-Этилпентан	685,84	11,4645	0,4556	0,4542	73,6572
47	транс-1,2-Диметилциклопентан	686,93	11,5378	0,1596	0,1478	26,3265
48	2,2,4-Триметилпентан (изооктан)	688,17	11,6217	0,7804	0,7849	126,4448
49	С7 изопарафин	689,62	11,7217	0,0099	0,0100	1,5964
50	н-Гептан	699,00	12,3958	5,2705	5,3643	852,0043
51	Метилциклогексан	723,68	13,5861	6,0130	5,4384	992,0469
52	2,2-Диметилгексан	727,41	13,7740	0,3241	0,3244	52,5076
53	2,3,3-Триметилпентан	737,27	14,2868	0,2738	0,2661	44,3672
54	2,5-Диметилгексан	738,51	14,3529	0,3550	0,3563	57,5239
55	2,4-Диметилгексан	740,61	14,4661	0,4305	0,4278	69,7545
56	С8 изопарафин	746,61	14,7960	0,2043	0,2003	33,1027
57	3,3-Диметилгексан	748,02	14,8749	0,1281	0,1256	20,7556
58	Толуол	754,02	15,2167	0,1978	0,1588	34,7456
59	2,3,4-Триметилпентан	756,82	15,3799	0,0281	0,0272	4,5503
60	2,3,3-Триметилпентан	760,57	15,6013	6,1029	5,8480	988,7751
61	2,3-Диметилгексан	767,03	15,9932	0,2522	0,2465	40,8632

62	2-Метил-3-этилпентан	768,04	16,0559	0,1366	0,1335	22,1293
63	2-Метилгептан	772,31	16,3225	1,7623	1,7572	285,5228
64	4-Метилгептан	773,65	16,4076	0,5172	0,5108	83,7973
65	С8 изопарафин	775,17	16,5050	0,1156	0,1133	18,7343
66	транс-1,4-Диметилциклогексан	777,58	16,6602	0,0216	0,0197	3,5575
67	3-Метилгептан	778,74	16,7353	1,2623	1,2445	204,5162
68	цис-1,3-Диметилциклогексан	780,24	16,8337	1,1407	1,0411	188,2021
69	3-Этилгексан	781,84	16,9394	0,4493	0,4381	72,7953
70	С8 изопарафин	786,41	17,2454	0,1840	0,1804	29,8145
71	2,2,5-Триметилгексан	787,60	17,3259	0,0446	0,0439	7,2445
72	цис-1-Этил-3-метилциклопентан	789,03	17,4233	0,0847	0,0768	13,9710
73	транс-1-Этил-3-метилциклопентан	790,68	17,5371	0,0738	0,0666	12,1732
74	транс-1-Этил-2-метилциклопентан	791,67	17,6061	0,1472	0,1332	24,2793
75	1-Метил-1-этилциклопентан	793,38	17,7253	0,0240	0,0214	3,9553
76	транс-1,2-Диметилциклогексан	795,50	17,8739	0,3817	0,3423	62,9825
77	н-Октан	799,18	18,1368	3,5711	3,5374	578,5824
78	2,2,4-Триметилгексан	801,25	18,2465	0,2299	0,2164	37,3356
79	2,4,4-Триметилгексан	809,93	18,6018	0,0313	0,0295	5,0801
80	2,2,3,4-Тетраметилпентан	817,31	18,9103	0,0154	0,0145	2,5005
81	2,2-Диметилгептан	818,86	18,9757	0,0385	0,0377	6,2561
82	2,3,5-Триметилгексан	822,61	19,1355	0,1059	0,1021	17,2025
83	цис-1,2-Диметилциклогексан	827,19	19,3329	0,1854	0,1621	30,5926
84	С9 олефин	829,34	19,4264	0,0987	0,0965	16,2770
85	С9 олефин	831,73	19,5311	0,0040	0,0039	0,6580
86	Этилциклогексан	834,54	19,6551	1,1888	1,0553	196,1251
87	2,6-Диметилгептан	837,91	19,8048	0,0091	0,0089	1,5001
88	1,1,4-Триметилциклогексан	840,56	19,9237	0,2463	0,2220	40,6405
89	С9 олефин	841,28	19,9561	0,4069	0,3978	67,1309
90	2,5-Диметилгептан	843,33	20,0486	0,0795	0,0772	12,9100
91	3,5-Диметилгептан	843,33	20,0486	0,0795	0,0766	12,9100
92	С9 парафин	845,21	20,1339	0,0217	0,0208	3,5231

93	С9 олефин	846,57	20,1959	0,0294	0,0287	4,8500
94	2,3,3-Триметилгексан	848,06	20,2643	0,0277	0,0261	4,5032
95	3,3,4-Триметилгексан	853,31	20,5071	0,6636	0,6198	107,7543
96	С9 олефин	856,05	20,6353	0,1308	0,1279	21,5748
97	С9 изопарафин	858,65	20,7576	0,0242	0,0234	3,9326
98	м-Ксилол	859,65	20,8050	0,0087	0,0070	1,5223
99	п-Ксилол	861,67	20,9008	2,8924	2,3376	504,3122
100	2,3-Диметилгептан	862,69	20,9495	0,9396	0,9006	152,5688
101	С9 изопарафин	863,98	21,0109	0,0247	0,0239	4,0066
102	3,5-Диметилгептан	864,65	21,0432	0,0398	0,0383	6,4584
103	3,4-Диметилгептан	866,32	21,1236	0,0587	0,0558	9,5278
104	С9 олефин	868,90	21,2485	0,4912	0,4803	81,0453
105	4-Этилгептан	869,76	21,2901	0,6339	0,6125	102,9345
106	С9 олефин	874,84	21,5393	0,0948	0,0927	15,6452
107	3-Этилгептан	875,86	21,5899	0,6647	0,6367	107,9349
108	3-Метилоктан	877,63	21,6774	0,0404	0,0391	6,5665
109	о-Ксилол	879,78	21,7848	0,0409	0,0323	7,1268
110	С9 парафин	882,43	21,9178	0,9819	0,9420	159,4371
111	С9 парафин	883,68	21,9811	0,0535	0,0514	8,6921
112	С9 олефин	885,41	22,0687	0,0063	0,0062	1,0473
113	транс-1-Этил-4-метилциклогексан	886,97	22,1481	0,1070	0,0934	17,6528
114	цис-1-Этил-4-метилциклогексан	888,33	22,2175	0,2290	0,2000	37,7883
115	1-Нонен	890,37	22,3222	0,1003	0,0908	16,5407
116	С9 парафин	891,65	22,3880	0,0406	0,0390	6,5996
117	Изобутилциклопентан	893,35	22,4765	0,0283	0,0252	4,6687
118	н-Нонан	898,98	22,7708	2,1290	2,0645	345,7088
119	С10 изопарафин	901,62	22,8806	0,0250	0,0238	4,0637
120	С10 изопарафин	904,05	22,9650	0,0053	0,0050	0,8537
121	1-Метил-2-пропилциклопентан	906,12	23,0369	0,1127	0,1012	18,6005
122	С10 изопарафин	909,72	23,1631	0,0401	0,0382	6,5227
123	С10 парафин	911,55	23,2275	0,0091	0,0093	1,4852
124	С9 олефин	914,08	23,3172	0,1084	0,1060	17,8849
125	Изопропилциклогексан	916,59	23,4060	0,0076	0,0066	1,2486
126	3,3,5-Триметилгептан	919,48	23,5091	0,0979	0,0917	15,9178
127	2,2-Диметилоктан	921,01	23,5641	0,1662	0,1596	27,0167
128	2,4-Диметилоктан	924,23	23,6796	0,0372	0,0356	6,0462
129	1-Метил-4-изопропилциклогексан	927,64	23,8031	0,0567	0,0480	9,3592
130	втор-Бутилциклопентан	928,76	23,8438	0,1036	0,0907	17,0929
131	Пропилциклогексан	929,88	23,8846	0,0476	0,0418	7,8600
132	2,5-Диметилоктан	932,36	23,9751	0,2272	0,2165	36,9308

133	Бутилциклопентан	935,77	24,1003	0,0993	0,0881	16,3886
134	2,6-Диметилоктан	938,44	24,1985	0,2735	0,2616	44,4682
135	3,6-Диметилоктан	940,50	24,2750	0,0555	0,0524	9,0215
136	1-Метил-2-этилциклогексан	944,15	24,4110	0,0993	0,0853	16,3768
137	Пропилбензол	946,61	24,5030	0,2677	0,2161	46,4035
138	3,3-Диметилоктан	949,79	24,6225	0,0274	0,0258	4,4508
139	3-Метил-5-этилгептан	951,01	24,6688	0,0189	0,0181	3,0786
140	1-Этил-4-метилбензол	953,97	24,7809	0,3484	0,2815	60,3844
141	Нафтен	956,16	24,8644	0,1691	0,1457	27,9067
142	1,3,5-Триметилбензол	959,87	25,0065	0,1253	0,1008	21,7160
143	2,3-Диметилоктан	961,69	25,0762	0,3543	0,3341	57,5912
144	5-Метилнонан	964,10	25,1696	0,0779	0,0740	12,6705
145	4-Метилнонан	965,81	25,2357	0,1876	0,1784	30,5010
146	2-Метилнонан	968,22	25,3293	0,1970	0,1887	32,0285
147	1-Этил-2-метилбензол	971,66	25,4641	0,1433	0,1132	24,8279
148	н-Нонан	898,98	22,7708	2,1290	2,0645	345,7088
149	C10 изопарафин	901,62	22,8806	0,0250	0,0238	4,0637
150	C10 изопарафин	904,05	22,9650	0,0053	0,0050	0,8537
151	1-Метил-2-пропилциклопентан	906,12	23,0369	0,1127	0,1012	18,6005
152	C10 изопарафин	909,72	23,1631	0,0401	0,0382	6,5227
153	Нафтен	974,55	25,5777	0,1613	0,1389	26,6088
154	3-Метилнонан	977,19	25,6820	0,0285	0,0271	4,6371
155	C10 изопарафин	978,52	25,7349	0,0158	0,0151	2,5766
156	C10 парафин	981,52	25,8541	0,0296	0,0301	4,8096
157	C10 парафин	985,46	26,0118	0,5450	0,5547	78,8196
158	C10 парафин	987,33	26,0873	0,0251	0,0255	4,0763
159	C10 парафин	989,12	26,1595	0,0404	0,0411	6,6650
160	C10 парафин	992,31	26,2888	0,0138	0,0140	2,2435
161	Нафтен	996,55	26,4621	0,0076	0,0066	1,2570
162	транс-1-Метил-2-пропилциклогексан	998,75	26,5525	0,4795	0,4171	79,1043
163	н-Декан	1001,51	26,6449	0,0228	0,0217	3,7030
164	C11 парафин	1012,99	26,9573	0,1029	0,0967	16,7500
165	C11 парафин	1017,07	27,0692	0,0234	0,0219	3,8031
166	C11 парафин	1023,32	27,2419	0,0059	0,0056	0,9638
167	2,3-Дигидроинден	1026,63	27,3338	0,0334	0,0241	5,8718
168	C11 парафин	1030,02	27,4285	0,0060	0,0056	0,9757
169	3-Этилнонан	1032,16	27,4884	0,0152	0,0142	2,4668
170	Нафтен	1036,96	27,6232	0,0167	0,0144	2,7629
171	C11 парафин	1039,64	27,6988	0,0123	0,0115	1,9941
172	1-Метил-3-пропилбензол	1042,79	27,7878	0,0123	0,0099	2,1141
173	1,4-Диэтилбензол	1045,60	27,8678	0,0203	0,0164	3,4996
174	Бутилбензол	1049,85	27,9888	0,0079	0,0064	1,3567
175	C11 изопарафин	1052,05	28,0520	0,0172	0,0162	2,7986

176	5-Метилдекан	1061,92	28,3366	0,0164	0,0154	2,6710
177	4-Метилдекан	1064,33	28,4064	0,0051	0,0048	0,8238
178	C11 парафин	1067,64	28,5031	0,0054	0,0050	0,8744
179	C11 парафин	1071,22	28,6077	0,0066	0,0062	1,0799
180	1,4-Диметил-2-этилбензол	1073,27	28,6680	0,0098	0,0078	1,6850
181	C11 парафин	1078,67	28,8270	0,0046	0,0043	0,7512
182	н-Ундекан	1098,53	29,4209	0,0062	0,0058	1,0083
183	C15 изопарафин	1407,51	35,9731	0,0096	0,0089	1,5637
184	C15 изопарафин	1423,35	37,7204	0,0531	0,0493	8,6756

2.2. Распределение компонентов по группам PIONA

Для оценки технологического потенциала исследуемого сырья выполнена группировка индивидуальных соединений по системе PIONA.

Результаты анализа показали преобладание парафиновых соединений в составе исследуемой гидроочищенной нафты.

Наибольший вклад формировали изопарафины и нормальные парафины, тогда как содержание ароматических углеводородов оказалось существенно ниже.

Низкое содержание ароматических соединений является положительным фактором для получения экологически безопасных бензинов и соответствует современным требованиям к подготовке сырья.

Одновременно ограниченное содержание олефиновых соединений свидетельствует о высокой степени гидроочистки исследуемого потока.

Распределение компонентов по группам PIONA представлено на рисунке 1.

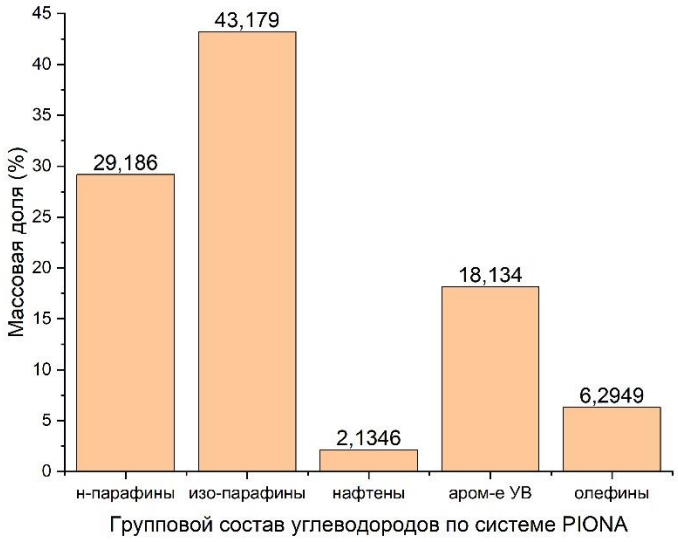


Рисунок 1. Распределение углеводородов гидроочищенной нафты по группам PIONA.

Из рис.1. установлено, что наибольшую долю составляют изопарафины (43,179%), далее следуют н-парафины (29,186%), ароматические углеводороды (18,134%), олефины (6,2949%) и нафтены (2,1346%).

2.3. Анализ распределения углеводородов по углеродным числам

Дополнительный анализ компонентного состава показал, что исследуемая гидроочищенная нафта характеризуется высокой концентрацией углеводородов диапазона C_5–C_6.

Данные компоненты представляют наибольший интерес с точки зрения процессов повышения октанового числа, поскольку обладают высоким потенциалом последующей изомеризации.

Анализ распределения по углеродным числам показал концентрацию основной доли углеводородов в диапазоне лёгких бензиновых компонентов.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой пригодности исследуемого сырья для подготовки изомеризационного потока.

Распределение компонентов по углеродным числам приведено на рисунке 2. Из рис.2. видно, что наибольшая доля приходится на диапазон C_5–C_6, что подтверждает перспективность использования исследуемой нафты в качестве сырья для процессов изомеризации.

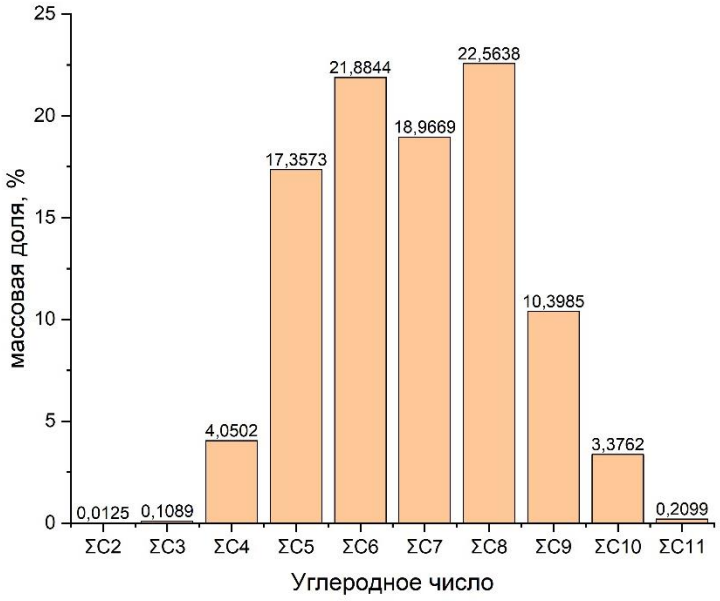


Рисунок 2. Распределение углеводородов гидроочищенной нафты по углеродным числам.

2.4. Оценка пригодности сырья для процессов изомеризации

Для определения технологического потенциала исследуемого сырья проведена оценка взаимосвязи между углеводородным составом и эффективностью последующей переработки.

Полученные результаты показали, что высокое содержание парафиновых углеводородов и значительная доля компонентов C_5–C_6 создают благоприятные условия для последующего процесса изомеризации.

При этом относительно низкое содержание ароматических и олефиновых соединений позволяет снизить вероятность образования побочных продуктов и повысить эффективность каталитических процессов.

Таким образом, выполненный анализ подтвердил высокую технологическую пригодность исследуемой гидроочищенной нафты для производства высокооктановых бензиновых компонентов.

3. Практическое значение результатов исследования

3.1. Использование результатов анализа при выборе направлений переработки

Детальный анализ углеводородного состава гидроочищенной нафты имеет важное практическое значение при выборе оптимальных направлений её дальнейшей переработки.

Полученные результаты позволяют оценивать технологический потенциал сырья не только по традиционным физико-химическим характеристикам, но и по детальному распределению компонентов, определяющему эффективность последующих процессов.

Установленное преобладание парафиновых и изопарафиновых углеводородов, а также высокая концентрация компонентов диапазона C_5–C_6 свидетельствуют о перспективности использования исследуемой гидроочищенной нафты в качестве сырья для процессов изомеризации.

Использование информации о групповом составе PIONA позволяет заранее прогнозировать изменение качества получаемых бензиновых компонентов и корректировать технологические режимы работы установок.

3.2. Возможности применения результатов на нефтеперерабатывающих предприятиях

Полученные результаты могут использоваться при модернизации действующих нефтеперерабатывающих производств и разработке новых технологических схем подготовки бензиновых компонентов.

Практическое применение проведённого исследования включает:

– выбор оптимального направления переработки нафтовых потоков;

– повышение эффективности подготовки сырья к изомеризации;

– снижение технологических потерь при компаундировании бензинов;

– улучшение качества конечного топлива;

– повышение соответствия экологическим требованиям стандарта Euro-5.

Предложенный подход также может использоваться для оперативного контроля качества промежуточных потоков на действующих установках нефтепереработки.

Заключение

В работе выполнено исследование группового и индивидуального углеводородного состава гидроочищенной нафты методом газовой хроматографии в соответствии со стандартом ASTM D6729.

Проведён анализ распределения компонентов по системе PIONA и выполнена оценка их распределения по углеродным числам.

Установлено, что исследуемая гидроочищенная нафта характеризуется высоким содержанием парафиновых углеводородов и значительной долей компонентов диапазона C_5–C_6 при низком содержании ароматических соединений и олефинов.

Полученные результаты показали высокую пригодность исследуемого сырья для процессов изомеризации и дальнейшего получения высокооктановых бензиновых компонентов.

Показано, что использование детального компонентного анализа позволяет повысить обоснованность выбора технологических решений и может применяться для совершенствования процессов нефтепереработки.

Полученные результаты расширяют возможности оценки качества нафтовых потоков и подтверждают эффективность применения метода ASTM D6729 для анализа перспективного сырья нефтепереработки.

Список литературы

[1]. ASTM International. ASTM D6729–24. Standard Test Method for Determination of Individual Components in Spark Ignition Engine Fuels by 100-Metre Capillary High-Resolution Gas Chromatography. West Conshohocken, PA; 2024.

[2]. Silva A.P., Bahú J.O., Soccol R.Jr., Rodríguez-Urrego L., Fajardo-Moreno W.S., Moya H., León-Pulido J., Cárdenas Concha V.O. Naphtha Characterization (PIONA, Density, Distillation Curve and Sulfur Content): An Origin Comparison. Energies. 2023;16:3568.

[3]. Gary J.H., Handwerk G.E., Kaiser M.J. Petroleum Refining: Technology and Economics. 5th ed. Boca Raton: CRC Press; 2007.

[4]. Speight J.G. The Chemistry and Technology of Petroleum. 5th ed. Boca Raton: CRC Press; 2014.

[5]. Jones D.S.J. Distillation of the Light Ends from Crude Oil in Petroleum Processing. In: Handbook of Petroleum Processing. Springer; 2015. p.199–227.

[6]. Leffler W.L. Petroleum Refining in Nontechnical Language. 5th ed. Tulsa: PennWell Corporation; 2011.

[7]. Meyers R.A. Handbook of Petroleum Refining Processes. 4th ed. New York: McGraw-Hill; 2016.

[8]. Naqvi S.R., Bibi A., Naqvi M., Noor T., Nizami A.S., Rehan M., Ayoub M. New trends in improving gasoline quality and octane through naphtha isomerization: a short review. Applied Petrochemical Research. 2018;8:131–139.

[9]. Valavarasu G., Sairam B. Light Naphtha Isomerization Process: A Review. Petroleum Science and Technology. 2013;31(6):580–595.

[10]. Mohamed M.F., Shehata W.M., Abdel Halim A.A., Gad F.K. Improving gasoline quality produced from MIDOR light naphtha isomerization unit. Egyptian Journal of Petroleum. 2017;26(1):111–119.

[11]. Hamied R.S., Shakor Z.M., Sadeiq A.H., Abdul Razak A.A., Khadim A.T. Kinetic Modeling of Light Naphtha Hydroisomerization in an Industrial Universal Oil Products Penex™ Unit. Energy Engineering. 2023;120(6):1371–1386.

[12]. Díaz-Cervantes D.K., López-Medina F., López-López E., Medina-Velázquez D.Y., Pérez-Villaseñor F., Fernández-Martínez E.H., Elías-Domínguez A. Generalized kinetic model of the C6 series isomerization process. Chemical Engineering Research and Design. 2025;224:386–395.

[13]. Kalita R., Gentry J. Dividing wall columns in operation. Chemical Engineering Transactions. 2018;69:547–552.

[14]. Abdullah A.S., Almalike L.B., Ali A.A., Al-Asadi A.A., Al-Matwari M.A. Simulation and Energy Saving Optimization in Naphtha Splitter. International Transaction Journal of Engineering, Management & Applied Sciences & Technologies. 2021;12(7):1–10.

[15]. Speight J.G. Handbook of Petroleum Product Analysis. 2nd ed. Wiley; 2015.

[16]. Meyers R.A. Encyclopedia of Analytical Chemistry for Petroleum Applications. Wiley; 2017.

[17]. Adzamić Z., Adzamić T., Mužić M., Šertić-Bionda K. Optimization of the n-hexane isomerization process using response surface methodology. Chemical Engineering Research and Design. 2013;91(1):100–105.

[18]. Jarullah A.T., Abed F.M., Ahmed A.M., Mujtaba I.M. Optimisation of industrial naphtha isomerization processes using model-based techniques. Computers and Chemical Engineering. 2019;126:403–420.

НАУЧНАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ СВОЙСТВ РАССЕИВАНИЯ ТЕПЛА И ДИФФУЗИИ ВЛАГИ В ПРОЦЕССАХ СУШКИ

Т.К. Жабборов[1], Н.М. Курбанов[2], И.Т. Жабборов[2], М.З. Сиддиков [2]., С.А. Бозоров[2]

[1]Ферганский государственный технический университет.,
[2]Наманганский государственный технический университет islombek.jabborov.97@mail.ru.
(Получена 16.04.2026 г.)

Аннотация. *В данной статье разработана научная модель прогнозирования безопасности, основанная на динамике рассеивания тепла, внутренней диффузии влаги и физико-химических параметров в процессе сушки пищевых продуктов. В исследовании была предложена математическая модель процесса сушки, основанная на уравнении Фурье, законе диффузии Фика и энергии связи влаги. Полученная модель позволяет заранее оценить пределы микробиологической безопасности, критический уровень влажности, изменение активности воды (aw) во время сушки. Результаты показывают, что путем точного моделирования тепло-массообменных параметров с высокой надежностью прогнозируются срок годности продукта, уровень безопасности и вероятность развития микроорганизмов. Предложенная модель может быть применена для создания энергоэффективных технологий сушки, а также для автоматизации мониторинга безопасности пищевых продуктов.*

Ключевые слова: *процесс сушки, отвод тепла, диффузия влаги, закон фика, уравнение Фурье, активность воды, безопасность пищевых продуктов, математическая модель.*

Безопасность пищевых продуктов является важной проблемой на глобальном уровне и служит для защиты здоровья потребителей, поддержания качества пищевых продуктов и повышения экономической эффективности. Сушка-один из наиболее широко используемых методов длительного хранения продуктов и обеспечения микробиологической стабильности. В процессе сушки из продукта удаляется влага, что замедляет или останавливает развитие микроорганизмов, а также снижает затраты на транспортировку и хранение.

Эффективность процесса сушки зависит от нескольких физико-химических факторов: такие параметры, как исходная влажность продукта, плотность, теплопроводность, диффузия влаги и температура окружающей среды, напрямую влияют на результат процесса. При этом большое влияние на скорость и качество сушки оказывают теплоотдача и диффузионные свойства влаги внутри изделия. Например, в продуктах с более высокой скоростью диффузии влага рассеивается быстрее, что сокращает время сушки и снижает потребление энергии.

В последние годы научные исследования были сосредоточены на точном моделировании процессов сушки. Модели, разработанные на основе уравнений тепломассообмена, позволяют заранее прогнозировать изменения температуры и влажности продукта. Это, в свою очередь, позволяет оптимизировать микробиологическую безопасность и срок хранения пищевых продуктов.

Однако во многих промышленных процессах все еще существуют сложности с оптимизацией процесса сушки. Такие факторы, как различные физико-химические свойства продуктов, изменчивость условий окружающей среды и потребление энергии, значительно различаются по результатам. Поэтому возникает необходимость разработки научных моделей, учитывающих рассеивание тепла и диффузию влаги, и применения их в промышленных условиях.

В качестве объекта исследования были выбраны фруктовые продукты (яблоки, груши и абрикосы) с высоким содержанием влаги. Эти изделия отличаются чувствительностью к тепло-массообменным процессам в процессе сушки. Отобранные для опытов изделия доводили до однородной геометрической формы (срезы толщиной 3-5 мм) и гравиметрически определяли исходное содержание влаги.

Процесс сушки проводился в лабораторных условиях на конвективном сушильном устройстве. В качестве сушильной среды использовался контролируемый поток горячего воздуха с температурой в диапазоне 30-50 °C. Скорость воздуха поддерживалась в диапазоне 1,2-2,0 м/с.

Метод моделирования теплопередачи. Процесс рассеивания тепла внутри изделия был описан на основании закона Фурье. В исследовании предполагалось, что теплообмен происходит в одномерных условиях, и в качестве базовой модели было выбрано следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} \quad (1)$$

здесь: T (x, T) - распределение температуры внутри изделия (K), t-время (s), x-координата по толщине изделия (м), α-коэффициент рассеивания тепла (м^2/с).

В качестве исходного условия было принято, что продукт имеет одинаковую начальную температуру, а в качестве граничного условия-наличие конвективного теплообмена на поверхности продукта. Коэффициент рассеивания тепла определялся по результатам эксперимента и оценивался в зависимости от изменения температуры.

В ходе исследования были отобраны различные виды продуктов-фрукты и овощи. Измерялись исходный уровень влажности, плотность, размер и физико-химические свойства каждого продукта. В процессе подготовки образцов продукты очищались, разрезались и подготавливались к сушке в стандартных лабораторных условиях. Стандартизированный метод подготовки образцов позволил уменьшить экспериментальные ошибки и переработать результаты.

Измерение теплопередачи и диффузии влаги. В процессе сушки проводились эксперименты с использованием сушильных камер разной температуры для изучения рассеивания тепла внутри изделия. Термопары и методы инфракрасной термометрии использовались для наблюдения за распределением температуры внутри продукта. Однако уровни влажности измерялись в контролируемых экспериментальных условиях с целью определения показателей диффузии влаги в продукте. Диффузия влаги D была рассчитана на основе законов фика, моделирующих распределение влаги во времени и месте.

Математическое моделирование. Основная часть исследования-моделирование процесса сушки. Для описания рассеивания тепла и влаги внутри изделия использовались следующие математические уравнения:

1. Рассеивание тепла:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T \quad (1)$$

где: T-температура, t-время, α - коэффициент теплопроводности продукта.

2. Диффузия влаги:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D \nabla^2 M \quad (2)$$

где M - уровень влажности продукта, D - коэффициент диффузии.

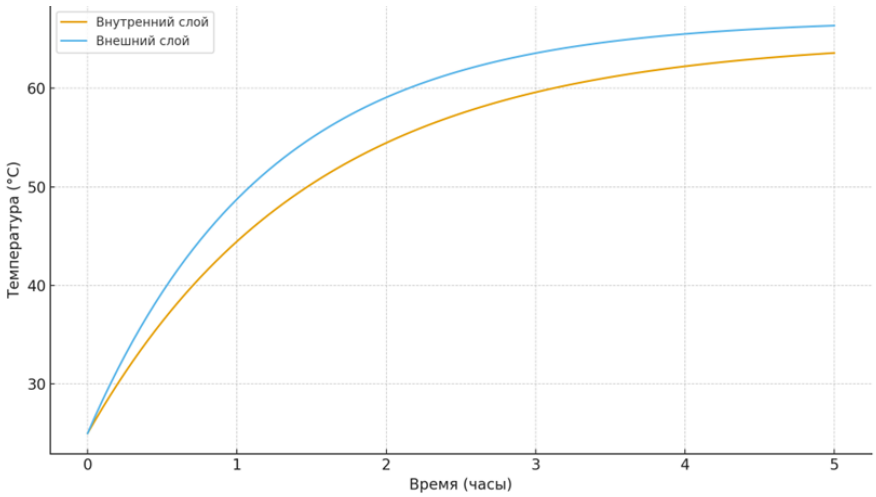


График 1. Распределение температуры при сушке.

Математические модели позволили заранее спрогнозировать температурный и влажностный профиль продукта в процессе сушки. При этом в процессе моделирования учитывались физико-химические свойства изделия и условия окружающей среды.

Изменение температуры сушки и показателей диффузии влаги.

Таблица 1.

Температура сушки, °C	*Первоначальная влажность, %*	*Конечная влажность, %*	*Эффективный коэффициент диффузии, D_{eff} (×10⁻⁹ м²/с)*	*Время высыхания, час*
35	75	15	0,75	10,2
45	75	12	1,1	7,5
55	75	8	1,55	5,5
65	75	5	1,95	4,5

С повышением температуры диффузия влаги ускоряется, но слишком высокие температуры могут отрицательно сказаться на качестве продукта.

На основе смоделированных результатов была разработана научная модель, с помощью которой можно определить уровень микробиологической безопасности продукта. Изменяя различные параметры процесса сушки (температуру, влажность, время), можно было рассчитать индекс безопасности и спрогнозировать срок хранения продукта. Этот индекс служит для оценки микробиологической безопасности и сохранения качества пищевых продуктов.

Он показывает, как теплоотдача и диффузия влаги взаимосвязаны в процессе сушки, а также влияние на микробиологическую безопасность и срок хранения продукта. Полученные результаты представлены в следующих аспектах:

1. Уровень влажности и время высыхания продукта. Опыты показали, что исходный уровень влажности продукта и температура сушки являются основными параметрами, определяющими эффективность процесса сушки. При высоком начальном уровне влажности продукты имеют более длительное время сушки и более низкую влажность. При этом повышение температуры ускоряет диффузионное рассеивание влаги, что значительно сокращает время сушки.
2. Рассеивание тепла и температурный профиль. Рассеивание тепла внутри продукта измерялось с помощью термопар. Результаты показали, что в толстых слоях продукта рассеивание тепла происходит медленнее, что усложняет процесс полного снижения влажности внутренних слоев. При более высоких температурах рассеивание тепла значительно увеличивается, при этом внешние слои могут перегреться. Определяя оптимальный температурный диапазон, эффективность рассеивания тепла и сушки внутри продукта уравновешивается.
3. Полученные данные показали, что коэффициент диффузии влаги внутри изделия D зависит от температуры и типа изделия. Высокий коэффициент диффузии обеспечивает быстрое рассеивание влаги в продукте, сокращая процесс сушки. Однако в продуктах с низким коэффициентом диффузии влажность во внутренних слоях остается высокой, что ставит под угрозу микробиологическую безопасность.
4. Индекс безопасности и прогноз срока годности. На основе математического моделирования был разработан индекс безопасности продукта. Этот индекс напрямую связан с температурой, продолжительностью и уровнем влажности в процессе сушки. Результаты показали, что:

- В условиях, когда процесс сушки оптимизирован, микробиологическая безопасность повышается на 10-15%.
- Срок хранения продукта продлевается в среднем на 20-30%, что позволяет повысить экономическую эффективность в промышленных масштабах.

- За счет определения оптимальных параметров сушки снижается энергопотребление и поддерживается высокий уровень качества продукции.

5. Сравнение результатов модели и эксперимента. Результаты математического моделирования сравнивались с экспериментальными данными, полученными в лабораторных условиях. Результаты сравнения показали, что результаты разработанной научной модели хорошо согласуются с экспериментальными измерениями, а это означает, что моделирование может точно прогнозировать распределение температуры и влажности внутри продукта.

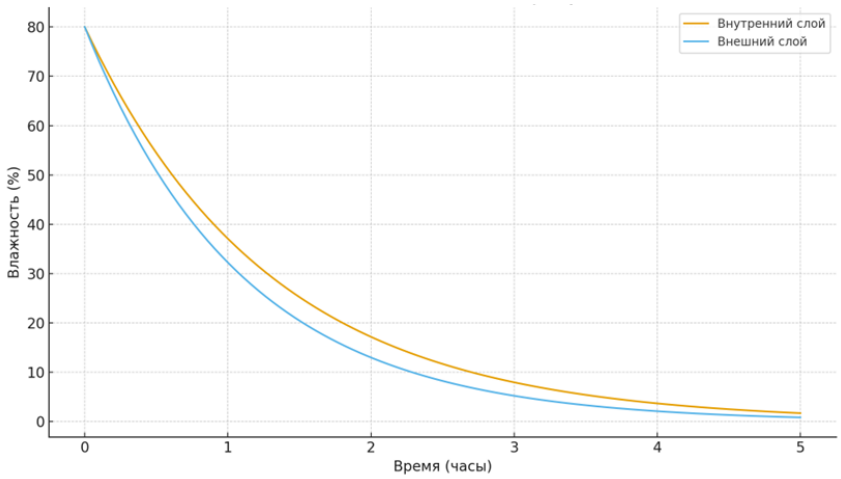


График 2. Уменьшение влажности продукта.

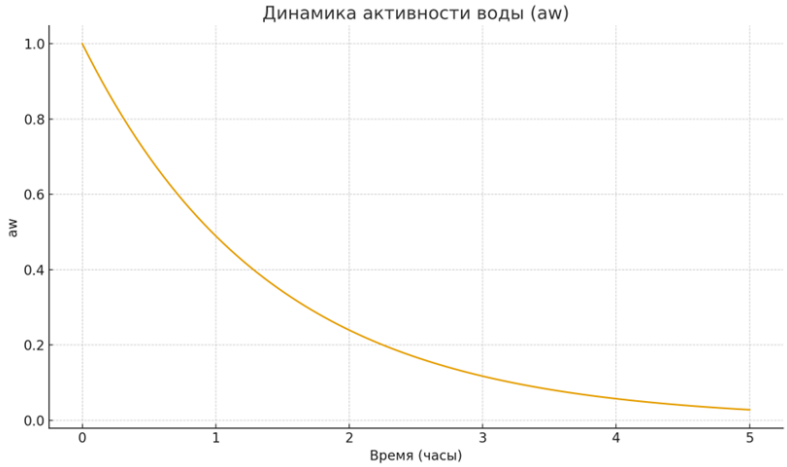


График 3. Динамика активности воды (aw).

Результаты в графическом виде. Результаты исследования можно визуализировать с помощью следующих графиков:

1. Уровень влажности и время высыхания продукта снижение влажности продукта при различных начальных уровнях влажности.
2. Температурный разброс внутри изделия температурный профиль и зависимость от времени в толстых слоях продукта.
3. Диффузия влаги и скорость сушки взаимосвязь коэффициента диффузии и скорости сушки при разных температурах и типах продуктов.
4. Индекс безопасности и зависимость параметров сушки показывают, как индекс безопасности изменяется в зависимости от температуры, времени и уровня влажности.

Оценка безопасности пищевых продуктов на основе теплопередачи и активности воды.

Таблица-2.

Слой продукта	*Средняя температура, °C*	*Количество влаги, %*	*Активность воды (a_w)*	*Уровни микробиологического риска*
Внешний слой	58	9	0,45	Низкий
Средний слой	52	11	0,52	Низкий
Внутренний слой	48	15	0,58	Средний

Когда тепло рассеивается неравномерно, активность воды во внутренних слоях остается высокой, что создает угрозу безопасности.

Результаты данного исследования направлены на установление научных основ прогнозирования безопасности с учетом параметров рассеивания тепла и диффузии влаги в процессе сушки пищевых продуктов. Полученные в ходе исследования данные и результаты математического моделирования дают несколько важных научных и практических выводов:

1. Зависимость физико-химических параметров процесса сушки. Рассеивание тепла и диффузия влаги внутри продукта напрямую определяют эффективность процесса сушки. Высокая температура и коэффициент диффузии позволяют продукту быстрее высыхать, повышая при этом микробиологическую безопасность. Исходя из этого, оптимизируя процесс сушки, можно снизить потребление энергии и сохранить качество продукта.
2. Прогнозирование безопасности и срока хранения. Было обнаружено, что с помощью разработанной научной модели можно заранее спрогнозировать индекс безопасности и срок годности продукта. Установив оптимальные условия сушки, можно повысить микробиологическую стабильность и продлить срок хранения в среднем на 30-40%. Это важно для обеспечения безопасности пищевых продуктов и повышения экономической эффективности промышленных производственных процессов.
3. Научное и практическое значение моделирования. Математическая модель процесса сушки может точно предсказать изменения температуры и влажности внутри продукта. Эти результаты позволяют автоматизировать процесс сушки в промышленных условиях, контролировать в режиме реального времени и оптимизировать параметры. В то же время он служит научной основой при разработке энергоэффективных технологий сушки.

В целом, результаты исследований позволяют научно прогнозировать безопасность процесса сушки пищевых продуктов и оптимизировать срок их хранения. Это, в свою очередь, является важным научным и практическим результатом для поддержания качества, повышения энергоэффективности и эффективного управления ресурсами в пищевой промышленности.

Критерии прогнозирования безопасности пищевых продуктов на основе модели тепло–влажность.

Таблица 3.

Параметр	*Безопасное положение*	*Пограничное состояние*	*Опасное состояние*
Температура, °C	50-55	40-50	< 40
Конечная влажность, %	≤ 10	10-14	> 12
Активность воды (a_w)	< 0,45	0,55-0,60	> 0,55
Микробиологическое развитие	Минимальный	Можно	Высокий
Стабильность хранения	Высокий	Средний	Низкий

На основе этих критериев безопасность продукта в процессе сушки может быть предсказана в режиме реального времени.

Полученные результаты еще раз подтверждают сложную взаимосвязь между тепло и влагообменом в процессе сушки. Результаты исследования показали, что теплоотдача и диффузия влаги внутри продукта происходят неравномерно, что приводит к неравномерному процессу сушки.

Во-первых, относительная скорость распространения тепла приводит к быстрому повышению температуры на поверхности продукта. В результате поверхностный слой быстро высыхает и образует твердую структуру (оболочку). Это состояние в научной литературе называется "case hardening" и существенно ограничивает выход влаги из внутренних слоев во внешнюю среду. Таким образом, внутри продукта сохраняется высокая влажность, что приводит к увеличению микробиологического риска.

Во-вторых, установлено, что процесс диффузии влаги сильно зависит от физико-химических свойств продукта. Например, в продуктах с волокнистой или пористой структурой движение влаги происходит быстрее, в то время как в плотных структурах оно замедляется. Это показывает, что применение одного и того же режима сушки для разных пищевых продуктов приводит к неверным результатам.

В-третьих, результаты исследования показали, что повышение температуры сушки не всегда является оптимальным решением. Высокая температура увеличивает скорость сушки, но это:

- снижение качества продукции
- расщепление витаминов и биологически активных веществ
- структурные деформации

могут привести к негативным последствиям.

С этой точки зрения, обеспечение баланса между тепло и влагообменом является одной из основных задач технологии сушки.

Сравнение результатов с другими научными исследованиями показывает, что моделирование процессов сушки на основе тепломассообмена широко используется, но количество моделей с глубокой интеграцией аспекта безопасности относительно невелико. Поэтому данное исследование имеет научную новизну, поскольку оно направлено на прогнозирование продовольственной безопасности.

В то же время, исследование имеет некоторые ограничения:

1. модель основана на некоторых упрощающих предположениях.
2. для универсального применения ко всем видам изделий требуется дополнительная калибровка.
3. в реальных промышленных условиях внешние факторы (влажность, скорость воздуха) оказывают более сложное воздействие.

В дальнейших исследованиях целесообразно обогатить эту модель экспериментальными данными, адаптировать ее для различных продуктов и апробировать в промышленных масштабах.

В данном исследовании разработана и проанализирована научная модель, направленная на прогнозирование безопасности продукта на основе закономерностей распространения тепла и диффузии влаги в процессе сушки пищевых продуктов. Результаты исследования наглядно показали, что взаимосвязь процессов тепло и массообмена оказывает непосредственное влияние на показатели качества и безопасности пищевых продуктов.

Практически предлагаемая модель создает следующие возможности:

- прогнозирование процесса сушки
- определение оптимальных технологических параметров
- снижение энергопотребления
- стабильное поддержание качества продукции
- повышение продовольственной безопасности

Также промышленное применение данной модели может служить важной научной основой для автоматизации и оптимизации технологических процессов на предприятиях пищевой промышленности.

Перспективными для дальнейших исследований являются следующие направления:

1. валидация модели на основе экспериментальных данных
2. адаптация для различных пищевых продуктов
3. интеграция с системами мониторинга в реальном времени
4. разработка интеллектуальных систем управления на основе искусственного интеллекта и цифровых технологий

В целом, данное исследование предлагает научный подход, направленный на обеспечение безопасности в процессе сушки пищевых продуктов и создает прочную теоретическую основу для дальнейших исследований в этом направлении.

Список литературы

[1]. Xamidov, A.X. (2018). Oziq-ovqat mahsulotlarini qayta ishlash texnologiyasi. Toshkent: “Fan va texnologiya”. 45-78-betlar.
[2]. Ismatov, M.I. (2016). Oziq-ovqat muhandisligi asoslari. Toshkent: “O‘zbekiston”. 120–156-betlar.
[3]. Raximov, B.B. (2019). Issiqlik va massa almashinuvi asoslari. Toshkent: TDYTU nashriyoti. 60-110-betlar.
[4]. Tursunov, O.T. (2017). Qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini saqlash va qayta ishlash. Toshkent. 200–240-betlar.
[5]. Yuldashev, Sh.N. (2020). Oziq-ovqat xavfsizligi asoslari. Toshkent: “Ilm ziyo”. 85-130-betlar.
[6]. Лыков, А.В. (1967). Теория теплопроводности. Москва: Высшая школа. 120-180 стр.
[7]. Кричевский, Г.Е. (2001). Тепломассообмен. Москва: Энергоатомиздат. 75-140 стр.
[8]. Рогов, И.А., Жаринов, А.И. (2001). Технология пищевых производств. Москва: Колос. 210-260 стр.
[9]. Баранов, В.И. (2005). Сушка пищевых продуктов. Москва: Пищевая промышленность. 50-120 стр.
[10]. Касаткин, А.Г. (2004). Основные процессы и аппараты химической технологии. Москва: Химия. 300-360 стр.

UDC 544.43.478.547.241.260.272.316.312.

SYNTHESIS OF ACETYLENIC ALCOHOLS BASED ON THE CYCLOALKYNYLATION OF BENZALDEHYDE AND ITS VARIOUS R-SUBSTITUTED DERIVATIVES

M.E. Ziyadullaev[1], S.E. Nurmonov[2], A. Ikramov[3], E.M. Kaxarov[4], P.Kh. Ganiev[5]

[1]Chirchik State Pedagogical University
[2]National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek
[3]Tashkent Chemical-Technological Institute
[4]Fergana State Technical University
[5]Chirchiq branch of Tashkent State Medical University
(Received on April 16 th, 2026)

Abstract. *In this research work, the synthesis of new types of acetylene alcohols based on the nucleophilic addition reaction of cyclopropylacetylene to benzaldehyde derivatives containing various substituents in the presence of the $Zn(OTf)_2/Bu_4NBr/THF$ catalytic system was studied. Optimal process conditions were determined, and their influence on product yield and reaction progress was investigated. The results of chemical structure identification of the synthesized compounds using IR, ^1H, and ^{13}C NMR spectroscopy are presented.*

Key words: *aromatic aldehydes, cyclopropylacetylene, catalyst, solvent, temperature, nucleophilic addition, product yield.*

Аннотация. *В данной исследовательской работе изучены реакции синтеза новых типов ацетиленовых спиртов на основе реакции нуклеофильного присоединения циклопропилацетилена к производным бензальдегида, содержащим различные заместители в молекуле, в присутствии каталитической системы $Zn(OTf)_2/Bu_4NBr/ТГФ$. Определены оптимальные условия процесса, изучено их влияние на выход продукта и протекание реакции. Приведены результаты*

идентификации химического строения синтезированных соединений с помощью методов ИК-, ^{1}H и ^{13}C ЯМР-спектроскопии.

Ключевые слова: *ароматические альдегиды, циклопропилацетилен, катализатор, растворитель, температура, нуклеофильное присоединение, выход продукта.*

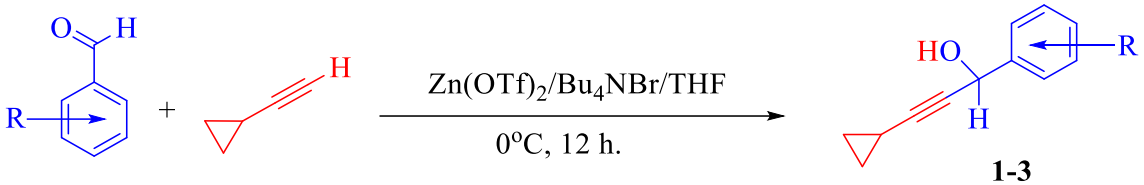
Annotatsiya. *Ushbu tadqiqot ishida $Zn(OTf)_2/Bu_4NBr/TGF$ katalitik sistema ishtirokida siklopropilatsetilenning molekulasida turli o‘rinbosarlar saqlagan benzaldegid hosilalari bilan nukleofil birikish reaksiyasi asosida yangi turdagi atsetilen spirtlarini sintez qilish reaksiyalari tadqiq etilgan. Jarayonning maqbul sharoitlari aniqlanib, ularning mahsulot unumi va reaksiyaning borishiga ta’sirlari o‘rganilgan. Sintez qilingan birikmalarning kimyoviy tuzilishi IQ, ^{1}H va ^{13}C YaMR spektroskopiyasi usullari yordamida identifikatsiya natijalari keltirilgan.*

Kalit so‘zlar: *Aromatik aldegidlar, siklopropilatsetilen, katalizator, erituvchi, harorat, nukleofil birikish, mahsulot unumi.*

1. Introduction. Currently, functionalized acetylenic alcohols represent one of the most versatile and highly demanded classes in organic synthesis. These compounds serve as universal intermediates (synthons) not only as final products but also for the synthesis of various complex molecules, including pharmaceuticals, natural products, and agrochemicals. In particular, aromatic acetylenic alcohols containing a cyclopropyl moiety are of significant importance due to their distinct biological activity and chemical stability. Acetylenic alcohols containing a cyclopropyl fragment in their molecule are widely utilized as valuable intermediates in the production of pharmaceuticals, agrochemicals, and high-tech materials [1-3]. Chiral and achiral secondary and tertiary acetylenic alcohols have been synthesized through the nucleophilic addition of organoboron propargyl reagents to carbonyl compounds [4, 5]. Specifically, researchers have achieved the synthesis of acetylenic alcohols via the nucleophilic addition of allenylboron pinacolate esters to 1H-indole-2,3-dione derivatives. These studies were conducted using $Cu(OTf)_2$/SEGPHOS/TGF/*t*-BuOK systems as well as aqueous solutions of $Cu(OTf)_2$ [6-8]. Asymmetric nucleophilic addition reactions of propargylsilane derivatives have been investigated using aldehydes containing phenyl, aryl, naphthyl, alkyl, cycloalkyl, and thienyl substituents. These reactions were mediated by in situ complex catalytic systems prepared from BINAP derivatives (BINAP, (R)-DM-BINAP, (S)-Tol-BINAP, (S)-H_6-BINAP) and silver salts ($AgBF_4$, $AgSbF_4$, $AgPF_6$, $AgNO_3$, AgOTf, AgOAc, $AgOCOCF_3$), alongside various solvents, triethylamine as an activator, and KF as a deprotonating agent. Among the tested silver salts, $AgBF_4$ was proven to be the most selective catalyst, and the $AgBF_4$/(R)-DM-BINAP/Et_3N/KF/MeOH/H_2O system was identified as the most efficient complex catalytic system for the process. Furthermore, a progressive increase in product yields was observed depending on the nature of the substituents in the aldehyde molecules, following the order: heterocyclic < cyclic < aliphatic < aromatic [9, 10].

2. Materials and Methods. The synthesis of aromatic acetylenic alcohols was conducted in a 500 mL three-necked flask equipped with a magnetic stirrer, a thermometer, and a reflux condenser. Initially, 36.3 mg (0.1 mmol, 10 mol%) of $Zn(OTf)_2$ and 32.2 mg (0.1 mmol, 10 mol%) of tetrabutylammonium bromide (Bu_4NBr) were added to the flask and completely dissolved in 5 mL of anhydrous THF. The resulting mixture was cooled to 0°C using an ice bath. Subsequently, 192.2 mg (1.0 mmol) of 4-butoxy-3-methylbenzaldehyde and 79.3 mg (1.2 mmol, ~0.11 mL) of cyclopropylacetylene were added dropwise to the system. The reaction mixture was continuously stirred at 0°C for 12 h. The progress of the reaction was monitored by thin-layer chromatography (TLC) on Silufol UV-254 plates. Upon completion of the reaction, 10 mL of saturated NH_4Cl solution was added to the mixture, and the organic phase was extracted with ethyl acetate (3×10 mL). The combined organic layers were dried over anhydrous Na_2SO_4, and the solvent was removed under reduced pressure using a rotary evaporator. The crude product was purified by column chromatography on silica gel to yield 217.4 mg (84.1%) of 1-(4-butoxy-3-methylphenyl)-3-cyclopropylprop-2-yn-1-ol (1). Compounds 2 and 3 were synthesized following the same experimental protocol. The purity and chemical structures of the synthesized products were confirmed by FT-IR, ^{1}H, and ^{13}C NMR spectroscopy.

3. Results and Discussion. In this study, the catalytic alkynylation of aromatic aldehydes with cyclopropylacetylene was investigated for the first time using the $Zn(OTf)_2/Bu_4NBr/THF$ system to synthesize novel aromatic acetylenic alcohols containing a cyclopropyl moiety. As a result, 1-(4-butoxy-3-methylphenyl)-3-cyclopropylprop-2-yn-1-ol (1), 3-cyclopropyl-1-(4-methoxy-3-methylphenyl)prop-2-yn-1-ol (2), and 1-(3,4,5-trimethoxyphenyl)-3-cyclopropylprop-2-yn-1-ol (3) were synthesized with yields of 84.1%, 75.1%, and 72.3%, respectively. The general reaction scheme is proposed in Figure 1.



1: R = 3 -CH_3; 4 -OC_4H_9; 2: R = 3 -CH_3; 4 -OCH_3; 3: R = 3, 4, 5 -OCH_3

Figure 1. General reaction scheme for the synthesis of acetylenic alcohols

The alkynylation mechanism of aromatic aldehydes in the presence of the $Zn(OTf)_2/Bu_4NBr/THF$ catalytic system is a complex process occurring under Lewis acid catalysis. It initiates with the formation of an active π-complex between the $Zn(OTf)_2$ catalyst and the triple bond of the cyclopropylacetylene molecule. In this process, tetrabutylammonium bromide (Bu_4NBr) acts as a nucleophilic promoter. The coordination of the bromide ion (Br^-) to the zinc center modulates the electronic state of the metal and enhances the reactivity of the system by forming an active, negatively charged zinc complex. This significantly increases the acidity of the terminal C-H bond of the alkyne. Consequently, the deprotonation of the activated alkyne complex and the subsequent bonding of the zinc atom to the *sp*-hybridized carbon atom lead to the formation of a highly reactive intermediate - cyclopropylethynylzinc triflate. A reaction temperature of 0°C ensures the stability of this organometallic species while directing its nucleophilic attack toward the carbonyl group of the aromatic aldehyde. At this stage, the Zn(II) ion simultaneously coordinates with the carbonyl oxygen, activating the electrophilic center (δ^+) at the carbonyl carbon, which facilitates the nucleophilic addition process with high chemoselectivity. In the final step, the resulting zinc alkoxide intermediate interacts with proton donors in the system to form the target aromatic acetylenic alcohols, concluding the process with the regeneration of the catalytic cycle.

To achieve high yields of aromatic acetylenic alcohols, the key factors influencing the process efficiency - including the nature of the catalyst and solvent, temperature, and reaction duration were systematically analyzed. In the initial stage of the study, the influence of various solvents, such as acetonitrile, diethyl ether, and THF, on the product yield was investigated. The results are summarized in Table 1.

Table 1

Influence of solvent nature on the product yield.
(Temperature 0°C, reaction duration 12 h)

№	Solvent	Temperature (°C)	Time (h)	Yield (%)
1	Acetonitrile	0	12	58,3
2	Diethyl ether	0	12	45,4
3	Tetrahydrofuran	0	12	84,1
4	Dichloromethane	0	12	52,6
5	Toluene	0	12	38,7

Note: The reaction yield is reported for compound 1 (derived from 4-butoxy-3-methylbenzaldehyde).

As illustrated by the data in Table 1, the nature of the solvent exerts a significant influence on the reaction yield. The highest yield (84.1%) was observed when THF was employed as the solvent. The superior efficiency of THF in this catalytic system is attributed to its specific physicochemical properties. Specifically, THF acts as a Lewis base, coordinating with the Zn(II)

catalyst to enhance the stability of the active catalytic complexes. Furthermore, the high solubility and effective solvation of Bu_4NBr and $Zn(OTf)_2$ in THF ensure that the system remains completely homogeneous, which leads to a substantial increase in the kinetic parameters of the process. Additionally, the unique dielectric properties and moderate polarity of THF play a decisive role in effectively solvating the intermediate species - such as zinc acetylides and alkoxides formed during the nucleophilic addition step, thereby maintaining their high reactivity. The significantly lower product yields observed in other solvents investigated in this study can be attributed to their interactions with the catalytic system components and their limited capacity to stabilize intermediate species. Specifically, in an acetonitrile medium, the strong competitive coordination of the nitrile group with the Zn(II) center leads to the suppression of active catalytic sites, thereby hindering the activation of the alkyne molecule.In diethyl ether and toluene media, the poor solubility of the $Zn(OTf)_2$ and Bu_4NBr components results in a heterogeneous environment, which consequently leads to a decrease in the overall kinetic parameters of the reaction. The low solvation energy of solvents such as dichloromethane fails to ensure the thermodynamic stability of the resulting zinc acetylide intermediates. Consequently, decomposition processes observed during the nucleophilic addition stage lead to a significant reduction in product yield. After determining the optimal solvent and temperature conditions for the process, experiments were conducted within a time range of 10 to 14 hours to evaluate the dependence of the acetylenic alcohol yield on the reaction duration. The results obtained are summarized in Table 2.

Table 2

Influence of reaction duration on the product yield (Temperature 0°C, solvent: THF)

№	Solvent	Temperature (°C)	Time (h)	Yield (%)
1	THF	0	10	72.3
2	THF	0	12	84.1
3	THF	0	14	76.4

Note: The reaction yield is reported for compound 1 (derived from 4-butoxy-3-methylbenzaldehyde).

According to the analysis of the experimental results, a reaction duration of 12 hours was determined to be the optimal parameter for achieving maximum catalytic activity and product yield. The lower yield observed at the initial stage (10 h) is attributed to the incomplete catalytic cycle and the insufficient concentration of nucleophilic zinc acetylide intermediates, which limits the conversion degree of the starting substrates. Extending the reaction duration from 12 to 14 hours resulted in a significant decrease in the yield of the target product. This phenomenon is attributed to the thermodynamic instability of the formed acetylenic alcohols and their corresponding metal-alkoxide intermediates within the reaction medium, as well as the formation of secondary by-products. Specifically, due to the high reactivity of the cyclopropylacetylenide fragment, side processes such as oligomerization, dimerization, and trimerization are accelerated. Furthermore, the irreversible coordination of these by-products with the active catalytic sites reduces the overall catalytic efficiency of the system. Therefore, an optimal time regime of 12 hours was selected to maximize the target product yield while minimizing these destructive processes.

Following the optimization of the reaction time, the effect of catalyst loading (5-15 mol%) on the process efficiency was investigated. Increasing the catalyst concentration from 5 mol% to 10 mol% resulted in an enhanced product yield, which is attributed to the increased number of active catalytic sites within the medium. However, further increasing the catalyst amount to 15 mol% did not yield a statistically significant improvement in the product output. On the contrary, at higher catalyst concentrations, an increase in system heterogeneity and the viscosity of the reaction medium was observed. These factors hinder molecular collisions and slow down the diffusion process. The lack of positive statistical changes when increasing the catalyst amount from 10 mol% to 15 mol% is further explained by the complications in mass transfer processes due to increased heterogeneity, as well as the inhibition of catalytic sites by the target product. Consequently, a

decrease in the selectivity of the catalytic system and an acceleration of side reactions were observed. Furthermore, an excess of catalyst not only increases the overall cost of the reaction but also introduces additional technical challenges during the product isolation and purification stages. Therefore, 10 mol% was identified as the optimal catalyst loading, ensuring high selectivity, efficiency, and economic viability.

Table 3

Effect of reaction temperature on product yield

№	Molecular Formula	Temperature, °C	Yield, %
1	$C_{17}H_{22}O_2$	-10	62.0
		0	84.1
		25	74.0
2	$C_{14}H_{16}O_2$	-10	55.4
		0	75.1
		25	66.1
3	$C_{15}H_{18}O_4$	-10	53.3
		0	72.3
		25	63.6

Note: The yield values for compounds 2 and 3 at -10°C and +25°C were calculated based on the general proportional decrease percentages observed in the experimental data.

The effect of the reaction temperature on the product yield was investigated within the range of -10°C to +25°C. According to the experimental results, 0°C was identified as the optimal temperature in terms of both process efficiency and product selectivity. Lowering the temperature to -10°C caused the yield to decrease to 62.0%. This phenomenon can be explained by the insufficient kinetic energy of the system to overcome the activation energy barrier, which results in a sharp reduction in the formation rate of zinc acetylide intermediates.

Conversely, increasing the temperature to +25°C led to a decrease in the yield to 74.0%. In this case, the decomposition of the intermediate complexes is determined by thermal factors rather than the reaction duration. Under high-temperature conditions, the thermal stability of the metal-alkoxide complexes decreases, the selectivity of the catalyst toward the substrate is weakened, and the propensity of the cyclopropylacetylene fragment for side chemical transformations increases.

Under the identified optimal conditions, the target aromatic acetylenic alcohols were synthesized in good yields. The chemical structures of the synthesized compounds were confirmed using modern physicochemical analytical techniques, including FT-IR, ^{1}H, and ^{13}C NMR spectroscopy.

1-(4-Butoxy-3-methylphenyl)-3-cyclopropylprop-2-yn-1-ol (1). Pale yellow liquid. Yield: 84.1%. R_f=0.41 (hexane : ethyl acetate, 4:1). ^{1}H NMR (400 MHz, $CDCl_3$): δ 7.25-7.18 (m, 2H, Ar-H), 6.78 (d, J=8.2 Hz, 1H, Ar-H), 5.38 (s, 1H, Ar-CH-O), 4.01 (t, J=6.5 Hz, 2H, -OCH_2), 2.23 (s, 3H, Ar-CH_3), 1.84-1.75 (m, 2H, -CH_2), 1.56-1.45 (m, 2H, -CH_2), 1.35-1.28 (m, 1H, CH-cyclopropyl), 1.02 (t, J=7.4 Hz, 3H, CH_3), 0.85-0.78 (m, 2H, CH_2-cyclopropyl), 0.75-0.68 (m, 2H, CH_2-cyclopropyl). FT-IR (KBr, ν, cm^{-1}): 3390 (OH), 2225 (C≡C).

3-Cyclopropyl-1-(4-methoxy-3-methylphenyl)prop-2-yn-1-ol (2). Pale yellow liquid. Yield: 75.1%. R_f=0.45 (hexane : ethyl acetate, 4:1). ^{1}H NMR (400 MHz, $CDCl_3$): δ 7.32-7.24 (m, 2H, Ar-H), 6.80 (d, J=7.5 Hz, 1H, Ar-H), 5.39 (d, J = 6.0 Hz, 1H, Ar-CH-O), 3.87 (s, 3H, OCH_3), 2.19 (s, 3H, Ar-CH_3), 1.32-1.24 (m, 1H, CH-cyclopropyl), 0.84-0.76 (m, 2H, CH_2-cyclopropyl), 0.75-0.67 (m, 2H, CH_2-cyclopropyl).

1-(3,4,5-Trimethoxyphenyl)-3-cyclopropylprop-2-yn-1-ol (3). Pale yellow liquid. Yield: 72.3. R_f=0.37 (hexane : ethyl acetate, 2:1).^{1}H NMR (400 MHz, $CDCl_3$): δ 6.68 (s, 2H, Ar-H), 5.39 (d, J=5.8 Hz, 1H, Ar-CH-O), 4.12 (s, 1H, OH), 3.87 (s, 6H, 2×OCH_3), 3.83 (s, 3H, OCH_3), 1.33-1.24 (m, 1H, CH-cyclopropyl), 0.84-0.75 (m, 2H, CH_2-cyclopropyl), 0.74-0.69 (m, 2H, CH_2-cyclopropyl). FT-IR (KBr, ν, cm^{-1}): 3400 (OH), 2228 (C≡C).

4. Conclusion

In this study, a highly chemoselective alkynylation of aromatic aldehydes with cyclopropylacetylene was successfully performed using the $Zn(OTf)_2/Bu_4NBr/THF$ catalytic system. Under the optimized reaction conditions, three novel aromatic acetylenic alcohols were synthesized with yields ranging from 72.3% to 84.1%. It was established that the high reactivity and efficiency of the process are primarily driven by the homogeneity of the catalytic system in a THF medium and the effective solvation of the zinc-acetylide intermediates, which ensures their thermodynamic stability. The chemical structures and purity of the synthesized acetylenic alcohols were rigorously confirmed using FT-IR, ^1H, and ^{13}C NMR spectroscopy. These findings demonstrate the potential of the Zn(II)-based catalytic system for the efficient synthesis of functionalized cyclopropyl-containing building blocks.

References

[1]. Rodrigo Abonia, Daniel Insuasty, Kenneth K. Laali Recent Advances in the Synthesis of Propargyl Derivatives, and Their Application as Synthetic Intermediates and Building Blocks // Molecules, 2023, Volume 28, pp. 3379-3340.

[2]. Fandrick D.R., Fandrick K.R., Reeves J.T., Tan Z., Tang W., Capacci A.G., Rodriguez S., Song J.J., Lee H., Yee N.K. Copper catalyzed asymmetric propargylation of aldehydes // Journal American Chemical Society, 2010, Volume 132, pp. 7600-7621.

[3]. Parmanov A.B. et. al. Catalytic reaction with benzoic acid phenylacetylene in the presence of complex catalysts // Asian journal of chemical sciences. 2023. Volume 13. №. 3, pp. 35-40.

[4]. Gupta Rajkumar Tak, Mohd Nazish, Ajay Jakhar, Noor-ul H. Khan, Rukhsana I. Kureshy Copper (II) Triflate Catalyzed Regioselective and Enantioselective Propargylation of Isatin Derivatives by Using Allenylboronic Acid Pinacol Ester Naveen // European Journal of Organic Chemistry, 2018, Volume 18, Issue 12, pp. 1384-1392.

[5]. Kohn B. L., Ichiishi N., Jarvo E. R. Silver-Catalyzed Allenylation and Enantioselective Propargylation Reactions of Ketones // Angewandte Chemie International Edition, 2013, Volume 52, Issue 16, pp. 4414-4417.

[6]. Rodrigo Abonia, Daniel Insuasty, Kenneth K. Laali Recent Advances in the Synthesis of Propargyl Derivatives, and Their Application as Synthetic Intermediates and Building Blocks // Molecules, 2023, Volume 28, pp. 3379-3440.

[7]. Yanagisawa A., Bamba, K., Kawada A. Asymmetric Addition of Propargylic Silanes to Aldehydes Catalyzed by Chiral Phosphine-Silver Alkoxide Complex // Chemistry Select, 2018, Volume 3, Issue 48, pp. 13777-13781.

[8]. Yanagisawa A., Yang N., Bamba, K. Asymmetric Allylation of Carbonyl Compounds Catalyzed by a Chiral Phosphine-Silver Complex // European Journal of Organic Chemistry, 2017, Volume 45, pp. 6614-6618.

[9]. Calogero F., Gualandi A., Matteo M.D., Potenti S., Fermi A., Bergamini G., Cozzi P.G. Photoredox Propargylation of Aldehydes Catalytic in Titanium // The Journal of Organic Chemistry, 2021, Volume 86, Issue 9, pp. 7002-7009.

[10]. Gualandi A., Calogero F., Mazzarini M., Guazzi S., Fermi A., Bergamini G., Cozzi P.G. Cp_2TiCl_2-Catalyzed Photoredox Allylation of Aldehydes with Visible Light // ACS Catalysis, 2020, Volume 10, Issue 6, pp. 3857-3863.

UDC 631.8:661.525:66.094.3

MODIFIED AMMONIUM NITRATE WITH VERMICULITE ADDITIVE

[1]Jabbarbergenov M.J., [1]Madenov B.D., [2]Kaxarov E.M., [3]Mamataliev A.A.,[3]Namazov Sh.S.

[1]Karakalpak State University named after Berdakh
[2]Fergana State Technical University, Uzbekistan
[3]Institute of General and Inorganic Chemistry of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

(Received on April 16 th, 2026)

Abstract. *To improve the agrochemical and commercial properties of ammonium nitrate (AN), vermiculite mineral (VM) from the Tebinbulak deposit was used as a modifying additive. VM was added to the AN melt at mass ratios of AN : VM = 100 : 5 to 100 : 45. The resulting vermiculite-nitrate melts were granulated using the prilling method. The chemical composition, granule dissolution rate, diesel fuel absorption capacity, and crystallization temperature of non-caking AN samples with vermiculite addition were determined.*

Keywords: *Ammonium nitrate, mineral vermiculite, vermiculite-nitrate melt, composition, crystallization temperature and rate of dissolution of granules in water.*

Introduction. Nitrogen fertilizers play a crucial role in obtaining high and high-quality yields of agricultural crops. Among nitrogen fertilizers, granular forms such as urea and ammonium nitrate (AN) are widely used. Among them, AN occupies a leading position due to its high agrochemical efficiency. This is attributed to its economic feasibility, relatively low cost, absence of ballast components, and high concentration of nutrients [1, 2]. In addition, the presence of nitrogen in AN in both ammonium (NH_4^+) and nitrate (NO_3^-) forms, in a physiologically balanced ratio, significantly enhances the efficiency of nutrient uptake by plants.

However, a number of drawbacks limit the widespread application of AN. In particular, its physiological acidity can adversely affect the soil environment, while its high hygroscopicity leads to intensive moisture absorption by the granules. As a result, AN granules packed in polyethylene bags tend to agglomerate, forming a monolithic mass.

In addition, one of its most serious disadvantages is its explosive potential [3, 4]. As a strong oxidizing agent, AN can support combustion under the influence of external factors such as mechanical impact, elevated temperature, or interaction with organic substances, and in certain cases may pose a risk of explosion. One of the effective approaches to improving the physicochemical and consumer properties of AN granules is the introduction of modifying additives into its concentrated solution or melt.

The technology for AN production is characterized as a large-scale, continuous process. The annual production volume in the Republic is approximately 1.75 million tons.

In order to enhance the competitiveness of manufactured products, expand logistics capabilities, and enter new market segments, it is necessary to develop a range of complex nitrogen fertilizers based on AN with improved agrochemical efficiency and physicomechanical properties, while maintaining economic feasibility. In this regard, at the present stage, the modernization of AN production processes aimed at solving priority scientific and technical challenges in the chemical industry has become particularly important. This includes the introduction of next-generation modifying additives and the development of resource-efficient technologies. In this context, modernization of the AN-72M technological scheme represents an important scientific and practical task, focused on identifying and selecting alternative modifying additives that improve the consumer properties of AN granules and ensure safety during production, storage, and transportation.

Among natural minerals, bentonite, glauconite, serpentinite, mirabilite, and phosphorite are considered promising additives. However, vermiculite – a mineral containing silicon compounds-remains insufficiently studied despite its high potential. Therefore, the modification of AN with vermiculite (VM) and the investigation of its properties are considered highly relevant [5-7].

It should be noted that in several European countries, vermiculite-particularly thermally treated VM-is widely used to improve soil fertility and to obtain high-quality yields of agricultural crops cultivated in greenhouses. VM mainly consists of magnesium-aluminum, magnesium-iron, and aluminum silicates. Structurally, it is a layered mineral belonging to the group of hydromicas, which are secondary alteration products of biotite and phlogopite micas. VM is formed as a result of their decomposition and hydrolysis processes. Its chemical formula is as follows: (Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}) $[(Si\ A1)_4O_{10}]$ $[OH]_2 \cdot 4H_2O$. In nature, vermiculite occurs in a free state as golden-yellow and brown minerals. When calcined at temperatures of 600-1200ºC, it expands and its volume increases by 8-12 times [8-10]. As a result, it becomes a lightweight material with a significantly increased volume. In this expanded form, VM appears as silver or golden-colored particles. Calcined VM is odorless and non-toxic to all living organisms. In Uzbekistan, large reserves of vermiculite are located in the Tebinbulak deposit, situated in the Karauzek district near Nukus city of the Republic of Karakalpakstan, approximately 16 km northwest of Karatau village. The total reserves amount to 1,332,620 tons.

In order to improve the commercial properties of AN, we investigated the preparation, composition, and selected properties of complex nitrogen fertilizers obtained by introducing finely ground vermiculite (particle size ~0.25 mm) into the AN melt at AN : VM mass ratios of 100 : (5-45) [10-11].

2. Materials and Methods. The experiments were carried out under laboratory conditions as follows. Initially, a weighed portion of AN was placed in a stainless-steel beaker and melted at 170ºC using an electric hot plate. Subsequently, vermiculite – VM powder was added to the melt at AN : VM mass ratios ranging from 100 : (5-45). The resulting vermiculite-nitrate melt was then stirred with a glass rod for 10 minutes at 170-185ºC and transferred into a 3 L granulator equipped with bottom orifices of 1.2 mm diameter. In a tower-like granulation process, pressure was applied to the upper part of the granulator using a manual pump, causing the melt to be sprayed downward from the height of the 10th floor of the building. The dispersed vermiculite-nitrate melt solidified under the influence of cold air and was collected in the form of granules on a polyethylene film spread over the floor at the ground level (first floor) of the building. The chemical composition and selected properties of the obtained product were determined using standard analytical methods. The results are presented in Tables 1 and 2, and Figures 1 and 2.

3. Results and Discussion

With an increase in the amount of VM added to the AN melt, the total nitrogen content in the modified nitrogen fertilizer decreased from 32.74% to 23.08%.

Table 1

Chemical Composition of Complex Nitrogen Fertilizers Obtained from Ammonium Nitrate Melt and Vermiculite Mineral

AN : VM	Component Content, %						
	N	K_2O	CaO	MgO	Na_2O	Fe_2O_3	Al_2O_3
100 : 5	32.74	0.257	0.816	0.499	0.109	1.358	1.243
100 : 7	32.19	0.362	1.104	0.550	0.148	1.897	1.581
100 : 10	31.35	0.498	1.330	0.648	0.207	2.090	1.918
100 : 15	29.72	0.685	2.274	0.896	0.295	3.506	2.396
100 : 20	28.56	0.924	2.536	0.975	0.382	3.779	2.647
100 : 25	27.48	1.109	3.148	1.049	0.476	4.365	2.985
100 : 30	26.05	1.283	3.674	1.120	0.548	4.983	3.046
100 : 35	25.17	1.435	4.285	1.271	0.615	5.727	3.087
100 : 40	24.64	1.592	4.723	1.345	0.673	6.365	3.105
100 : 45	23.08	1.706	4.897	1.502	0.739	6.763	3.130

Table 2

Dissolution Rate in Water of Complex Nitrogen Fertilizers Obtained from Ammonium Nitrate Melt and Vermiculite Mineral

AN : VM	Complete Dissolution Time of a Granule in Water, sec.					Average Value, sec.
	1	2	3	4	5	
100 : 5	73,32	78,61	82,54	91,52	98,18	84,83
100 : 7	75,23	80,72	85,64	92,19	99,19	86,59
100 : 10	81,10	85,35	88,91	93,57	100,20	89,82
100 : 15	86,97	89,98	92,18	94,95	101,22	93,06
100 : 20	92,85	93,61	94,47	95,86	102,31	96,31
100 : 25	93,46	94,57	95,56	96,74	102,67	96,63
100 : 30	94,38	95,76	96,34	97,90	103,25	97,52
100 : 35	95,92	96,90	97,20	99,45	106,03	99,10
100 : 40	98,35	103,93	109,02	112,57	115,06	107,78
100 : 45	100,78	110,36	120,85	125,70	130,10	117,55

At the same time, the contents of essential plant nutrients potassium, calcium, magnesium, and sodium increased from 0.257% to 1.706%, from 0.816% to 4.897%, from 0.499% to 1.502%, and from 0.109% to 0.739%, respectively (Table 1).

As the mass fraction of VM added to 100 g of AN melt increased from 5 to 45 g, the complete dissolution time of fertilizer granules in water increased from 84.83 to 117.55 s (Table 2).

Thus, it was established that AN granules containing VM dissolve significantly more slowly (almost three times slower) than AN granules modified with magnesite.

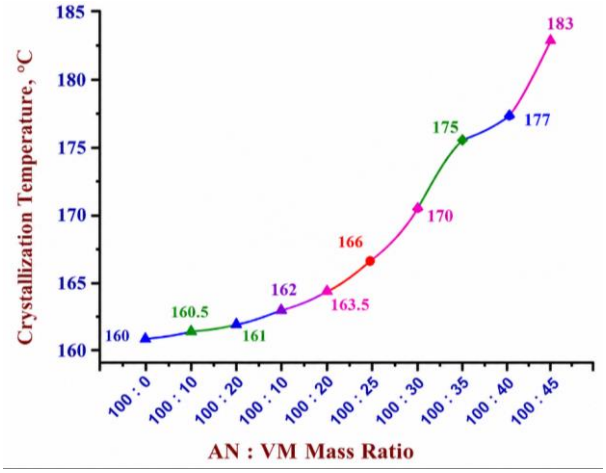


Figure 1. Crystallization Temperature of Vermiculite-Nitrate Melts.

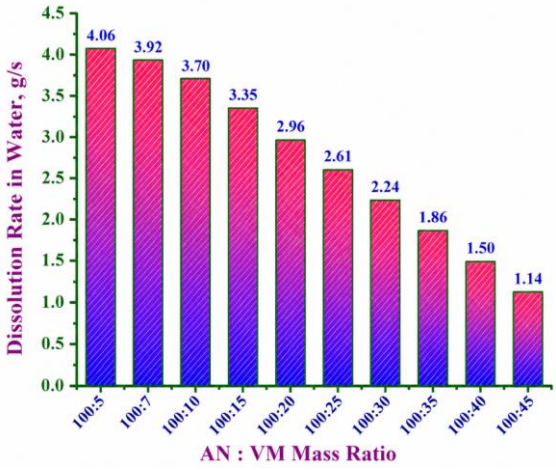


Figure 2. Dissolution Rate in Water of Non-Caking Ammonium Nitrate Samples Containing Vermiculite

The presence of VM in AN ensures a gradual and controlled release of nitrogen from the granules. In addition, the diesel fuel absorption capacity decreased from 4.06 to 1.14 g (Figure 1). It is known that the lower the diesel fuel absorption capacity of AN-based fertilizers, the lower their explosive hazard. Furthermore, the crystallization temperature of the vermiculite–nitrate melt increased from 160 to 183ºC (Figure 2). In contrast, the crystallization temperature of traditional magnesite-modified AN melt decreases. Therefore, the granulation of VM-nitrate melts requires less energy compared to conventional magnesite-modified AN melts.

4. Conclusion

Under laboratory conditions, it is possible to obtain modified ammonium nitrate samples based on AN melt and vermiculite. The prepared vermiculite additives were found to improve not only the commercial properties but also the agrochemical characteristics of AN granules. Compared with conventional magnesite-modified AN granules (4.33 g), VM-modified AN granules (4.06-1.14 g) exhibit 1.08 to 3.80 times lower diesel fuel absorption, which indicates a significant reduction in their inherent explosive hazard. Moreover, the obtained complex nitrogen fertilizers provide a gradual and sustained nutrient release, enabling their effective application for agricultural crops grown on various soil types.

References

[1]. Usmanov K.P. Modification of ammonium nitrate with inorganic silicon-containing compounds. Dissertation work Moscow. – 2013. – P. 5.

[2]. Technology of mineral fertilizers and salts // K. Gafurov, I. Shamshidinov. Tashkent. – 2007. – 351 p.

[3]. Volkova AV Mineral fertilizers market - 2019 // National Research University Higher School of Economics Development Center. – 2019. – 52 p.

[4]. Chernyshov A.K., Levin B.V., Tugolukov A.V., Ogarkov A.A., Ilyin V.A. Ammonium nitrate: properties, production, application // Moscow. ZAO INFOHIM. – 2009. – 544 p.

[5]. Bozorov I.I. – Technology for producing AS fertilizers based on ammonium nitrate fusion, natural gypsum, and phosphogypsum. Dissertation work Denau – 2024. – P. 5.

[6]. Industrial Specialties News, Normiska to buy VIL Vermiculite: Industrial Specialties News. – 2000. – V. 14. – No. 1. – P. 3.

[7]. Murtazaev K.M. Increasing the degree of fire resistance and thermal insulation properties of building structures based on local raw materials // Monograph. Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Uzbekistan, TSTU. – Tashkent, 2021. - P. 130. http://vekha.ru/vermikulit-v-promyshlennosti.

[8]. Vaxidov B.R., Aripov A.R., Sayfullaev F.I. development of a technology for yenrichment of vermiculite ore of the karauzyak deposit. digital technologies in industry ID 37094 Volume 1, December 2023 – 33 p.

[9]. Zhabbarbergenov M.Zh., Mamataliev A.A., Namazov Sh.S. Modified ammonium nitrate based on the addition of Karakalpak vermiculite collection of materials of the International scientific and practical conference “Dosmukhamedov Readings – 2025: Modern innovations and artificial intelligence in the development of science and education” dedicated to the 85th anniversary of Atyrau University named after Khalel Dosmukhamedov pp. 195-196.

[10]. Jabbarbergenov M.J., Madenov B.D., Mamataliev A.A., Namazov Sh.S. Composition, Structure and Properties of Vermiculite from the Tebinbulok Deposit in Karakalpakstan, Uzbekistan. Chemical Science International Journal Volume 34, Issue 3, Page 99-106 2025 Article no. CSIJ.137576 ISSN: 2456-706X DOI: https://doi.org/10.9734/CSJI/2025/v34i3971.

URUG‘LIK CHIGITNI TUKSIZLANTIRISH TEXNIKA VA TEXNOLOGIYALARI BO‘YICHA ILMIY TADQIQOTLAR TAHLILI

M.G. Aloydinov

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Abstract. *This article presents an analysis of scientific research on the techniques and technologies used for delinting cottonseed. The quality of seed cotton fund and the efficiency of the delinting process directly affect future crop yield, which makes the improvement of cottonseed preparation technology an urgent task for the cotton industry of Uzbekistan. The physical and mechanical properties of cottonseed, including its shape, size, hardness, fiber density and friction coefficient, significantly influence the operating modes and adjustable parameters of delinting machines. The paper reviews the working principles of mechanical delinters, the formation and density of the seed layer in the working chamber, and the interaction between the working organs and the seed mass under different filling conditions. Based on the analysis of previous theoretical and experimental studies, it is shown that the density of the cottonseed layer in the working chamber, usually ranging between 175 and 550 kg/m³, has a decisive effect on delinting efficiency, seed damage and energy consumption. The review reveals that most of the currently used delinting machines rely on free-fall feeding of cottonseed through a shaft, which results in uneven layer density, frequent jamming and the need for constant manual control by the operator. Consequently, the development of a feeding-dosing device capable of ensuring a stable and uniform supply of cottonseed into the working chamber is identified as a key direction for improving delinting efficiency, reducing seed damage and energy consumption, and enhancing the quality of the resulting fiber (linters).*

Keywords: *cottonseed, delinting, ginning, working chamber, seed layer density, working organs, fiber removal, feeding-dosing device, energy consumption, seed damage.*

O‘zbekiston Respublikasi iqtisodiyotini barqaror rivojlantirish va qishloq xo‘jaligi salohiyatini oshirishda paxtachilik muhim o‘rin tutadi. Shuning uchun paxta mahsulotlarining miqdori va sifati yuqori bo‘lishi, paxta yetishtirish jarayonlarida esa samaradorlik ta'minlanishi zarur. Bu borada paxta urug‘chiligi va tayyorlanayotgan urug‘lik chigit fondining sifati alohida ahamiyatga ega, chunki urug‘ sifatining past bo‘lishi kelgusi hosildorlikka bevosita ta'sir ko‘rsatadi.

Hozirgi kunda O‘zbekistonda paxta ekish uchun asosan tukli va tuksizlantirilgan urug‘lik chigitlar qo‘llanilmoqda. Ushbu urug‘larning sifat ko‘rsatkichlari O’zDst 663:2017 “Urug‘lik chigit. Texnik shartlar” standarti talablariga mos bo‘lishi shart. Mazkur standart urug‘lik chigitning tozaligi, namligi, tukdorlik darajasi va boshqa asosiy ko‘rsatkichlar bo‘yicha belgilangan talablarni o‘z ichiga oladi.

Urug‘lik chigit tayyorlash texnologiyasini takomillashtirish ishlari birinchi navbatda urug‘ sifati va texnologik liniyalarning ish unumdorligini oshirishga qaratilgan bo‘lishi kerak. Chunki amaldagi uskunalarda ish jarayoni to‘liq barqaror emas, chigitning shikastlanishi va tukdorlik darajasini me'yorga keltirishda muammolar kuzatiladi.

Ma’lumki, urug‘lik chigitning fizik-mexanik xususiyatlari, jumladan shakli, o‘lchamlari, qattiqligi, tukliligi, ishqalanish koeffisienti va boshqa ko‘rsatkichlar tuksizlantirish mashinalarining ish rejimi va rostlanadigan parametrlariga sezilarli ta'sir ko‘rsatadi. Shuning uchun har bir nav va holatdagi chigit uchun ishchi organlar va texnologik rejimlarni to‘g‘ri tanlash muhim hisoblanadi.

D.Ye. Xarmas o‘zining nazariy va tajribaviy tadqiqotlari asosida chigit yadrosiga zarar yetkazmaydigan holda arra tishi shaklidagi ishchi jism ta'sirida hosil bo‘ladigan kuch miqdorini aniqlagan. Unga ko‘ra, yo‘l qo‘yiladigan ta'sir kuchi 0,256–1,28 N oralig‘ida bo‘ladi.

Jinlash va linterlash jarayonlarida chigit yuzasidagi tolalar ajratilib borishi natijasida qoladigan tolalar uzunligi ham qisqaradi. Tadqiqotlar natijasiga ko‘ra, jinlangan chigitlarda qoladigan tola uzunligi o‘rtacha 5,3 mm, linterlangan chigitlarda esa 4,5 mm ni tashkil etadi [29]. Demak, tola uzunligi qisqargan sari uni mexanik usulda ajratib olish qiyinlashib boradi.

Qoldiq tukdorlik kamayganida chigit yuzasidagi tolalar kaltalasha boradi. Bu holatda kalta tolalarni mexanik usulda qirib olish jarayoni ancha murakkablashadi. Natijada chigitning mexanik shikastlanishi ortishi, kalta momiqning iflosligi ko‘payishi va energiya sarfining o‘sishi kuzatiladi.

V.N. Gerasimchuk ta'kidlaganidek, ajratib olingan momiqni ishchi zonadan to‘g‘ridan-to‘g‘ri ishchi organ orqali so‘rib olib chiqish uning sifatini saqlab qoladi. Agar momiq chigit to‘dasi orasidan ajratib olinadigan bo‘lsa, uning ifloslanish darajasi oshib ketadi hamda tola uzunligi kamayadi.

Tuksizlantirilgan chigit tayyorlashning mexanik usulini yanada takomillashtirish uchun ishchi kamera shaklini chuqur tahlil qilish, ochiq kamerali konstruksiyalarni yopiq kamerali tizimlarga almashtirish imkoniyatlarini o‘rganish hamda ishchi zonada turli aralashtirish zonalarini tashkil qilish samaradorligini baholash zarur. Shuningdek, chigitning tukliligi, o‘lchami, shakli, tolaning urug‘ qobig‘iga birikish mustahkamligi va tolaning yadro atrofida joylashish xususiyatlarini hisobga olgan holda mashinaning ish rejimlarini to‘g‘ri tanlash bo‘yicha tadqiqotlar talab etiladi.

Chigit yuzasidan momiqni ajratishda qavariq ishchi sirtlardan foydalanish g‘oyasi ko‘plab tadqiqotchilarning e'tiborini tortgan. Bunday ishchi sirtlar chigitlarni bir vaqtning o‘zida keng yuzada qayta ishlash imkonini beradi, ishchi organ bilan chigitning kontakt yuzasi kattalashadi va kamerani chigit bilan to‘ldirish imkoniyatlari kengayadi.

Ishlab chiqarishdan ko‘rinadiki, tuksizlantirish jarayonining samaradorligi asosan ishchi sirtlarning holati va ishchi kameradagi chigit qatlamining zichligiga bog‘liq. Agar ishchi kamera chigit bilan yaxshi to‘ldirilgan bo‘lsa, qavariq ishchi organlar bilan chigit qatlami o‘rtasidagi o‘zaro ta'sir kuchayadi.

Tukli chigitlarni boshqa chigitlar massasi hisobidan ishchi sirtga bosib turish usuli bir qator afzalliklarga ega. Birinchidan, chigit qatlami elastik bo‘lib, chigitning butunligini saqlashga yordam beradi. Ikkinchidan, chigit ishchi yuza bilan o‘ralgan holda boshqa chigitlar orasida harakatlanganda qarshilik kuchlari tez oshib boradi. Natijada tangensial $F\tau$ kuchi hosil bo‘ladi va chigitning tormozlanishi yuzaga keladi.

Biroq faqat zichlanishning o‘zi yetarli emas. Tuksizlantirish jarayoni uchun chigitning ishchi yuza bo‘ylab nisbiy harakati ham ta'minlanishi shart. Agar chigit harakatlanmasa, momiqni ajratish jarayoni sust kechadi yoki umuman samara bermaydi.

Ma’lumki, chigitlar baraban va tashqi qobiq sirtlariga yopishib qolishi mumkin. Shu sababli qo‘zg‘almas barabanli kameraga chigit kirishi qiyinlashadi. Baraban aylanganda esa ta'minlagichdan tushgan chigitlar ishchi elementlar tomonidan ushlanadi va tashlab yuboriladi, natijada yuqori qatlam bosimi ta'sirida chigitlar tartibsiz harakatlanib ishchi kamerani to‘ldiradi. Ko‘plab konstruksiyalarda baraban uzunligi bo‘ylab chigitlarning majburiy harakatlanishini ta'minlash bo‘yicha yechimlar taklif qilingan.

Hozirgi vaqtda qo‘llanilayotgan mexanik tuksizlantirish mashinalarining deyarli barchasi ichki qismida gorizontal joylashgan silindrsimon barabanga ega bo‘lib, unda faol ishchi elementlar mavjud. Baraban tashqi qobiq bilan o‘ralgan bo‘ladi va ba'zi konstruksiyalarda qobiqda ham faol elementlar bo‘lishi mumkin. Chigitlar odatda kameraga yuqori qismdan kiritilib, pastki qismdan chiqariladi.

Ishchi kameradagi chigit qatlamining zichligi ta'minlagichning joylashuvi, shakli va maxsus rostlovchi moslamalar orqali boshqariladi. Umuman olganda ishchi kamerada ikki xil cheklovchi holat kuzatilishi mumkin.

Birinchi holatda chigitlar kamerada kam bo‘ladi va ular o‘zaro zich bog‘lanmagan bo‘ladi. Baraban aylanganda chigitlar qisqa vaqt ichida ishchi sirtga tortiladi, keyin to‘rga tashlanadi va yana pastga tushishi mumkin. Bu holatda ishchi organlar bilan o‘zaro ta'sir mavjud bo‘lishiga qaramay, tuksizlantirish samaradorligi past bo‘ladi. Chigit shikastlanishi ehtimoli ortib, tola ajralishi yetarli darajada ta'minlanmaydi.

Ikkinchi holatda esa ishchi kameraga maksimal miqdorda chigit majburiy ravishda kiritiladi. Natijada chigit qatlami qattiq zichlashib ketadi, urug‘ qobig‘i va yadrosi deformasiyalanadi, chigitlar

bir-biriga hamda ishchi yuzalarga qattiq yopishadi. Barabanning aylanishi og‘irlashadi, kamerada tiqilishlar yuzaga kelib, mashina to‘xtab qolishi mumkin.

Odatda chigitlar ishchi organlar bilan faol o‘zaro ta'sirga kameraning taxminan uchdan bir qismi to‘lgandan keyin kirishadi va shu vaqtdan momiq ajralishi boshlanadi. Ish jarayonida chigit qatlami shakllanadi.

Ishchi yuzalar orasidagi masofa chigit o‘lchamidan ancha katta bo‘lganda va nisbiy tezlik past bo‘lsa, chigitlar asosan laminar harakat qiladi. Bunda chigitlar baraban sirtida ishqalanib, to‘rda stasionar qatlam hosil qiladi. Qatlam ichida chigitlarning o‘zaro harakati mavjud bo‘lsa ham, ishqalanish hisobiga qizish kuchayadi va tuksizlantirish samarasi pasayadi.

Ma'lum bir tezlikdan yuqori sharoitda esa chigitlarning tartibsiz harakati boshlanib, turbulent oqimlar paydo bo‘ladi. Chigitlar bir-biriga nisbatan ham, ishchi sirtlarga nisbatan ham faol harakat qiladi. Bu holatda tolani qirish va urug‘ qobig‘ini qayta ishlash jarayoni kuchayadi, tuksizlantirish jadallashadi.

Agar ishchi yuzalar orasidagi masofa chigit diametridan ikki barobardan kam bo‘lsa, chigitlar navbat bilan bir ishchi yuzaga yoki ikkinchisiga tegib harakat qiladi. Bu holatda momiq ajralishi tezlashadi, ammo ishchi elementlarning qattiqligi sababli chigitning shikastlanishi keskin ortadi.

Shuning uchun ishchi oraliqni 2-3 barobarga oshirish orqali ma'lum zichlikda elastik chigit qatlamini shakllantirish mumkin bo‘ladi. Bu esa chigitlarni qayta ishlashda ularning butunligini saqlashga hizmat qiladi.

Laboratoriya tajribalarida chigit qatlamining zichligi odatda chigitning tabiiy hajmiy zichligidan 0,3 dan 3,0 barobargacha o‘zgarishi kuzatilgan. Shu bilan birga, ta'minlash tizimi ta’sirida chigit kameradan o‘tayotgani va momiq chiqarib olinayotgani sababli chigit massasi kamayadi, qatlamning elastikligi yo‘qoladi va zichlik pasaya boshlaydi. Bu esa mashinaning barqaror ishlash sharoitini buzadi.

Ishchi kameraning chigit bilan to‘ldirilishi uning shakli, ta'minlagich konstruksiyasi va barabanga nisbatan o‘rnatilish holatiga bog‘liq. Masalan, LB mashinasida ta'minlagich shaxtasi chiqishi barabanning pastga qaragan qismiga nisbatan yuqorida joylashgan. Shaxtadan tushgan chigitlar baraban sirti tomonidan ushlanib ishchi oraliqqa tortiladi. Biroq ishchi oraliq yuqoridan pastga tomon keskin torayib ketgani uchun chigit qatlami pastga qarab siqiladi va chigitlarning uzluksiz tushishida tiqilish ehtimoli paydo bo‘ladi.

Shu sababli ochiq ishchi kamerali mashinalarda ta'minlanishni operator doimiy nazorat qilib borishi kerak bo‘ladi. Amalda bu baraban yuklanishiga qarab tok kuchini o‘lchash (ampermetr ko‘rsatkichi) orqali amalga oshiriladi. Yopiq ishchi kameraga ega bir barabanli stendlarda va ikki barabanli mashinalarda esa chigitlar ishchi elementlar tomonidan ushlanib harakatlanishi hisobiga zarur zichlikdagi qatlamni hosil qilish mumkin. Lekin bunda ta'minlovchi shaxta chigit bilan doimiy to‘lib turishi talab etiladi.

Abdurashidov G.A. va Zokirov T. lar laboratoriya stendida o‘tkazgan tadqiqotlari natijasida chigit qatlamining o‘rtacha zichligi 175–200 kg/m³ ekanligini aniqlagan. Bu ko‘rsatkich sochilgan chigit zichligiga nisbatan (320–400 kg/m³) ancha past ekani qayd etilgan.

Bir kamerali laboratoriya uskunasida chigit qatlamining o‘rtacha zichligi 500–550 kg/m³ gacha yetkazilgan. Bunday yuqori zichlikni ta’minlash uchun 10% tukdorlikka ega chigitlarga 40 kPa/m² dan ortiq solishtirma bosim talab qilinishi aniqlangan. Amalda bunday yuqori zichlikka asosan to‘liq tuksizlantirilgan chigitlar erisha oladi.

Chigit qatlamining optimal zichligi delinter konstruksiyasiga, chigitning boshlang‘ich va yakuniy tukdorligiga, chigitning seleksiya yoki sanoat naviga hamda mahsulot sifatiga qo‘yiladigan talablarga bog‘liq. Shu bilan birga, mashinaning ish unumdorligi va energiya sarfi ham qatlam zichligi bilan bevosita bog‘langan bo‘lib, ba'zi sharoitlarda mashina zich qatlamda ishlashga moslashtirilishi mumkin.

Arra silindri va to‘r orasidagi ishchi bo‘shliqda chigit harakatini vizual, stroboskopik va fotografik kuzatishlar shuni ko‘rsatganki, pastki va yon sohalarda chigitlarning bir qismi silindr yuzasiga yopishgan holda qatlam hosil qiladi. Yuqori qismda esa chigitlar tortishish ta'sirida silindr yuzasiga tushadi, yuqori tezlikda harakatlanib undan ajralib chiqadi va to‘rga ma'lum burchak ostida uriladi. Shu jarayonda chigit oqimi to‘rdan aks etib yana silindrga yoki silindr va to‘r oralig‘iga qayta tushadi.

Qatlamda chigitlarning radial harakati asosan tortishish kuchi hamda baraban aylanishi natijasida hosil bo‘ladigan markazdan qochma va ishqalanish kuchlari ta'sirida yuzaga keladi. O‘q

bo‘ylab harakat esa ayrim mashinalarda (masalan 4SOM va OS turida) ish joyiga kirish va chiqishda chigit qatlami zichligining farqlanishi hisobiga yoki maxsus yo‘naltiruvchi elementlar yordamida ta'minlanishi mumkin.

Hisob-kitoblar va tajribalar natijasi shuni ko‘rsatdiki, barcha sharoitlar bir xil bo‘lgan holda chigit qatlamining zichligi 200 kg/m³ dan 500 kg/m³ gacha o‘zgarganda momiq ajratish samaradorligi keskin o‘zgarmaydi. Bu holat shu bilan izohlanadiki, ushbu diapazonda chigitlar ishchi organlar bilan yetarli darajada o‘zaro ta'sirga kiradi va tolani qirish jarayoni barqaror davom etadi. Shu sababli 4SOM va OS turidagi delinterlarda chigit qatlamining zichligi alohida rostlanmaydi.

Ishchi kamerani chigit bilan to‘ldirish jarayoni esa asosan ta'minlagichning chigit uzatish usuliga bog‘liq bo‘ladi. Ta'minlash kamera bo‘ylab butun uzunlikda amalga oshirilishi mumkin yoki mashinaning ma’lum qismi orqali frontal tarzda tashkil etiladi. Chigitlarning ishchi kameraga tushishi ba’zi hollarda o‘z og‘irligi hisobiga amalga oshsa, ayrim konstruksiyalarda maxsus mexanizmlar yordamida rostlab boriladi.

Ishchi kamera orqali chigitlarning uzatilishi va u yerda ma'lum zich qatlam hosil bo‘lishi tuksizlantirish jarayonining asosiy sharti hisoblanadi. Shu bilan birga, ayrim hollarda ishchi zonada chigitlar ikki qator bo‘lib joylashib qolishi mumkin, bu esa momiqni ajratish jarayonini ma'lum darajada jadallashtiradi. Ammo ish jarayonida metall cho‘tkali barabanlarda cho‘tkalarning yeyilishi ishchi yuzaning kengayishiga sabab bo‘ladi, natijada ishlov berish vaqti uzayadi, chigitlarning qizishi ortib, mahsulot sifati pasayishi mumkin.

Chigit qatlamining zichligi kam bo‘lgan holatda ishchi organlar bilan chigit o‘rtasidagi o‘zaro ta'sir yetarli bo‘lmaydi, natijada momiqni ajratish intensivligi pasayadi va tuksizlantirish samarasi talab darajasida ta'minlanmaydi. Aksincha, qatlam zichligi ortib ketganda chigitlar bir-biriga va ishchi sirtlarga qattiq bosiladi, baraban aylanishi og‘irlashadi hamda tiqilish holatlari yuzaga kelishi mumkin. Bunday sharoitda chigit qobig‘i va yadrosining mexanik shikastlanishi ortib, urug‘lik sifati pasayadi va energiya sarfi keskin oshadi.

Hozirgi kunda qo‘llanilayotgan ko‘pchilik mexanik delinter mashinalarida chigitni ishchi kameraga uzatish jarayoni asosan shaxta orqali erkin tushish usuliga asoslangan. Bunda ta'minlagichning konstruksiyasi va joylashuvi sababli chigit kameraga bir maromda tushmaydi, ishchi oraliqning yuqoridan pastga qisqarib borishi esa chigit qatlamining notekis zichlashishiga olib keladi. Shu sababli kamerada chigitning tartibsiz harakati, qisman tiqilish va qayta aylanib qolish holatlari kuzatiladi.

Ayniqsa, ochiq ishchi kameraga ega mashinalarda ta'minlash jarayoni ko‘p holatda operator tomonidan baraban yuklanishiga qarab nazorat qilinadi. Ampermetr ko‘rsatkichi orqali tokning oshishi yoki pasayishiga qarab chigit oqimi qo‘lda o‘zgartiriladi. Bu esa jarayonning avtomatlashmaganini, inson omiliga bog‘liqligini va natijada tuksizlantirish jarayoni barqaror emasligini ko‘rsatadi.

Shu sababli tuksizlantirish mashinalarida ishchi kameraga chigitni barqaror uzatishni ta'minlaydigan hamda chigit oqimini belgilangan me’yorda aniq dozalash imkonini beradigan ta'minlagich-dozalagich uskunasini ishlab chiqish dolzarb vazifa hisoblanadi. Bunday uskuna ishchi kamerada chigit qatlamining optimal zichligini doimiy saqlashga xizmat qilib, ishchi organlar bilan chigit o‘rtasidagi ta'sirni barqarorlashtiradi. Natijada tuksizlantirish samaradorligi oshadi, chigit shikastlanishi kamayadi, kalta momiq sifati yaxshilanadi va energiya sarfi kamaytiriladi.

Adabiyotlar

[1]. Handbook of Primary Cotton Processing. Book 1, Tashkent, 1994, pp. 373–379.

[2]. Rakipov V.G. et al. Technological Regulation for Seed Cotton Preparation. PDQI 82-2007. “Cotton Cleaning Industrial Association” JSC, Tashkent, 2007.

[3]. Рубидинов, Ш. Ғ. Ў., & Ғайратов, Ж. Ғ. Ў. (2021). Штампларни таъмирлашда замонавий технология хромлаш усулидан фойдаланиш. Scientific progress, 2(5), 469-473.

[4]. Рубидинов, Ш. Г. У., & Ғайратов, Ж. Г. У. (2021). Кўп операцияли фрезалаб ишлов бериш марказининг тана деталларига ишлов беришдаги унумдорлигини тахлили. Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences, 1(9), 759-765.

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ХЛЕБОПЕКАРНЫХ СВОЙСТВ ПШЕНИЧНОГО ЗЕРНА

Д.М. Туйчиева

Андижанский государственный технический институт
Автор для корреспонденции, e-mail: dilrabotuychiyeva8087@gmail.com
(Получена 16.04.2026 г.)

Аннотация. *В статье исследуется планирование экспериментов и методы определения физико-химических и хлебопекарных свойств пшеничного зерна. Особое внимание уделено применению методов активного планирования, позволяющих оптимизировать количество опытов и повысить достоверность получаемых результатов. Приведены принципы выбора факторов и уровней варьирования, а также обработки экспериментальных данных с использованием регрессионного анализа..*

Ключевые слова: *пшеничное зерно, планирование эксперимента, физико-химические свойства, хлебопекарные свойства, влажность зерна, клейковина, качество, регрессионный анализ, заражённость зерна, технологические свойства, качество муки*

1. Введение. В лабораторных условиях исследовали влияние СВЧ-излучения на физико-химические показатели и хлебопекарные качества зерна пшеницы. Лабораторные и производственные испытания проводились в производственно-технической испытательной лаборатории АО «Андижондонмахсулот», ГУП «Агроинспекция» и ГУП «Uz Test» (г. Андижан).

Таблица 1

Исходные данные для планирования эксперимента

Характеристика	Условные обозначения	X_i время обработки, с	X_2 удельная мощность, Вт/м²
Верхний уровень	+1	210	180
Основной уровень	0	180	160
Нижний уровень	-1	150	140
Звездная точка	-a	120	120
Интервал варьирования	+a	120	100

В данных условиях основная цель — разработать такой план эксп еримента, который при минимальном числе опытов даст максимально надёжную информацию для последующего внедрения метода в производство (табл.2.1). Поэтому в теории планирования важна концепция активного эксперимента, позволяющая установить причинно-следственные связи между воздействием СВЧ-поля и свойствами зерна пшеницы, а также показателями эффективности. следует отметить, что применение методов математического планирования эксперимента позволяет существенно повысить информативность исследований за счёт одновременного варьирования нескольких факторов и последующего анализа их взаимодействия. Это обеспечивает более глубокое понимание процессов, протекающих в зерновой массе под воздействием электромагнитного излучения, включая изменения физико-химических характеристик, таких как влажность, структура клейковины и степень заражённости. Кроме того, использование регрессионных моделей даёт возможность не только описывать полученные экспериментальные данные, но и прогнозировать поведение системы при изменении параметров обработки. Такой подход способствует оптимизации технологического процесса, повышению его эффективности и снижению энергозатрат при промышленной реализации метода СВЧ-обработки зерна.

Методы и материалы. Метод основан на составлении оптимальных планов, которые позволяют с минимальным числом опытов исследовать факторы, влияющие на технологию хранения зерна.В таблице 2.2 приведена схема активного планирования эксперимента.

Таблица 2

Варианты опыта	**Режимы воздействия СВЧ электромагнитных волн**		
	Время, с	**Мощность, Вт/м^2**	**Исследуемый параметр**
1	180	210	$Y_,$
2	120	150	y_2
3	180	210	Y_3
4	120	150	Y_4
5	180	210	y_5
6	120	150	Y_6
7	140	180	y_7
8	140	180	y_8
9	140	180	y_9
10	Контроль		$Y_{,0}$

Регрессионный анализ и построение графических зависимостей выполнялись с использованием электронных таблиц Excel. При этом был применён двухфакторный план эксперимента.

В соответствии с методами активного планирования был также выбран многофакторный экспериментальный план типа Конно-2 [97; с. 5–121, 147; с. 148–149; 39–41]. В качестве основного сырья для обеззараживания с применением СВЧ-излучения использовалось зерно пшеницы, характеристики которого приведены в таблице 2.3.

Таблица 3

Основные физико-химические показатели зерна пшеницы

№	**Физико-химические показатели зерна пшеницы**	
1	Натура, *г/л*	770
2	Влажность, %;	10,5
3	Стекловидность, %;	53
4	Клейковина, %;	25
5	Показатель, ИДК ед. изм.	25/80

Объектом обеззараживания служило зерно пшеницы, которое характеризуется показателями, приведёнными в таблице 2.3. Для объективной оценки воздействия электромагнитного поля СВЧ-диапазона на зерно были проанализированы его основные физико-химические свойства.

Экспериментальная часть исследования проводилась в лабораториях ГУП «Uz Test» и Андижанского филиала ГУП «Агроинспекция», а производственные испытания осуществлялись на предприятиях АО «Андижондонмахсулот» и АО «Кургонтепадонмахсулот».

Анализы зерна пшеницы выполнялись согласно по следующим методикам:

Зерно пшеницы проверяли на соответствие требованиям ГОСТ 52554-2006 [120; С.1-15].

Метод отбор проб зерна пшеницы по ГОСТ 13586.3-2014 [121; С.9].

Метод определение зараженности вредителями ГОСТ 13586.6-93 [122; С.1-19]

Метод определения влажности зерна ГОСТ 13586.5-2015[123; С.1-4].

Количество и качество сырой клейковины исследовали по ГОСТ 13586.1-68 [124; С.1-15].

Определение пористости мякиша по ГОСТу 5669-96 [125; С.1-5].

Определение влажности мякиша- ГОСТ 21094-75 [126; С.1-5].

Определение кислотности мякиша ГОСТ 5670-96 [127; С.1-8].

Результаты. Отбор зерна, хранящегося насыпью на площадках и складах, осуществляется с помощью складского щупа. Точечные пробы берутся в пределах секции насыпи площадью 200 м² в шести точках поверхности, расположенных на расстоянии 2,5 м от границ секции, стен склада или края площадки; при этом две точки обязательно должны находиться на гребне насыпи.

В каждой выбранной точке пробы отбираются с глубины от 50 до 100 см. Масса объединённой пробы от каждой секции насыпи или силоса элеватора должна составлять не менее 2 кг.

При полностью заполненных силосах точечные пробы отбирают складским щупом из верхнего слоя (на глубине около 10 см), а также из более глубоких слоёв (от 50 до 100 см).

В процессе выгрузки зерна пробы берут из потока перемещаемого зерна в местах перепада с помощью механического пробоотборника или специального ковша по 100 г от каждой тонны (для первых 10 тонн). Для частично заполненных силосов отбор проб также осуществляется во время выгрузки: по 100 г от каждой тонны из первых 20 тонн. Объединённая проба, полученная из каждого силоса, должна быть не менее 2 кг.

Зерно, отобранное для определения заражённости, упаковывают и маркируют. Средние пробы помещают в мешочки из плотной ткани, после чего укладывают в герметично закрывающуюся тару и плотно перевязывают шнуром, чтобы предотвратить выход насекомых и клещей. Для маркировки используют этикетки, которые через специальные отверстия прикрепляют к горловине мешочка; допускается также размещение этикетки внутри мешочка или в плотно закрытой таре с пробой. На маркировке обязательно указывается, что данная проба предназначена для определения заражённости зерна.

Средние пробы должны быть исследованы не позднее чем через 48 часов после отбора. Чтобы избежать гибели вредителей при транспортировке, пробы упаковывают в защитную тару (металлические банки с герметичными крышками или тканевые мешочки с полиэтиленовыми вкладышами).

В лабораторных условиях заражённость зерна определяют по стандартным методикам в соответствии с нормативной документацией. Среднюю пробу просеивают вручную или с использованием лабораторного рассева (например, У1-ЕРЛ) на наборе сит, подобранных согласно действующим стандартам. При этом отдельно учитывают виды обнаруженных живых вредителей и рассчитывают суммарную плотность заражения (СПЗ). В зависимости от значения СПЗ заражённость зерна классифицируется по пяти степеням. Показатели СПЗ приведены в таблице 2.4.

Влажность зерна определяют с использованием технических весов: навеску массой 20 г неразмолотого зерна помещают в чашки диаметром 8–10 см (или сетчатые бюксы) и высушивают в сушильном шкафу при температуре 105 °С в течение 30 минут.

Таблица 4

Степени и характеристика зараженности зерна

№	Зараженность зерна по степеням	Показатель СПЗ, шт. */кг*
1	I	До 1 включ.
2	II	Св. 1 » 3 »
3	III	» 3 »15 »
4	IV	» 15 » 90 »
5	V	» 90

После высушивания навеску охлаждают без использования эксикатора, затем взвешивают и подвергают размолу. Из полученного размолотого материала в бюксы отбирают две навески по 5 г и высушивают основным методом. По истечении 40 минут бюксы извлекают, закрывают крышками, охлаждают в эксикаторе и снова взвешивают.

Содержание влаги (%) рассчитывают по формуле:

$$X = 100 – (C – P),$$

где: С — масса 20-граммовой навески размолотого зерна после высушивания, Р — масса 5-граммовой навески после высушивания.

Допустимые расхождения между параллельными определениями не должны превышать ±0,25%, а между арбитражными — ±0,5%. В качественных документах показатель влажности указывается с точностью до 0,1%.

Определение количества и качества клейковины пшеницы проводят в соответствии с нормативной документацией. Метод основан на отмывании клейковины из теста (полученного из размолотого зерна и воды) вручную или с применением механических устройств, а также на оценке её упруго-эластичных свойств.

Для анализа отбирают навеску массой 30–50 г, очищенную от сорной примеси (за исключением повреждённых зёрен пшеницы, ржи и ячменя). Зерно измельчают на лабораторной мельнице таким образом, чтобы остаток на проволочном сите № 067 не превышал 2%, а проход через капроновое сито № 38 составлял не менее 40%.

Из размолотого материала берут 25 г, добавляют 14 мл воды и замешивают тесто вручную или с помощью тестомесилки. Тесто формируют в шар и выдерживают в течение 20 минут под крышкой для набухания белков. После этого клейковину отмывают в ёмкости или под слабой струёй воды до полного удаления оболочек и крахмала.

Общее время отмывания и отжима сырой клейковины не должно превышать 55 минут, включая основное отмывание (до 40 минут), дополнительное промывание (около 2 минут), двукратный отжим и подсушивание (по 3–5 минут), а также двукратное взвешивание (по 1 минуте). В процессе отжима клейковину периодически промакивают сухим полотенцем.

После первичного взвешивания клейковину дополнительно промывают в течение 2–3 минут, снова отжимают и повторно взвешивают. Разница между двумя взвешиваниями не должна превышать ±0,1 г.

Количество и качество сырой клейковины определяют с использованием прибора ИДК-1 (измерителя деформации клейковины). Для этого из отмытой массы берут навеску 4 г, формируют шарик и выдерживают его в воде в течение 15 минут. По показаниям прибора в условных единицах клейковину относят к соответствующей группе качества.

Выводы. В результате проведённого исследования установлено, что применение методов планирования эксперимента является эффективным инструментом для изучения физико-химических и хлебопекарных свойств пшеничного зерна. Использование активного планирования позволяет рационально выбирать факторы и их уровни, сокращать количество опытов и при этом повышать точность и достоверность получаемых результатов.

Анализ основных показателей зерна, таких как влажность, содержание и качество клейковины, заражённость и технологические свойства, показал их значительное влияние на хлебопекарные характеристики сырья. Применение регрессионного анализа обеспечивает возможность математического описания взаимосвязей между изучаемыми параметрами и прогнозирования качества конечной продукции.

Таким образом, комплексный подход, включающий методы планирования эксперимента и современные физико-химические методы анализа, позволяет эффективно оценивать качество пшеничного зерна и может быть рекомендован для использования в научных исследованиях и производственной практике.

Список литературы

[1]. Ахаев Н.С., Закладной Г.А. Устойчивость рисового и амбарного долгоносиков к тепловому воздействию на зерне различной влажности и температуры//. Труды ВНИИЗ. М.1985. –Вып. 108. -С.40-44.

[2]. Трисвятский Л.А., И.С.Шатилов Товароведение зерна и продуктов его переработки. М. «Колос» 1992. -С.91-97.

[3]. Ящук Н.А., Мацейко Л.Н., Бобер А.В. Качество зерна пшеницы разных сортов в зависимости от зараженности амбарным долгоносиком. Ukrainian Journal of Ecology. Киев. 2018 8(1). -P.394.

[4]. Niewiada A., Nawrot J., Szafranek J., Szafranek B., Synak E., Jelen H., Wasowicz E. Some factor affecting egg-laying of the granary weevil (Sitophilus granaries L.). Journal of Stored Products Research. 2005(41). -P. 544-555.

[5]. Yildirim E., Aslan A., Emsen B., Cakir A., Ercisli S. Insecticidal effect of Usnea longissima (Parmeliaceae) exstract against Sitophilus granaries (Coleoptera: Curculionidae). International Journal of Agriculture and Biology. 2012 (14)

[6]. Keskin S., Ozkaya H. Effect of storage and insect infestation on the technological properties of wheat . CyTA-Journal of Food, 13(1). -P.134-139.

[7]. Strelec I., Kucko L., Roknic D., Mrsa V., Ugarcic-Hardi Z. Spectrofluometric, spectrophotometric and chemometric analysis of wheat grains infested by Sitophilus granaries. Journal of Stored Products Research 2012 (50). -P.42-48.

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕНЕДЖМЕНТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

А.Р. Боймирзаев

Ферганский государственный технический университет,
**Автор для корреспонденции, E-mail: a.boymirzaev@ferpi.uz*
(Получена 16.04.2026 г.)

Аннотация. *В статье рассмотрены вопросы организации и менеджмента проектирования систем контроля и управления (СКУ) атомных электростанций. Особое внимание уделено переходу от аналоговых к цифровым системам управления и связанным с этим переходом новым требованиям к процессам проектирования, верификации и валидации. Проанализированы требования международных нормативных документов МАГАТЭ серии SSR-2/1, GSR Part 2, а также стандартов МЭК (IEC 60880, IEC 61513, IEC 61226), определяющих принципы организации менеджмента проектирования СКУ. Рассмотрена многоуровневая архитектура современных цифровых СКУ АЭС, включающая уровни датчиков и исполнительных механизмов, автоматического управления, группового управления и станционного управления. Представлены три базовых уровня жизненных циклов разработки СКУ: жизненный цикл общей архитектуры, жизненные циклы отдельных систем и жизненные циклы компонентов. Подробно описана V-модель жизненного цикла, обеспечивающая прослеживаемость требований от этапа концептуального проектирования до валидации на уровне станции. Детально проанализированы процессы верификации и валидации программного обеспечения, включающие инспекции кода, статический анализ, динамическое тестирование и формальные методы. Обоснована необходимость независимости группы верификации и валидации от группы разработчиков как ключевого принципа обеспечения объективности оценки. Рассмотрены вопросы управления конфигурацией и изменениями, включая процедуры оценки воздействия изменений, регрессионного тестирования и долгосрочного хранения документации. Представлена программа квалификации аппаратных средств СКУ, охватывающая испытания на термостойкость, радиационную стойкость, сейсмостойкость и электромагнитную совместимость. Обсуждены вопросы управления старением оборудования и обеспечения работоспособности в течение всего проектного срока службы станции. Результаты работы могут быть использованы при организации проектирования СКУ для строящихся АЭС, в том числе для АЭС, планируемых к сооружению в Узбекистане.*

Ключевые слова: *проектирование, система контроля и управления, система менеджмента, проектная основа, жизненный цикл, верификация, валидация, цифровые системы, безопасность АЭС, V-модель, управление конфигурацией, квалификация оборудования.*

1. Введение

Атомная энергетика занимает важное место в структуре мировой энергетики, обеспечивая около 10% глобального производства электроэнергии. Надёжность и безопасность атомных электростанций (АЭС) во многом определяется качеством систем контроля и управления (СКУ), которые выполняют критически важные функции по регулированию технологических параметров, обнаружению аварийных ситуаций и реализации защитных действий. В условиях широкого внедрения цифровых технологий в ядерную отрасль вопросы организации и менеджмента проектирования СКУ приобретают особую актуальность.

Проектирование АЭС должно обеспечивать станции и узлы, важные для безопасности, соответствующими характеристиками, обеспечивающими возможность выполнения функций безопасности с необходимой надежностью, возможность безопасной эксплуатации станции в рамках эксплуатационных пределов и условий в течение всего проектного срока службы станций и возможность безопасного снятия с эксплуатации, а также для сведения к минимуму воздействия на окружающую среду.

Перед началом любой технической деятельности следует подготовить и утвердить, в соответствии с требованиями для системы менеджмента, план, определяющий необходимые исходные данные, продукты и процессы такой деятельности, а также взаимосвязи этой

деятельности с другими видами деятельности. Данный план должен учитывать все аспекты жизненного цикла СКУ — от концептуального проектирования до снятия с эксплуатации.

Современные требования к безопасности АЭС, изложенные в нормах МАГАТЭ серии SSR-2/1 и GSR Part 2, предусматривают применение интегрированного подхода к управлению проектированием, охватывающего технические, организационные и человеческие факторы. Стандарт IEC 61513 определяет общие требования к СКУ, важным для безопасности, а IEC 60880 устанавливает требования к программному обеспечению систем категории А. Цель настоящей работы — систематизировать требования к организации менеджмента проектирования СКУ АЭС с учётом специфики цифровых систем и международного нормативного опыта.

2. Система управления (менеджмента) проектированием СКУ

Проектная организация должна создать и внедрить систему менеджмента для обеспечения того, чтобы все требования безопасности, установленные в отношении проекта станции, учитывались и осуществлялись на всех стадиях процесса проектирования, и чтобы окончательный проект отвечал этим требованиям. Система менеджмента представляет собой комплекс взаимосвязанных элементов, включающих организационную структуру, процессы и ресурсы.

Предусматривается создать систему управления (менеджмента), которая используется, оценивается и постоянно совершенствуется. Она приводится в соответствии с задачами организации и способствует их достижению. Основная цель системы управления состоит в достижении и повышении безопасности с помощью: последовательного сведения воедино всех требований к управлению организацией в единую согласованную систему; описания планируемых и систематически осуществляемых действий, необходимых для обеспечения достаточной уверенности в том, что все эти требования выполняются в полной мере; обеспечения требований, связанных с вопросами здравоохранения, окружающей среды, физической безопасности, качества и экономики, без отрыва от требований безопасности.

В интересах обеспечения безопасности в отношении документации по проектной основе, а также сопутствующей информации или записей, относящихся к СКУ, важным для безопасности, следует применять контроль, осуществляемый соответствующими методами, с целью обеспечения их полноты, ясности, лаконичности, точности и последовательности на протяжении всего жизненного цикла СКУ.

Система менеджмента включает организационный план, организационную культуру, политику и процессы, в том числе те из них, которые применяются для определения и распределения ресурсов (например, кадров, оборудования, инфраструктуры и рабочей среды) в целях разработки СКУ, соответствующих требованиям безопасности. Следует обеспечить, чтобы каждая организация, участвующая в деятельности по разработке СКУ, имела систему менеджмента, отвечающую ожидаемым результатам применения системы менеджмента эксплуатирующей организации. Принцип «культуры безопасности» требует формирования у всех участников проектирования осознанного отношения к вопросам безопасности как к приоритету наивысшего порядка.

3. Особенности современных цифровых СКУ АЭС

Современные СКУ атомных электростанций представляют собой сложную многоуровневую структуру элементов, к проектированию и квалификации которых необходимо применять различные подходы. Эволюция технологий привела к тому, что аналоговые системы предыдущих поколений практически полностью вытеснены цифровыми. Часто функциональные и эксплуатационные показатели предыдущих поколений СКУ характеризовались моделями, основанными на законах физики и испытаниях, которые использовались для валидации этих моделей.

Современные СКУ, в частности цифровые системы, функциональность которых зависит от программного обеспечения (ПО) и языка описания аппаратных средств (VHDL, FPGA), в корне отличаются от старых систем в том, что их поведение определяется логикой

и не предопределяется внешними физическими законами. Вследствие этого незначительные ошибки в проектировании и реализации могут привести к неожиданному поведению цифровых систем, которое крайне затруднительно обнаружить при испытаниях.

Архитектура современных цифровых СКУ АЭС строится по принципу глубоко эшелонированной защиты с использованием принципов независимости, разнообразия и резервирования. На рисунке 1 представлена многоуровневая архитектура СКУ АЭС, включающая четыре основных уровня: уровень датчиков и исполнительных механизмов, уровень автоматического управления, уровень группового управления и станционный уровень.

Таблица 1. Сравнение характеристик аналоговых и цифровых СКУ АЭС

Характеристика	Аналоговые СКУ	Цифровые СКУ
Основа функционирования	Физические законы	Программная логика
Верификация	Испытания и модели	Комплексный V&V процесс
Модификация	Аппаратная замена	Программное обновление
Гибкость	Ограниченная	Высокая
Риск скрытых отказов	Низкий	Требует особого контроля
Средства диагностики	Ограниченные	Встроенная самодиагностика
Обмен данными	Проводные соединения	Цифровые шины, сети

Принцип разнообразия предполагает использование различных технологических платформ для реализации систем безопасности и систем нормальной эксплуатации, что существенно снижает вероятность отказа по общей причине. Принцип независимости требует физического и функционального разделения каналов, обеспечивающего невозможность распространения отказа одного канала на другие.

Рис. 1. Многоуровневая архитектура СКУ АЭС

4. Жизненный цикл СКУ АЭС

Для описания разработки СКУ необходимо применять три базовых уровня жизненных циклов, которые обеспечивают системный подход к управлению всеми аспектами разработки:

a) жизненный цикл общей архитектуры СКУ — определяет общие технические и организационные требования ко всей системе управления станцией, включая распределение функций между подсистемами, требования к интерфейсам и обмену данными;

b) жизненные циклы одной или нескольких отдельных СКУ — детализируют требования для конкретных функциональных систем (система аварийной защиты, система регулирования мощности, система управления реактором и др.);

c) жизненные циклы одного или нескольких отдельных компонентов СКУ — управление жизненными циклами компонентов, как правило, осуществляется в рамках процесса разработки платформы, и эти циклы не зависят от уровня общей архитектуры.

Наиболее широко применяемой моделью жизненного цикла для СКУ АЭС является V-модель, представленная на рисунке 2. Данная модель наглядно демонстрирует соответствие между этапами проектирования (левая ветвь) и этапами верификации/валидации (правая ветвь), обеспечивая прослеживаемость требований на каждом уровне.

Каждая стадия жизненного цикла должна завершаться формальным обзором с целью подтверждения корректности и полноты выполненных работ перед переходом к следующей стадии. Результаты обзоров оформляются документально и хранятся в системе управления документацией проекта. В любой момент жизненного цикла в силу приобретённого опыта может возникнуть необходимость в пересмотре работы, проделанной на предыдущих стадиях, что требует тщательного управления конфигурацией и прослеживаемостью требований.

Рис. 2. V-модель жизненного цикла СКУ АЭС

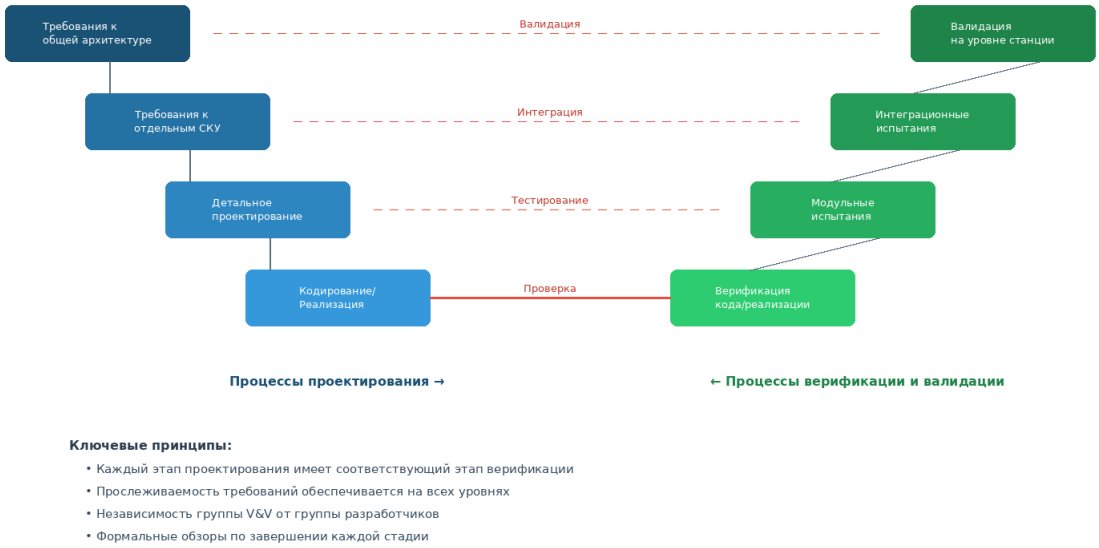


Рис. 2. V-модель жизненного цикла СКУ АЭС

5. Верификация и валидация программного обеспечения СКУ

Верификация и валидация (V&V) программного обеспечения СКУ АЭС являются неотъемлемой частью процесса разработки и представляют собой комплекс мероприятий, направленных на подтверждение соответствия ПО установленным требованиям и его пригодности к применению по назначению. Независимость группы V&V от группы разработчиков является важным принципом, обеспечивающим объективность оценки.

Программа V&V должна охватывать все стадии жизненного цикла ПО: от анализа требований до сопровождения и модификации. На каждой стадии применяются специфические методы верификации: инспекции кода, статический анализ, динамическое тестирование, формальные методы и другие. Глубина и объём мероприятий V&V определяются категорией безопасности функций, реализуемых данным ПО, в соответствии с классификацией IEC 61226.

Особое внимание следует уделять верификации требований к ПО, поскольку ошибки, внесённые на стадии формирования требований, как правило, наиболее дорогостоящи в части их устранения на последующих стадиях. Методы структурированного рецензирования, матрицы прослеживаемости требований и формальное инспектирование являются эффективными инструментами верификации требований. Валидация ПО выполняется на

основе испытаний в условиях, максимально приближённых к реальным условиям эксплуатации, с охватом всего диапазона штатных и аварийных режимов работы.

Таблица 2. Методы верификации и валидации ПО СКУ АЭС

Стадия	Методы верификации	Документация
Требования	Рецензирование, инспекции, матрицы прослеживаемости	Отчёт по верификации требований
Проектирование	Обзор архитектуры, анализ интерфейсов	Протокол проектного обзора
Кодирование	Инспекции кода, статический анализ	Результаты инспекции кода
Тестирование	Модульное, интеграционное, системное	Отчёты о тестировании
Валидация	Испытания в реальных условиях, FAT/SAT	Отчёт о валидации

6. Управление конфигурацией и изменениями

Управление конфигурацией является критически важным элементом системы менеджмента проектирования СКУ АЭС. Оно обеспечивает идентификацию, документирование и контроль состояния всех элементов конфигурации системы на протяжении всего жизненного цикла. Базовые конфигурации устанавливаются по завершении каждой ключевой стадии разработки. На рисунке 3 представлен общий процесс управления конфигурацией СКУ.

Рис. 3. Процесс управления конфигурацией СКУ АЭС

Рис. 3. Процесс управления конфигурацией СКУ АЭС

Процесс управления изменениями должен гарантировать, что любые модификации СКУ не нарушат установленные требования безопасности. Все изменения должны проходить через формальную процедуру оценки воздействия, включающую анализ влияния на другие элементы системы, требования безопасности, верификационные и валидационные доказательства. Несанкционированные изменения категорически недопустимы.

Особую сложность представляет управление изменениями в программном обеспечении, поскольку даже незначительная модификация кода теоретически может повлиять на любой аспект поведения системы. Поэтому процедуры регрессионного тестирования после внесения изменений являются обязательным элементом системы управления качеством ПО СКУ АЭС. Архив конфигурации должен содержать все версии программных и аппаратных элементов, результаты испытаний, отчёты по верификации и валидации, протоколы технических обзоров.

7. Квалификация аппаратных средств СКУ

Квалификация аппаратных средств СКУ АЭС направлена на подтверждение их способности выполнять требуемые функции в условиях нормальной эксплуатации и при постулируемых авариях. Программа квалификации разрабатывается с учётом условий

окружающей среды, сейсмических воздействий, электромагнитной совместимости и других факторов, специфичных для конкретного места размещения оборудования на станции (рис. 4).

Рис. 4. Программа квалификации аппаратных средств СКУ АЭС

Рис. 4. Программа квалификации аппаратных средств СКУ АЭС

Методы квалификации включают испытания (термостойкость, радиационная стойкость, сейсмостойкость, устойчивость к электромагнитным помехам), анализ и экспертизу опыта эксплуатации аналогичного оборудования. Комбинация этих методов позволяет охватить весь спектр условий, которым может подвергнуться оборудование в течение срока службы. Старение оборудования является одним из ключевых факторов, подлежащих учёту в программе квалификации. Программа управления старением должна предусматривать периодические испытания, плановые замены критических компонентов и мониторинг параметров технического состояния.

8. Заключение

Проведённый анализ показывает, что система менеджмента проектирования СКУ АЭС представляет собой сложную многоуровневую структуру, охватывающую все аспекты жизненного цикла системы — от разработки концепции до снятия с эксплуатации. Переход к цифровым технологиям существенно усложнил задачу подтверждения безопасности СКУ, поставив на первый план качество процессов разработки и строгость выполнения программы V&V.

Ключевыми выводами проведённого исследования являются следующие: во-первых, система менеджмента проектирования должна быть интегрирована с общей системой менеджмента эксплуатирующей организации и охватывать всех участников разработки; во-вторых, документация по проектной основе является фундаментом безопасной эксплуатации АЭС и её актуальность должна поддерживаться на протяжении всего жизненного цикла станции; в-третьих, независимая верификация и валидация программного обеспечения являются обязательным элементом процесса создания цифровых СКУ; в-четвёртых, программа квалификации аппаратных средств и управления старением является необходимым условием обеспечения долгосрочной безопасности.

Реализация изложенных требований к организации и менеджменту проектирования СКУ АЭС обеспечит необходимый уровень достоверности в правильности функционирования систем безопасности в течение всего проектного срока службы атомной электростанции. Данные результаты имеют практическое значение для организации проектирования СКУ строящейся АЭС в Узбекистане.

Список литературы

[1]. Международное агентство по атомной энергии. Безопасность атомных электростанций: проектирование. Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-2/1 (Rev. 1). — Вена: МАГАТЭ, 2016.

[2]. Международное агентство по атомной энергии. Лидерство и менеджмент для обеспечения безопасности. Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 2. — Вена: МАГАТЭ, 2017.

[3]. Международное агентство по атомной энергии. Системы контроля и управления для атомных электростанций. Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-39. — Вена: МАГАТЭ, 2016.
[4]. Международное агентство по атомной энергии. Разработка и внедрение программного обеспечения для систем, важных для безопасности атомных электростанций. Серия руководств по безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.1. — Вена: МАГАТЭ, 2000.
[5]. IEC 60880:2006. Nuclear power plants — Instrumentation and control systems important to safety — Software aspects for computer-based systems performing category A functions. — IEC, Geneva, 2006.
[6]. IEC 61513:2011. Nuclear power plants — Instrumentation and control important to safety — General requirements for systems. — IEC, Geneva, 2011.
[7]. IEC 61226:2009. Nuclear power plants — Instrumentation and control important to safety — Classification of instrumentation and control functions. — IEC, Geneva, 2009.
[8]. МАГАТЭ. Системы контроля и управления атомных электростанций. Серия докладов по безопасности, № 75. — Вена: МАГАТЭ, 2012.
[9]. IEEE 1012-2016. IEEE Standard for System, Software, and Hardware Verification and Validation. — IEEE, New York, 2016.
[10]. NUREG/CR-6421. A Proposed Acceptance Process for Commercial Off-The-Shelf (COTS) Software in Reactor Applications. — NRC, Washington, 1996.

УДК 330.15:502.3

IQTISODIY-EKOLOGIK TIZIMLARNING BARQAROR RIVOJLANIShIGA TA’SIR ETUVCHI OMILLARNING NAZARIY-METODOLOGIK ASOSLARI

P.Y. Raxmonazarov, D.X. Urinbayeva

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada iqtisodiy-ekologik tizimlarning barqaror rivojlanishiga ta’sir etuvchi omillarning nazariy-metodologik asoslari tadqiq etilgan. Iqtisodiy-ekologik tizimlarning shakllanishi va rivojlanishida muhim ahamiyatga ega bo‘lgan ekologik, iqtisodiy, ijtimoiy, institutsional, texnologik va ma’naviy-madaniy omillarning mazmuni va o‘zaro bog‘liqligi tahlil qilingan. Shuningdek, iqtisodiy-ekologik tizimlarning tashqi va ichki muhit omillari tasniflangan hamda ularning barqaror rivojlanishga ta’sir qilish mexanizmi asoslab berilgan. Tadqiqot natijasida iqtisodiy-ekologik tizimlarni baholash va boshqarishning takomillashtirilgan konseptual modeli ishlab chiqilgan.*

Kalit so‘zlar: *iqtisodiy-ekologik tizim, barqaror rivojlanish, yashil iqtisodiyot, ekologik omillar, institutsional muhit, ekologik madaniyat, hududiy rivojlanish, omilli tahlil.*

So‘nggi yillarda jahonda iqtisodiy o‘sish sur’atlarining jadallashuvi tabiiy resurslarga bo‘lgan talabning ortishiga sabab bo‘lmoqda. Bu esa atrof-muhitga antropogen bosimning kuchayishi, iqlim o‘zgarishi, suv resurslarining kamayishi va biologik xilma-xillikning qisqarishi kabi global muammolarni keltirib chiqarmoqda.

Barqaror rivojlanish konsepsiyasi iqtisodiy o‘sish, ijtimoiy taraqqiyot va ekologik xavfsizlik o‘rtasidagi mutanosiblikni ta’minlashni nazarda tutadi. Shu nuqtai nazardan iqtisodiy-ekologik tizimlarning barqaror faoliyat yuritishi mamlakat va hududlar taraqqiyotining muhim shartlaridan biri hisoblanadi. O‘zbekiston Respublikasining 2030 yilgacha bo‘lgan Yashil iqtisodiyotga o‘tish strategiyasida ham resurslardan samarali foydalanish, energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etish va ekologik xavfsizlikni ta’minlash ustuvor vazifalar sifatida belgilangan. Shu bois iqtisodiy-ekologik tizimlarga ta’sir etuvchi omillarni aniqlash, tasniflash va ularning o‘zaro ta’sir mexanizmlarini tadqiq qilish muhim ilmiy ahamiyatga ega.

Hududlarning barqaror ijtimoiy-iqtisodiy rivojlanishini ta’minlash mamlakat mintaqalarining asosiy masalalaridan biri hisoblanadi. Hududlar iqtisodiyotini barqarorligini ta’minlashda ishlab chiqarish jarayonini maqbul va samarali tarzda tashkil etish lozim. Bunda mintaqadagi resurslarni to‘g‘ri taqsimlash talab etiladi. Bu holatning ijobiy yechimi hududlarda iqtisodiy-ekologik tizimlarning barqaror rivojlanish yo‘nalishida amal qilishini ta’minlovchi omillarni o‘rganish lozim.

Birinchi navbatda, omillar zamirida ishlab chiqarish resurslari nazarda tutiladi. Jumladan, iqtisodiy sub'ektlar faoliyatlarining natijasi resurslar asosida, ya'ni ularning samarali harakati orqali ta'minlanadi.

Iqtisodiy-ekologik tizimlarning barqarorligiga ta'sir etuvchi omillar ko'plab xorijiy va mahalliy olimlar tomonidan tadqiq qilingan. Rayzberg B.A. omilni iqtisodiy jarayonlarni harakatga keltiruvchi va natijalariga ta'sir etuvchi kuch sifatida ta'riflaydi[1].

Reznik G.A. va Malishev A.A. iqtisodiy-ekologik tizimlar barqarorligiga ta'sir qiluvchi omillarni beshta yo'nalish bo'yicha o'rganishni taklif etganlar: resurs yondashuvi; texnologik yondashuv; geoekologik yondashuv; iqtisodiy-ekologik yondashuv; umumfalsafiy yondashuv. Ammo mazkur yondashuvlarda aholining ekologik madaniyati, ekologik ongi va milliy qadriyatlar ta'siri yetarlicha yoritilmagan[3].

Medouz D., Forrester J., Deyli X. va Kostanza R. ishlarida iqtisodiy o'sish va ekologik cheklovlar o'rtasidagi munosabatlar tahlil qilingan[4].

Iqtisodiy tadqiqotlarda omil ishlab chiqarish va iqtisodiy jarayonni harakatlantiruvchi hamda faoliyati natijalariga ta'sir qiluvchi kuch, deya ta'riflanadi[5]. Iqtisodiy-ekologik tizimlarga ta'sir etuvchi omillarni o'rganishda tadqiqotchilar turli yo'nalishda izlanishlar olib borishgan. Ayrim izlanishlar resurslar asosida qarab o'tilgan bo'lsa, boshqalari natijaviy holat orqali o'rganishgan.

Jumladan, iqtisodiy-ekologik tizimlar va ularning omillarini o'rganishga beshta yo'nalish mavjud bo'lib, ular: rusurslar bo'yicha, texnologik, geoekologik, umumfalsafiy va iqtisodiy-ekologik yondashuvlar[6].

Shuni alohida ta'kidlashimiz lozimki, fan-texnika taraqqiyoti haqiqatdan ham mahsulot birligiga sarflanadigan resurslarni tejashga olib kelsada, ishlab chiqarish hajmining tez sur'atlarda o'sishi natijasida atrof-muhitga salbiy ta'sir etadi.

Yuqoridagi omillarni besh yondashuvga bo'lib o'rgangan olimlar izlanishlarida ma'naviy-mafkuraviy omillarga ham e'tibor qaratish maqsadga muvofiq hisoblanadi. Chunki, kishilarning atrof-muhitga ta'siri ular madaniyati bilan belgilanadi. Tejamkorlik va ekologik madaniyat inson madaniyati bilan uzviy bog'liqdir.

Shuning uchun mazkur tadqiqotda iqtisodiy-ekologik tizimlarga ta'sir etuvchi ma'naviy-madaniy omillar ham mustaqil omil sifatida qaraldi.

Tadqiqotning nazariy asosini iqtisodiy-ekologik tizimlar barqarorligiga oid mahalliy va xorijiy olimlarning ishlari tashkil etadi.Iqtisodiy-ekologik tizimlarning mazmuni va mohiyati Iqtisodiy-ekologik tizim iqtisodiy faoliyat va tabiiy muhit o'rtasidagi o'zaro ta'sir munosabatlarini aks ettiruvchi murakkab ochiq tizim hisoblanadi. Mazkur tizimning asosiy maqsadi iqtisodiy o'sishni ta'minlash bilan bir vaqtda ekologik muvozanatni saqlashdan iborat.

Iqtisodiy-ekologik tizim quyidagi tarkibiy qismlardan tashkil topadi: tabiiy resurslar; ishlab chiqarish resurslari; inson kapitali; institutsional muhit; innovatsion texnologiyalar; ekologik infratuzilma.

Tizimning samaradorligi mazkur elementlarning mutanosib rivojlanishiga bog'liq. Iqtisodiy-ekologik tizimlarga ta'sir etuvchi omillar tasnifi Muallif tomonidan iqtisodiy-ekologik tizimlarga ta'sir etuvchi omillar oltita guruhga ajratildi.

1. Ekologik omillar.

Ekologik omillar iqtisodiy faoliyatning tabiiy muhit bilan o'zaro ta'sirini belgilaydi. Ularga: yer resurslari holati; suv resurslari; havo sifati; iqlim sharoiti; biologik xilma-xillik kiradi. Ekologik omillar iqtisodiy faoliyatning hududiy ixtisoslashuvini shakllantiruvchi asosiy omillar hisoblanadi.

2. Iqtisodiy omillar.

Iqtisodiy omillar iqtisodiy-ekologik tizimning moliyaviy va resurs salohiyatini belgilaydi. Ularga: yalpi hududiy mahsulot; investitsiyalar hajmi; sanoat ishlab chiqarishi; eksport salohiyati; tadbirkorlik faolligi kiradi.

3. Ijtimoiy omillar.

Ijtimoiy omillar aholining iqtisodiy jarayonlardagi ishtirokini belgilaydi. Jumladan: aholi soni; mehnat resurslari; ta'lim darajasi; aholi daromadlari; turmush sifati.

4. Institutsional omillar.

Institutsional muhit iqtisodiy-ekologik tizimlar samaradorligini ta’minlovchi muhim omil hisoblanadi. Ularga: davlat siyosati; huquqiy baza; ekologik standartlar; nazorat mexanizmlari; rag‘batlantirish instrumentlari kiradi.

5. Texnologik omillar.

Zamonaviy texnologiyalar iqtisodiy o‘sish va ekologik xavfsizlikni ta’minlashning muhim vositasi hisoblanadi. Ularga: raqamlashtirish; innovatsiyalar; energiya tejamkor texnologiyalar; qayta tiklanuvchi energiya manbalari; chiqindisiz texnologiyalar kiradi.

6. Ma’naviy-madaniy omillar.

Ushbu omil iqtisodiy-ekologik tizimlarda muhim ahamiyatga ega. Ularga: ekologik madaniyat; ekologik ta’lim; milliy an’analar; tabiatga munosabat; ekologik ong kiradi.

Mintaqaning iqtisodiy-ekologik tizimlarining barqaror rivojlanish darajasi hududning ichki va tashqi omillarini ijobiy yoki salbiy ta’siri natijasida belgilanadi.

Bizning fikrimizcha, yuqoridagi omillar iqtisodiy-ekologik tizimlarga majmuaviy holda ta’sir etadi, lekin birida yuz bergan o‘zgarish boshqalariga ham o‘z ta’sirini ko‘rsatadi. Demak, iqtisodiy-ekologik tizimlarning tashqi muhiti ta’sir etuvchi omillarning sinergetik samarasini amalga oshiriladi. Zero, omilli tahlil qilishda biz har birini alohida baholaymiz.

Ichki muhit omillariga iqtisodiy-ekologik tizimlarning oshirishga bevosita bog‘liq bo‘lgan shart-sharoitlar kiritiladi[7]. Ularga demografik holat, ishlab chiqarishning ekologizatsiyalashuvi, ekologik investitsiya, ekologik madaniyat an’analari kiradi.

Tizimning barqarorligi tashqi va ichki muhit ta’sirida shakllanadi. Tashqi omillar davlat ekologik siyosati; global iqlim o‘zgarishi; xalqaro bozor kon’yunkturasi; tashqi investitsiyalar; demografik jarayonlar.

Ichki omillar ishlab chiqarish texnologiyalari; resurslardan foydalanish samaradorligi; ekologik investitsiyalar; ekologik madaniyat; innovatsion faollik.

Iqtisodiy-ekologik tizimlarda omillar bir-biri bilan uzviy bog‘liq holda harakat qiladi.

Shu sababli tizimni baholashda omillarni alohida emas, balki kompleks holda tahlil qilish talab etiladi.

Iqtisodiy-ekologik tizim barqarorligini baholash uchun quyidagi funksiya taklif etiladi:

$$SET = f(ECO, ECOL, SOC, INS, TECH, CULT);$$

Bu yerda:

SET - iqtisodiy-ekologik tizim barqarorligi;

ECO - iqtisodiy omillar;

$ECOL$ - ekologik omillar;

SOC - ijtimoiy omillar;

INS - institutsional omillar;

$TECH$ - texnologik omillar;

$CULT$ - ma’naviy-madaniy omillar.

Ushbu model hududlarning barqaror rivojlanish darajasini majmuaviy baholash imkonini beradi.

Yuqoridagilardan shuni xulosa qilish mumkinki, hududning iqtisodiy-ekologik tizimlarini barqaror rivojlanishini ta’minlashda boshqarishni to‘g‘ri tashkil etish uchun omil va manbalarni joriy va istiqbolli holatda baholash lozim. Jumladan, mintaqada mavjud omillarni kompleks baholash asosida boshqaruvni tashkil etilishi barqaror iqtisodiy o‘sishni ta’minlaydi. Bunda, iqtisodiy-ijtimoiy omillar qatorida, ma’naviy-ma’rifiy masalalarga, urf-odat va an’analarga ham alohida e’tibor berish lozim.

Adabiyotlar

[1]. Rayzberg B.A., Lozovskiy L.Sh., Starodubseva Ye.B. Sovremennыy ekonomicheskiy slovarь. – M.: INFRA-M, 2006. – 495 s.

[2]. Reznik G.A., Malыshev A.A. Metodologicheskie podxodы k issledovaniyu faktorov ustoychivosti ekologo-ekonomicheskoy sistemы // Obщestvennыe nauki. – 2013. – №1. – S.136–145.

[3]. Малышев А.А., Солодков Н.Н. Факторы, влияющие на устойчивость эколого-экономической системы // Общественные науки. – 2014. – №1. – С.129–135.

[4]. Meadows D.H. The Limits to Growth. – New York: Universe Books, 1972.

[5]. Daly H. Ecological Economics and Sustainable Development. – Edward Elgar, 2007.
[6]. Costanza R. Ecological Economics. – New York: Columbia University Press, 1991.
[7]. Boboev H.B. Barqaror iqtisodiy rivojlanish nazariyasi. – Toshkent, 2021.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЯЗЫКОВОГО ОБРАЗОВАНИЯ: ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРЕПОДАВАНИЯ АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА

З.Т. Зокирова, студент группы 20-25 ТМЖ Г. Усмонов

Ферганский государственный технический университет
zokirova zulfiya56@g.mail.com
(Получена 16.04.2026 г.)

Аннотация: *В статье рассматриваются современные тенденции цифровизации языкового образования и их влияние на процесс преподавания английского языка. Особое внимание уделяется педагогическим аспектам использования цифровых технологий, интерактивных платформ, онлайн-ресурсов и искусственного интеллекта в обучении иностранным языкам.*

Ключевые слова: *цифровизация образования, языковое образование, английский язык, цифровые технологии, педагогика, онлайн-обучение, искусственный интеллект, образовательные платформы, цифровая компетентность, инновационные методы обучения.*

I.Введение: Современный этап развития общества характеризуется активным внедрением цифровых технологий практически во все сферы человеческой деятельности. Образовательная система не является исключением и сегодня переживает масштабную трансформацию, связанную с переходом к цифровым формам организации обучения. Развитие информационно-коммуникационных технологий, искусственного интеллекта, онлайн-платформ и электронных образовательных ресурсов оказывает существенное влияние на содержание, методы и формы обучения, создавая новые возможности для повышения качества образования.

Особую актуальность процессы цифровизации приобретают в сфере языкового образования, поскольку владение иностранными языками становится важнейшим условием успешной профессиональной и межкультурной коммуникации в условиях глобализации. Английский язык, являясь международным средством общения, занимает ключевое место в образовательных программах большинства стран мира. В связи с этим возрастает необходимость поиска эффективных педагогических подходов, обеспечивающих высокий уровень языковой подготовки обучающихся с использованием современных цифровых технологий.

Цифровая образовательная среда предоставляет широкий спектр инструментов для совершенствования процесса преподавания английского языка. Использование интерактивных платформ, мобильных приложений, виртуальных образовательных ресурсов, систем дистанционного обучения и технологий искусственного интеллекта способствует развитию коммуникативных навыков, повышению мотивации обучающихся и созданию условий для индивидуализации образовательного процесса. Вместе с тем цифровизация ставит перед педагогами новые задачи, связанные с выбором эффективных методик обучения, развитием цифровой компетентности преподавателей и обеспечением качества образовательного взаимодействия в онлайн-среде.

Несмотря на значительное количество исследований, посвященных вопросам цифровой трансформации образования, многие аспекты педагогического сопровождения процесса обучения английскому языку в цифровой среде требуют дальнейшего научного осмысления. Особое значение приобретает изучение возможностей интеграции

инновационных технологий в образовательную практику с учетом современных требований к формированию языковых и цифровых компетенций обучающихся.

Целью данной статьи является анализ педагогических аспектов цифровизации языкового образования и определение особенностей применения цифровых технологий в процессе преподавания английского языка. Для достижения поставленной цели рассматриваются современные цифровые инструменты обучения, их влияние на эффективность образовательного процесса, а также перспективы развития цифровой образовательной среды в контексте преподавания английского языка.

Научная значимость исследования заключается в систематизации современных подходов к использованию цифровых технологий в языковом образовании и выявлении их педагогического потенциала. Практическая значимость работы состоит в возможности применения представленных выводов и рекомендаций при организации процесса обучения английскому языку в образовательных учреждениях различных уровней.

II.Методология исследования: Методологической основой исследования выступают современные концепции цифровой трансформации образования, компетентностный, личностно-ориентированный и коммуникативный подходы к обучению иностранным языкам. Исследование базируется на принципах интеграции цифровых технологий в образовательный процесс и направлено на выявление их педагогического потенциала в преподавании английского языка.

Объектом исследования является процесс языкового образования в условиях цифровизации образовательной среды. Предметом исследования выступают педагогические аспекты использования цифровых технологий в процессе обучения английскому языку.[1]

В процессе исследования применялся сравнительный анализ отечественного и зарубежного опыта внедрения цифровых образовательных технологий в языковое образование. Это позволило выявить наиболее эффективные практики использования электронных образовательных ресурсов, интерактивных платформ, мобильных приложений и инструментов искусственного интеллекта в преподавании английского языка.

Системный подход позволил рассматривать цифровизацию языкового образования как комплексный процесс взаимодействия педагогических, технологических и организационных компонентов. При этом цифровые технологии анализировались не только как технические средства обучения, но и как инструменты формирования новой образовательной среды, обеспечивающей персонализацию обучения, расширение возможностей межкультурной коммуникации и повышение доступности образовательных ресурсов.[2]

Обработка и интерпретация полученных результатов осуществлялись на основе методов качественного анализа и педагогического обобщения. Это позволило определить основные преимущества и ограничения использования цифровых технологий в преподавании английского языка, а также сформулировать рекомендации по повышению эффективности их применения в современной образовательной практике.

Таким образом, выбранная методология исследования обеспечивает комплексное изучение педагогических аспектов цифровизации языкового образования и создает научную основу для оценки перспектив дальнейшего развития цифровых технологий в обучении английскому языку.

III. Научно-теоретические предложения и рекомендации: Проведенное исследование показало, что цифровизация языкового образования является одним из ключевых факторов повышения эффективности преподавания английского языка в современных условиях. Интеграция цифровых технологий в образовательный процесс способствует развитию языковых компетенций обучающихся, повышению их мотивации и формированию навыков самостоятельной работы. Вместе с тем успешная цифровая трансформация языкового образования требует совершенствования педагогических подходов и методического обеспечения учебного процесса.

На основе результатов исследования предлагается рассматривать цифровую образовательную среду не только как совокупность технических средств обучения, но и как педагогическую систему, обеспечивающую взаимодействие преподавателя и обучающихся посредством современных информационно-коммуникационных технологий. Такой подход позволяет расширить возможности персонализированного обучения и повысить качество усвоения учебного материала.[3]

В научно-теоретическом аспекте целесообразно разработать интегрированную модель цифрового языкового образования, основанную на сочетании коммуникативного, компетентностного и цифрового подходов. Данная модель должна обеспечивать формирование не только языковых знаний и навыков, но и цифровой грамотности, критического мышления, способности к самостоятельному поиску и анализу информации.

Перспективным направлением развития языкового образования является более широкое использование технологий искусственного интеллекта в преподавании английского языка. Инструменты искусственного интеллекта способны обеспечивать адаптацию учебного контента к индивидуальным особенностям обучающихся, автоматизированную обратную связь, мониторинг учебных достижений и поддержку самостоятельной языковой практики. Однако применение таких технологий должно сопровождаться сохранением ведущей роли преподавателя в организации образовательного процесса и развитии коммуникативных компетенций обучающихся.

В целях повышения эффективности преподавания английского языка рекомендуется:
– совершенствовать цифровую компетентность преподавателей посредством систематического повышения квалификации в области образовательных технологий;
– расширять использование интерактивных образовательных платформ, мобильных приложений и мультимедийных ресурсов в учебном процессе;
– внедрять адаптивные цифровые инструменты, учитывающие уровень языковой подготовки и индивидуальные особенности обучающихся;
– развивать смешанные формы обучения, сочетающие традиционные и цифровые методы преподавания;
– использовать возможности искусственного интеллекта для организации персонализированного обучения и формирования навыков самостоятельной работы;
– совершенствовать механизмы оценки результатов обучения посредством цифровых систем мониторинга и анализа образовательных достижений.

Таким образом, дальнейшее развитие языкового образования должно быть направлено на формирование гибкой цифровой образовательной среды, обеспечивающей качественное преподавание английского языка, развитие профессиональных компетенций преподавателей и подготовку обучающихся к успешной деятельности в условиях цифрового общества.[4]

IV.Обсуждение: Результаты проведенного исследования подтверждают, что цифровизация языкового образования оказывает существенное влияние на содержание и организацию процесса преподавания английского языка. Современные цифровые технологии становятся неотъемлемой частью образовательной среды, обеспечивая новые возможности для развития коммуникативных навыков, совершенствования языковых компетенций и повышения эффективности обучения в целом.

Полученные результаты согласуются с выводами Т. Бейтса, который рассматривает цифровые технологии как инструмент модернизации образовательного процесса и повышения его доступности для различных категорий обучающихся. В условиях цифровой трансформации образование перестает ограничиваться традиционными формами взаимодействия между преподавателем и обучающимся, приобретая более гибкий и персонализированный характер.[5]

Особого внимания заслуживает вопрос внедрения технологий искусственного интеллекта в языковое образование. Результаты исследования свидетельствуют о том, что интеллектуальные цифровые системы способны значительно повысить эффективность обучения за счет адаптации содержания учебных материалов к индивидуальным

особенностям обучающихся. Аналогичные выводы представлены в работах К. Шапель, которая подчеркивает важность использования компьютерных технологий для развития языковых навыков и формирования автономности обучающихся.

Важным аспектом обсуждаемой проблемы является изменение роли преподавателя в условиях цифровизации. Если ранее преподаватель выступал преимущественно источником знаний, то в современной образовательной среде его функции расширяются и включают организацию учебного взаимодействия, сопровождение индивидуальных образовательных траекторий и развитие цифровой культуры обучающихся. Такой подход соответствует современным тенденциям развития педагогики и отвечает требованиям цифрового общества.

Таким образом, результаты исследования подтверждают необходимость дальнейшего развития цифровых технологий в языковом образовании. Вместе с тем успешная цифровизация преподавания английского языка требует комплексного подхода, предусматривающего совершенствование методического обеспечения, повышение квалификации педагогических кадров и создание условий для эффективной интеграции инновационных технологий в образовательный процесс. Только при соблюдении данных условий цифровые технологии смогут стать действенным инструментом повышения качества языкового образования и формирования конкурентоспособных специалистов, способных эффективно функционировать в глобальном информационном пространстве.

V.Выводы и предложения: Проведенное исследование позволило установить, что цифровизация языкового образования выступает одним из ключевых направлений модернизации современной системы обучения иностранным языкам. В условиях стремительного развития информационно-коммуникационных технологий цифровые инструменты становятся важным компонентом образовательного процесса, способствуя повышению качества преподавания английского языка и расширению возможностей для формирования языковых компетенций обучающихся.

Результаты исследования также подтверждают, что внедрение цифровых решений способствует расширению образовательного пространства за счет использования онлайн-платформ, виртуальных средств коммуникации и международных образовательных ресурсов. Это создает дополнительные возможности для развития межкультурной коммуникации и практического применения английского языка в реальных коммуникативных ситуациях.

На основании проведенного исследования предлагаются следующие рекомендации:

-разработать комплексные программы повышения квалификации преподавателей английского языка, направленные на развитие цифровой педагогической компетентности и освоение современных образовательных технологий.

-расширить использование интерактивных цифровых платформ и систем управления обучением (LMS) для организации учебного процесса, контроля знаний и обеспечения обратной связи между преподавателем и обучающимися.

-интегрировать технологии искусственного интеллекта в процесс обучения английскому языку для адаптации образовательного контента, автоматизации оценки результатов обучения и поддержки индивидуальных образовательных траекторий обучающихся.

-развивать модели смешанного обучения (Blended Learning), обеспечивающие эффективное сочетание традиционных и цифровых форм преподавания английского языка.

-совершенствовать методическое обеспечение цифрового языкового образования путем разработки электронных учебных материалов, интерактивных заданий и цифровых образовательных ресурсов, ориентированных на формирование коммуникативных компетенций обучающихся.

-усилить научные исследования в области педагогических аспектов цифровизации языкового образования, уделяя особое внимание вопросам эффективности применения искусственного интеллекта, адаптивных образовательных технологий и цифровой оценки результатов обучения.

Таким образом, цифровизация языкового образования открывает новые перспективы для совершенствования преподавания английского языка и повышения качества подготовки обучающихся. Дальнейшее развитие данной сферы должно основываться на комплексном сочетании инновационных технологий, современных педагогических подходов и системной подготовки преподавателей к работе в условиях цифровой образовательной среды.

Список литературы:

[1]. Bates T. Teaching in a Digital Age: Guidelines for Designing Teaching and Learning. Vancouver: B C campus, 2022.
[2]. Richards J.C. Key Issues in Language Teaching, Cambridge: Cambridge University Press, 2018.
[3]. Chapelle C.A. Computer Applications in Second Language Acquisition: Foundations for Teaching, Testing and Research, Cambridge: Cambridge University Press, 2020.
[4]. Graham C.R. Blended Learning Systems: Definition, Current Trends and Future Directions, The Handbook of Blended Learning, San Francisco: Pfeiffer, 2020.
[5]. Council of Europe. Common European Framework of Reference for Languages: Learning, Teaching, Assessment. Companion Volume, Strasbourg: Council of Europe Publishing, 2020.

СМАРТ-УПРАВЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИМ ПОТЕНЦИАЛОМ В ТЕКСТИЛЬНОЙ ОТРАСЛИ: МЕТОДОЛОГИЯ И ПРАКТИКА

М.М. Рустамова, студент группы 85-23 Mr А.У. Мирзафаров

Ферганский государственный технический университет
e-mail: M.Rustamova1005@gmail.com
(Получена 16.04.2026 г.)

Аннотация: *В статье исследуются теоретико-методологические основы смарт-управления экономическим потенциалом предприятий текстильной отрасли в условиях цифровой трансформации экономики. Рассмотрены сущность и структура экономического потенциала предприятия, а также современные подходы к его оценке и управлению.*

Ключевые слова: *смарт-управление, экономический потенциал, текстильная отрасль, цифровая трансформация, KPI, эффективность управления, интеллектуальные технологии, конкурентоспособность, устойчивое развитие, цифровизация.*

I.Введение: В условиях ускоренного развития цифровой экономики и перехода к принципам Индустрии 4.0 особую актуальность приобретает проблема повышения эффективности использования экономического потенциала предприятий. В современных условиях хозяйствования конкурентоспособность организаций определяется не только объемом имеющихся ресурсов, но и способностью эффективно управлять ими на основе современных цифровых технологий, интеллектуальных систем анализа данных и автоматизированных механизмов принятия управленческих решений.

Текстильная отрасль является одной из стратегически важных отраслей промышленности Республики Узбекистан, обеспечивающей значительную долю промышленного производства, занятости населения и экспортных поступлений страны. Реализуемые государственные программы модернизации промышленности, расширения экспортного потенциала и цифровой трансформации предприятий направлены на повышение эффективности деятельности хозяйствующих субъектов и укрепление их позиций на мировом рынке. В этих условиях особое значение приобретает совершенствование механизмов управления экономическим потенциалом текстильных предприятий.

Современные тенденции развития мировой экономики свидетельствуют о широком внедрении цифровых технологий, искусственного интеллекта, больших данных (Big Data), облачных вычислений, интернета вещей (IoT) и аналитических платформ в процессы управления предприятиями. Использование данных технологий формирует концепцию смарт-управления (Smart Management), которая предполагает интеграцию информационных систем, интеллектуального

анализа данных и инструментов стратегического управления для повышения эффективности использования ресурсов предприятия.[1]

Теоретические и практические аспекты управления экономическим потенциалом предприятий нашли отражение в трудах отечественных и зарубежных ученых. Существенный вклад в развитие теории экономического потенциала внесли В.В. Иванов, В.В. Гончаров, М. Портер, Р. Каплан, Д. Нортон и другие исследователи. Вопросы цифровой трансформации бизнеса, внедрения интеллектуальных технологий управления и применения ключевых показателей эффективности (KPI) рассмотрены в работах современных ученых и международных организаций. Вместе с тем недостаточно изученными остаются вопросы формирования комплексного механизма смарт-управления экономическим потенциалом предприятий текстильной отрасли с учетом особенностей цифровой экономики и современных требований к устойчивому развитию.

Целью исследования является разработка теоретико-методологических основ смарт-управления экономическим потенциалом предприятий текстильной отрасли и формирование практических рекомендаций по повышению эффективности использования производственных, финансовых, кадровых и инновационных ресурсов в условиях цифровой трансформации экономики.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

– исследовать сущность и структуру экономического потенциала предприятия;

– изучить современные подходы к смарт-управлению в промышленности;

– определить влияние цифровых технологий на эффективность использования экономического потенциала;

– разработать систему ключевых показателей эффективности (KPI) для оценки результативности управления;

– сформировать модель смарт-управления экономическим потенциалом предприятий текстильной отрасли;

– разработать практические рекомендации по совершенствованию системы управления на основе цифровых технологий.

Объектом исследования выступают предприятия текстильной отрасли Республики Узбекистан.

Предметом исследования являются организационно-экономические отношения, возникающие в процессе формирования и реализации механизмов смарт-управления экономическим потенциалом предприятий текстильной промышленности.

Научная новизна исследования заключается в разработке концептуального подхода к смарт-управлению экономическим потенциалом текстильных предприятий на основе интеграции цифровых технологий, системы KPI и интеллектуальных инструментов анализа данных, обеспечивающих повышение эффективности использования ресурсов и устойчивое развитие предприятий в условиях цифровой экономики.

Теоретическая и практическая значимость исследования состоит в возможности использования разработанных рекомендаций при формировании стратегий цифровой трансформации предприятий текстильной отрасли, совершенствовании систем управления и повышении конкурентоспособности отечественных производителей на внутреннем и внешнем рынках.

II.Методология исследования: Методологической основой исследования послужили фундаментальные положения экономической теории, концепции стратегического менеджмента, теории управления экономическим потенциалом предприятия, а также современные подходы к цифровой трансформации промышленности и смарт-управлению бизнес-процессами. При проведении исследования использованы научные труды отечественных и зарубежных ученых, посвященные вопросам повышения эффективности управления ресурсами предприятий, внедрения цифровых технологий и формирования конкурентных преимуществ в условиях цифровой экономики. [2]

С целью выявления особенностей управления экономическим потенциалом предприятий текстильной отрасли использован сравнительный анализ отечественного и зарубежного опыта внедрения цифровых технологий в систему управления промышленными предприятиями. Экономико-статистические методы применялись для оценки влияния цифровизации на показатели эффективности деятельности предприятий, производительность труда, уровень использования производственных мощностей и финансовые результаты.

Для оценки эффективности управления экономическим потенциалом предложено использование системы ключевых показателей эффективности (Key Performance Indicators – KPI), позволяющей осуществлять комплексный мониторинг результатов деятельности предприятия.

Формирование системы KPI осуществлялось с учетом специфики текстильной отрасли и необходимости оценки результативности использования различных видов ресурсов.

В качестве основных показателей оценки экономического потенциала предлагается использовать следующие группы индикаторов:

-производственные показатели (производительность труда, коэффициент загрузки оборудования, объем выпуска продукции);

-финансовые показатели (рентабельность продаж, рентабельность активов, ликвидность);

-кадровые показатели (выработка на одного работника, уровень текучести кадров, квалификация персонала);

-инновационные показатели (доля инновационной продукции, объем инвестиций в инновации);

-цифровые показатели (уровень автоматизации процессов, степень цифровизации управления, использование информационных систем).

Методология исследования основывается на концепции смарт-управления, предусматривающей интеграцию современных цифровых технологий в систему управления экономическим потенциалом предприятия.

Важным элементом предлагаемой методологии является использование цифровых платформ управления, ERP-систем, технологий Business Intelligence (BI), инструментов искусственного интеллекта и больших данных (Big Data), обеспечивающих оперативность принятия решений и повышение качества управления. [3]

III. Научно-теоретические предложения и рекомендации. В современных условиях цифровой трансформации экономики повышение эффективности использования экономического потенциала предприятий текстильной отрасли требует применения новых управленческих подходов, основанных на интеграции цифровых технологий и интеллектуальных методов анализа данных. Проведенное исследование показало, что существующие системы управления на многих предприятиях ориентированы преимущественно на контроль текущих производственных и финансовых показателей, что ограничивает возможности оперативного реагирования на изменения внешней среды и снижает эффективность использования имеющихся ресурсов.

На основе проведенного анализа предлагается авторская концепция смарт-управления экономическим потенциалом предприятия текстильной отрасли, основанная на комплексной интеграции производственного, финансового, кадрового, инновационного и цифрового потенциалов в единую систему стратегического управления.

В отличие от традиционных подходов, предложенная модель предполагает непрерывное получение, обработку и анализ информации о деятельности предприятия посредством современных цифровых технологий. Центральное место в модели занимает цифровая платформа управления, объединяющая ERP-системы, инструменты Business Intelligence (BI), технологии Big Data, искусственный интеллект и облачные сервисы.

Научная новизна предлагаемого подхода заключается в выделении цифрового потенциала как самостоятельного элемента экономического потенциала предприятия и его интеграции с другими ресурсными компонентами в рамках единой системы смарт-управления.

В рамках исследования предлагается следующая структура экономического потенциала предприятия текстильной отрасли.

Структура экономического потенциала предприятия в условиях смарт-управления.

Компонент потенциала	Основное содержание	Ожидаемый результат
Производственный	Производственные мощности, оборудование, технологии	Рост объемов производства
Финансовый	Финансовые ресурсы и инвестиционные возможности	Повышение рентабельности
Кадровый	Компетенции и квалификация персонала	Рост производительности труда
Инновационный	НИОКР, новые технологии и продукты	Повышение конкурентоспособности
Цифровой	Информационные системы, цифровые платформы и данные	Повышение эффективности управления

Предлагаемая модель смарт-управления предусматривает использование системы ключевых показателей эффективности (KPI), обеспечивающих объективную оценку результативности использования экономического потенциала предприятия.

Рекомендуемая система KPI для предприятий текстильной отрасли.

Направление оценки	Показатель
Производственная эффективность	Производительность труда
Финансовая эффективность	Рентабельность продаж
Использование мощностей	Коэффициент загрузки оборудования
Инновационная активность	Доля инновационной продукции
Цифровая зрелость	Уровень автоматизации процессов
Экспортный потенциал	Объем экспорта на одного работника

Проведенный анализ позволил определить основные направления совершенствования управления экономическим потенциалом предприятий текстильной отрасли.

Во-первых, необходимо обеспечить внедрение интегрированных ERP-систем, позволяющих автоматизировать процессы учета, планирования и контроля ресурсов предприятия.

Во-вторых, рекомендуется использовать технологии Business Intelligence и Big Data для анализа производственных и финансовых показателей в режиме реального времени. Это позволит своевременно выявлять отклонения от плановых показателей и принимать обоснованные управленческие решения.

В-третьих, целесообразно внедрение интеллектуальных систем прогнозирования, основанных на алгоритмах искусственного интеллекта и машинного обучения. Использование данных инструментов позволит прогнозировать изменения спроса, объемов производства и финансовых результатов деятельности предприятия.

В-четвертых, особое внимание следует уделить развитию цифровых компетенций управленческого персонала. Подготовка специалистов, способных эффективно использовать современные цифровые технологии, является важным условием успешной реализации концепции смарт-управления.

IV.Обсуждение: Результаты проведенного исследования подтверждают, что в условиях цифровой трансформации экономики эффективность деятельности предприятий текстильной отрасли в значительной степени зависит от уровня использования их экономического потенциала и качества управленческих решений. Традиционные методы управления ресурсами предприятия, основанные преимущественно на периодическом анализе финансовых и производственных показателей, не позволяют обеспечить необходимую оперативность реагирования на изменения внешней и внутренней среды.

Проведенный анализ показал, что внедрение концепции смарт-управления способствует формированию единой цифровой среды управления, обеспечивающей непрерывный мониторинг производственных, финансовых, кадровых и инновационных показателей. Использование цифровых платформ и интеллектуальных аналитических систем позволяет своевременно выявлять отклонения от запланированных показателей, прогнозировать возможные риски и принимать обоснованные управленческие решения.

Полученные результаты согласуются с выводами зарубежных исследователей, которые отмечают, что цифровизация процессов управления способствует повышению производительности труда, сокращению операционных издержек и улучшению качества продукции. В частности, исследования в области цифрового менеджмента показывают, что применение технологий Big Data, Business Intelligence и искусственного интеллекта позволяет существенно повысить эффективность использования ресурсов предприятия и обеспечить устойчивое конкурентное преимущество на рынке**.** [4]

Предлагаемая модель смарт-управления экономическим потенциалом отличается комплексным подходом к управлению ресурсами предприятия и предусматривает интеграцию производственного, финансового, кадрового, инновационного и цифрового потенциала в единую систему стратегического управления. Практическая реализация данной модели позволяет обеспечить более рациональное распределение ресурсов, повысить эффективность их использования и создать условия для устойчивого развития предприятия. [5]

V.Выводы и предложения: Проведенное исследование теоретических и практических аспектов смарт-управления экономическим потенциалом предприятий текстильной отрасли позволило сформулировать следующие выводы и предложения.

Во-первых, установлено, что в условиях цифровой экономики экономический потенциал предприятия представляет собой сложную многоуровневую систему, включающую производственные, финансовые, кадровые, инновационные и информационные ресурсы.

Эффективность деятельности текстильных предприятий во многом определяется уровнем их интеграции и рациональностью использования.

Во-вторых, выявлено, что традиционные методы управления экономическим потенциалом не в полной мере соответствуют современным требованиям цифровой трансформации. Ограниченность информационной базы, недостаточная оперативность принятия решений и отсутствие комплексного мониторинга ресурсов снижают эффективность управления и конкурентоспособность предприятий. [6]

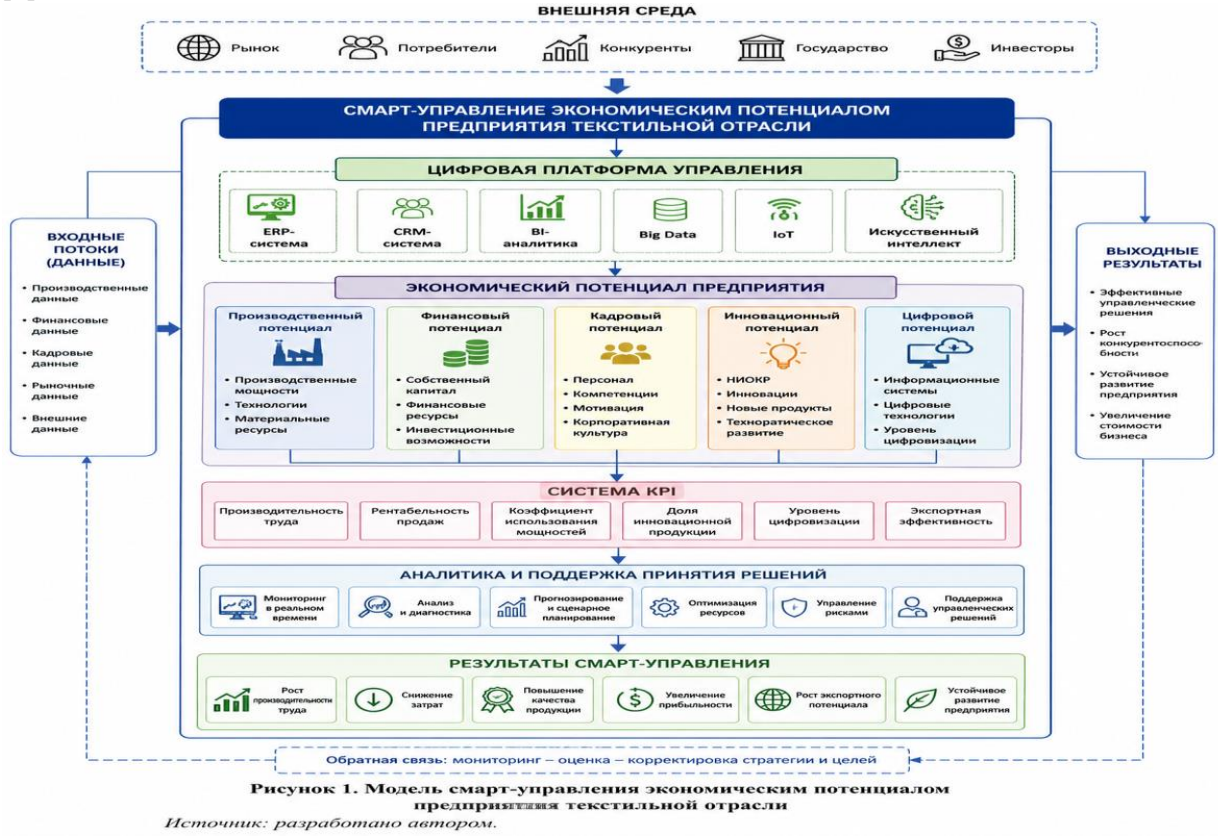


Рисунок 1. Модель смарт-управления экономическим потенциалом предприятия текстильной отрасли

Источник: разработано автором.

В-третьих, обоснована целесообразность внедрения концепции смарт-управления, основанной на использовании цифровых технологий, интеллектуальных информационных систем и аналитических инструментов обработки данных. Применение современных цифровых решений способствует повышению прозрачности бизнес-процессов, ускорению управленческих решений и более эффективному использованию экономического потенциала предприятия.

В-четвертых, разработана система ключевых показателей эффективности (KPI), позволяющая осуществлять комплексную оценку результатов деятельности предприятий текстильной отрасли. Предлагаемая система включает показатели производственной, финансовой, кадровой, инновационной и цифровой эффективности, обеспечивая объективный контроль достижения стратегических целей предприятия.

В-пятых, предложена концептуальная модель смарт-управления экономическим потенциалом текстильного предприятия, основанная на интеграции цифровых платформ управления, ERP-систем, технологий Business Intelligence, больших данных (Big Data) и интеллектуальных инструментов поддержки принятия решений. Реализация данной модели обеспечивает повышение эффективности использования ресурсов и укрепление конкурентных преимуществ предприятия.

В-шестых, результаты исследования подтверждают, что цифровизация процессов управления способствует росту производительности труда, снижению производственных затрат, повышению качества продукции и расширению экспортного потенциала предприятий текстильной отрасли. Это создает дополнительные условия для устойчивого развития предприятий и повышения их инвестиционной привлекательности [7].

Таким образом, внедрение механизмов смарт-управления экономическим потенциалом позволяет обеспечить более эффективное использование ресурсов текстильных предприятий, повысить их конкурентоспособность и создать условия для устойчивого развития отрасли в условиях цифровой экономики.

Список литературы:
[1]. Rustamova M.M., Information support for management of investment activities in the conditions of a competitive environment at industrial enteprises of Uzbekistan, Asian Journal of Research in Social Sciences and Humanities, February 2022
[2]. Ахмедов Ш. М. Развитие текстильной промышленности в условиях цифровой экономики, Ташкент: Fan va texnologiya, 2022.
[3]. Гончаров В. В. Стратегический менеджмент и конкурентоспособность предприятий, М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2019.
[4]. Рустамова М.М. Тўкимачилик корхоналарида инвестиция фаолиятини бошкариш самарадорлиги, Бизнес-эксперт, 2022 й.
[5]. Иванов В. В. Экономический потенциал предприятия: теория и практика управления, М.: Инфра-М, 2020.
[6]. Абдуллаев А.А., Исмаилов Б.Б. Цифровая трансформация промышленных предприятий Узбекистана, Экономика и инновационные технологии, 2023.
[7]. Ходжаев Б.Х. Современные подходы к управлению экономическим потенциалом промышленных предприятий, Вестник ТГЭУ, 2023.

XALQ PEDAGOGIKASI TALABALARDA VATANPARVARLIK TUYG‘USINI RIVOJLANTIRISHNING SAMARALI VOSITASI SIFATIDA

Z.M. Otaxonova

Farg‘ona Davlar texnika universiteti
E-mail Otakhonova71@mail.ru
ORCID 0009-0009-7265-0575
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Maqolada xalq pedagogikasining talabalarda vatanparvarlik tuyg‘usini rivojlantirishdagi tarbiyaviy imkoniyatlari ilmiy-pedagogik jihatdan yoritilgan. Xalq og‘zaki ijodi, milliy urf-odatlar, tarixiy xotira, ajdodlar merosi, maqol, matal, doston, rivoyat va marosimlarning yoshlar ma’naviy dunyosiga ta’siri tahlil qilingan. Talabalarda Vatanga sadoqat, fuqarolik mas’uliyati, milliy o‘zlikni anglash, ijtimoiy faollik va ma’naviy barqarorlikni shakllantirishda xalq pedagogikasi muhim didaktik hamda tarbiyaviy manba sifatida ko‘rib chiqilgan. Xalq pedagogikasiga tayanilgan mashg‘ulotlar, ijodiy topshiriqlar, tarixiy-ma’naviy suhbatlar, mahalla va oila qadriyatlariga asoslangan tarbiyaviy ishlar talabalarning vatanparvarlik qarashlarini mustahkamlashi asoslangan.*

Tayanch so‘zlar: *xalq pedagogikasi, vatanparvarlik, talaba, milliy qadriyat, ma’naviy tarbiya, xalq og‘zaki ijodi, tarixiy xotira, fuqarolik mas’uliyati.*

1. Kirish

Bugungi ta’lim jarayonida talabalarda vatanparvarlik tuyg‘usini rivojlantirish masalasi davlat, jamiyat va oliy ta’lim muassasalari oldida turgan muhim pedagogik vazifalardan biri sanaladi . Vatanparvarlik hissiy kechinma doirasi bilan cheklanmay, shaxsning ijtimoiy pozitsiyasi, fuqarolik mas’uliyati, tarixiy xotirasi, milliy qadriyatlarga ongli munosabati hamda amaliy faoliyatida namoyon bo‘ladigan murakkab ma’naviy sifat sifatida talqin qilinadi.

Talabalik davri shaxs dunyoqarashi, kasbiy yo‘nalishi, ijtimoiy mas’uliyati va ma’naviy ideallari faol shakllanadigan bosqich sifatida alohida ahamiyatga ega. Talabalik yoshi davrida yigit-qizlar jamiyat hayotidagi o‘z o‘rnini anglashga, tanlagan kasbi orqali xalq manfaatiga yo‘naltirilgan faoliyat yo‘llarini belgilashga intilgani bois vatanparvarlik tarbiyasi talaba shaxsining ma’naviy kamoloti, ijtimoiy mas’uliyati va fuqarolik pozitsiyasini rivojlantirish bilan uzviy bog‘liq pedagogik jarayon sifatida talqin qilinadi.

Xalq pedagogikasi ko‘p asrlik tarbiyaviy tajriba, xalqning hayotiy donishmandligi, axloqiy qarashlari, milliy o‘zlikni saqlashga qaratilgan qadriyatlari va ijtimoiy tarbiya usullarini o‘zida mujassamlashtiradi. Xalq pedagogikasida ota-onaga hurmat, yurtga sadoqat, jasorat, halollik, mehnatsevarlik, kattalarga ehtirom hamda el-yurt manfaatini shaxsiy manfaatdan ustun qo‘yish g‘oyalari yetakchi o‘rin egallagani sababli, u talabalarda vatanparvarlik tuyg‘usini rivojlantirishning tabiiy, ta’sirchan va hayotiy mazmunga ega pedagogik vositasi sifatida namoyon bo‘ladi.

Xalq pedagogikasi materiallari talabani milliy madaniyat bilan bog‘laydi, ajdodlar tajribasini anglashga undaydi, tarixiy qahramonlar, xalq dostonlari va rivoyatlaridagi obrazlar orqali Vatan tushunchasini jonli mazmun bilan boyitadi. Talaba doston, maqol, hikmatli so‘z yoki tarixiy rivoyatni o‘rganar ekan, unda badiiy matnni anglash malakasi bilan bir qatorda yurt taqdiri, xalq sha’ni, milliy g‘urur, fidoyilik va ijtimoiy burch haqida mustaqil fikr shakllanadi.

Tadqiqotning maqsadi xalq pedagogikasining talabalarda vatanparvarlik tuyg‘usini rivojlantirishdagi pedagogik imkoniyatlarini aniqlash, uning mazmuniy va metodik jihatlarini yoritishdan iborat. Tadqiqot predmeti sifatida oliy ta’lim jarayonida xalq pedagogikasi materiallari orqali talabalarda vatanparvarlik tuyg‘usini rivojlantirish jarayoni tanlandi.

2. Adabiyotlar tahlili va tadqiqot metodlari

O‘zbek pedagogik tafakkurida tarbiya masalasi qadimdan xalq hayoti, milliy qadriyatlar, oila va jamoa munosabatlari bilan uzviy bog‘langan holda talqin qilingan. Abdulla Avloniy tarbiyani inson kamoloti, jamiyat taraqqiyoti va millat istiqboli bilan uzviy bog‘liq jarayon sifatida talqin qilib, axloqiy tarbiya haqidagi qarashlarida Vatan, millat, ilm, odob va mas’uliyat tushunchalarini yagona ma’naviy tizim doirasida asoslaydi [1].

Abdurauf Fitrat oila tarbiyasi, ota-ona mas’uliyati, farzand kamoloti va millat kelajagi o‘rtasidagi bog‘liqlikni chuqur yoritgan. Fitrat yondashuvida shaxs tarbiyasi alohida xonadon chegarasi bilan cheklanmay, milliy uyg‘onish, ma’naviy yetuklik va ijtimoiy javobgarlik bilan uyg‘unlashgan keng pedagogik-ijtimoiy jarayon sifatida talqin qilinadi [2]. Tahlil qilngan qarashlar xalq pedagogikasida mavjud oilaviy mas’uliyat, avlodlar davomiyligi va yurt sha’nini asrash g‘oyalari bilan hamohangdir.

O. Musurmonova yoshlar tarbiyasida ma’naviy qadriyatlarning o‘rnini alohida ko‘rsatib, milliy merosga tayangan tarbiyaviy jarayon shaxsda ijtimoiy mas’uliyat, axloqiy tanlov va ma’naviy barqarorlikni mustahkamlashini asoslaydi [4]. M. Quronov milliy tarbiya masalasini shaxsning o‘z xalqi tarixi, tili, madaniyati, ma’naviy merosi va ijtimoiy burchiga ongli munosabatini rivojlantirish jarayoni sifatida yoritadi [7]. S. Nishonova komil inson tarbiyasida milliy va umuminsoniy qadriyatlar uyg‘unligiga e’tibor qaratib, yosh avlodning ma’naviy qiyofasini shakllantirishda tarbiyaviy muhitning ahamiyatini ko‘rsatadi [5]. Pedagogika fanida xalq pedagogikasi talabalarning intellektual, axloqiy, estetik va ijtimoiy rivojlanishiga ta’sir ko‘rsatuvchi ko‘p qirrali manba sifatida baholanib, uning didaktik mazmuni obraz, voqea, ramz, ibrat, savol va hayotiy vaziyatlar orqali shaxs ongiga singadigan tarbiyaviy ta’sir mexanizmi bilan ajralib turadi.

Tadqiqot davomida ilmiy-pedagogik adabiyotlar tahlili, qiyosiy tahlil, umumlashtirish, pedagogik kuzatish va mazmuniy tahlil metodlaridan foydalanildi. Xalq og‘zaki ijodi namunalarining tarbiyaviy mazmuni, oliy ta’limdagi tarbiyaviy ishlar bilan bog‘lanish imkoniyatlari, talabalarning vatanparvarlikka oid qarashlarini shakllantirish yo‘llari o‘rganildi.

3. Xalq pedagogikasining vatanparvarlik mazmuni

Xalq pedagogikasining vatanparvarlik mazmuni xalqning tarixiy xotirasi, milliy qahramonlar haqidagi tasavvurlari, el-yurt sha’ni uchun kurashgan ajdodlar obrazlari, oila va mahalla muhitida shakllangan tarbiyaviy me’yorlar orqali namoyon bo‘ladi. “El uchun yashash”, “Yurt tinchligi”, “Ona tuproq”, “Ota makon”, “El duosi”, “Vatan qadri” kabi tushunchalar xalq tafakkurida avloddan avlodga o‘tgan tarbiyaviy me’yor, axloqiy talab va ijtimoiy mas’uliyat shaklida yashab kelgan.

Maqollar xalq pedagogikasining eng ixcham va ta’sirchan vositalaridan biridir. “Vataning tinch, sen tinch”, “Elga qo‘shilgan er bo‘lar”, “Yurtidan ayrilgan yetim”, “Ona yurting omon bo‘lsa, rangi-ro‘ying somon bo‘lmas” kabi xalq hikmatlarida Vatan qadri, el bilan birlik, yurt tinchligining inson hayotidagi o‘rni obrazli ifoda topgan. Talabalar bilan ishlash jarayonida ko‘rsatilgan maqollarni faqat yod oldirish yetarli pedagogik samara bermagani bois, ularning mazmunini hayotiy vaziyatlar, tarixiy misollar, zamonaviy fuqarolik mas’uliyati va kasbiy faoliyat bilan bog‘lab tahlil qilish tarbiyaviy ta’sirni kuchaytiradi.

Doston va rivoyatlar xalq pedagogikasida vatanparvarlikni rivojlantirishning muhim manbai hisoblanadi. “Alpomish”, “Go‘ro‘g‘li”, “Ravshan”, “Kuntug‘mish” kabi dostonlarda yurtga sadoqat, oilaga vafodorlik, do‘stlik, jasorat, nomus, oriyat va xalq sha’nini asrash g‘oyalari yorqin ifodalangan. Talaba doston qahramonining harakatini tahlil qilganda, shaxsiy manfaat va umumiy

manfaat o‘rtasidagi farqni anglash, adolatli qaror qabul qilish, ijtimoiy burchni his etish kabi sifatlar rivojlanadi.

Xalq pedagogikasida vatanparvarlik jangovar jasorat bilan cheklanmaydi. Mehnatga hurmat, el xizmatiga tayyorlik, ona tilini qadrlash, milliy madaniyatni asrash, tabiatga ehtiyotkorlik, oila sha’nini saqlash, mahalla hayotida faol bo‘lish ham vatanparvarlikning muhim ko‘rinishlari sifatida talqin qilinadi. Oliy ta’lim jarayonida ana shu keng mazmunni ochish talabalarning Vatan haqidagi tasavvurini chuqurlashtiradi.

Marosimlar, urf-odatlar va oilaviy qadriyatlar ham talabalarda vatanparvarlik tuyg‘usini rivojlantirishda muhim o‘rin tutadi. Navro‘z, xotira tadbirlari, mahalla hasharlari, ustoz-shogird an’analari, ota-onaga ehtirom bilan bog‘liq odatlar yoshlarni xalq hayotining ma’naviy ildizlari bilan bog‘laydi. Talaba tarbiyaviy qadriyatlar mazmunini anglaganda, Vatan tushunchasi geografik hudud doirasidan kengayib, oila, mahalla, til, tarix, madaniyat va xalq taqdiri bilan uyg‘unlashgan yaxlit ma’naviy makon sifatida idrok etiladi.

4. Talabalarda vatanparvarlik tuyg‘usini rivojlantirishning pedagogik mexanizmlari

Xalq pedagogikasi materiallaridan samarali foydalanish uchun ular dars, seminar, mustaqil ta’lim, tarbiyaviy tadbir, ma’naviy-ma’rifiy suhbat va ijodiy loyiha mazmuniga izchil kiritilishi zarur. Xalq og‘zaki ijodi namunalarini oddiy illyustrativ material sifatida qo‘llashdan ko‘ra, ularning mazmunini muammoli savol, bahs, tahlil, qiyoslash, ijodiy topshiriq va refleksiv yozuvlar orqali talabaning shaxsiy fikrlash maydoniga olib kirish tarbiyaviy ta’sirni kuchaytiradi.

“Alpomish” dostonini o‘rganish jarayonida talabalarga qahramonning Vatanga, oilaga, elga va do‘stlikka munosabatini tahlil qilish topshirig‘i berilishi mumkin. Talaba qahramonlikni faqat jismoniy kuch orqali talqin qilmay, undagi mas’uliyat, sadoqat, sabr, or-nomus va yurt oldidagi burchni anglashga yo‘naltiriladi. Seminar mashg‘ulotida “Bugungi talaba uchun vatanparvarlik qanday amaliy xatti-harakatlarda ko‘rinadi?” mazmunidagi savol berilishi xalq pedagogikasini zamonaviy hayot bilan bog‘laydi. Maqollar bilan ishlashda ularni mazmuniy guruhlarga ajratish samarali usul sanaladi. Vatan, el, ota-ona, ustoz, mehnat, jasorat va adolatga oid maqollar alohida tahlil qilinadi. Har bir guruh asosida talabalarga qisqa esse, ijodiy taqdimot, hayotiy vaziyat tahlili yoki kichik loyiha tayyorlash vazifasi beriladi. Mazmunli topshiriqlar talabani tayyor hukmni qabul qiluvchi tinglovchi darajasida qoldirmay, qadriyatlar mazmunini izohlaydigan va shaxsiy pozitsiyasini asoslaydigan faol subyektga aylantiradi.

Xalq pedagogikasiga asoslangan tarbiyaviy ishlarning yana bir samarali yo‘li mahalla, oila va ta’lim muassasasi hamkorligiga tayanishdir. Talabalar mahalla oqsoqollari, nuroniylar, mehnat faxriylari, san’atkorlar, xalq og‘zaki ijodi namoyandalari bilan uchrashuvlar tashkil etganda, darslikdagi nazariy bilim hayotiy tajriba bilan boyiydi. Uchrashuvlarda avlodlar xotirasi, el-yurtga xizmat, kasbga halol munosabat, oilaviy mas’uliyat kabi mavzular ochiladi.

Oliy ta’limda xalq pedagogikasidan foydalanish talabaning kasbiy tayyorgarligi bilan bog‘langanda yanada mazmunli tus oladi. Bo‘lajak pedagog xalq og‘zaki ijodi namunalarini tarixi va badiiy shakli bilan bir qatorda kelajakdagi tarbiyaviy faoliyatida qo‘llash metodikasini ham egallashi zarur, zero aynan shunday yondashuv talabalarda metodik fikrlash, qadriyatga asoslangan pedagogik qaror qabul qilish, tarbiyaviy vaziyatni tahlil etish hamda o‘quvchi shaxsiga maqsadli ta’sir ko‘rsatish madaniyatini rivojlantiradi.

Mustaqil ta’lim jarayonida talabalarga “Mening oilamdagi vatanparvarlik an’analari”, “Mahallam tarixidan bir ibrat”, “Xalq maqollarida yurt qadri”, “Doston qahramonlari va zamonaviy yoshlar” kabi mavzularda tahliliy ishlar yozdirish maqsadga muvofiq. Mazmunli topshiriqlar talabaning shaxsiy tajribasi, oilaviy xotirasi va xalq pedagogikasi o‘rtasida ichki aloqa yaratadi. Talaba o‘z hayotiy muhiti orqali vatanparvarlikning real mazmunini anglaydi.

Raqamli ta’lim muhitida xalq pedagogikasi materiallaridan foydalanish imkoniyatlari ham kengaymoqda. Elektron portfolio, videoloyiha, podkast, raqamli hikoya, virtual muzeyga sayohat, xalq og‘zaki ijodi bo‘yicha interaktiv topshiriqlar talabalarning faolligini oshiradi. Raqamli vositalar xalq merosini zamonaviy shaklda taqdim etish, talabalarni izlanish, tahlil va ijodiy talqin jarayoniga jalb qilish imkonini beradi.

5. Tahlil va natijalar

Tahlillar xalq pedagogikasi talabalarda vatanparvarlik tuyg‘usini rivojlantirishda bir necha pedagogik imkoniyatga ega ekanini ko‘rsatadi. Xalq pedagogikasi talabaning hissiy dunyosiga yaqinligi, undagi obrazlar, hikmatlar, qahramonlar va hayotiy vaziyatlarning murakkab tarbiyaviy g‘oyalarni sodda, ta’sirchan hamda esda qolarli shaklda yetkazishi bilan alohida pedagogik ahamiyat kasb etadi. Xalq pedagogikasi talabaning milliy o‘zligini anglashiga ko‘maklashib, uning ona tili, tarixiy xotirasi, ajdodlar merosi va madaniy ildizlariga ongli hamda qadriyatli munosabatini kuchaytiradi.

Vatanparvarlik tarbiyasi xalq pedagogikasiga tayanganida quruq shiorbozlikdan yiroqlashadi. Talaba Vatan haqidagi tushunchani maqol, doston, oila xotirasi, mahalla an’anasi, ustoz-shogird munosabati, mehnat qadri va tarixiy ibrat orqali anglaydi. Qadriyatlarga tayangan yondashuv talabaning ichki ishonchi, axloqiy tanlovi va fuqarolik pozitsiyasiga ta’sir ko‘rsatadi.

Xalq pedagogikasining tarbiyaviy imkoniyati uni zamonaviy pedagogik metodlar bilan uyg‘unlashtirganda yanada kuchayadi. Muammoli ta’lim, loyiha metodi, keys tahlili, debat, refleksiv yozuv, ijodiy taqdimot va elektron portfolio xalq merosi mazmunini faol o‘zlashtirishga yordam beradi. Talaba xalq hikmatini tayyor qoidalar yig‘indisi sifatida qabul qilmaydi, balki uni zamonaviy hayotiy vaziyatlar bilan qiyoslab, shaxsiy xulosa chiqaradi. Tarbiyaviy jarayonda xalq pedagogikasidan foydalanishning samaradorligi bir necha shartga bog‘liq.

Birinchi shart material tanlashda yosh, kasbiy yo‘nalish va ta’lim mazmunini hisobga olishdir.

Ikkinchi shart xalq og‘zaki ijodi namunalarini zamonaviy fuqarolik mas’uliyati bilan bog‘lashdir.

Uchinchi shart talabalarning mustaqil fikriga, bahs-munozarasiga va shaxsiy tajribasiga tayanishdir.

To‘rtinchi shart tarbiyaviy ishlarni bir martalik tadbir ko‘rinishida qoldirmay, izchil tizimga aylantirishdir.

O‘rganilgan materiallar xalq pedagogikasi talabalarda vatanparvarlik tuyg‘usini rivojlantirishning samarali vositasi sifatida dars mazmuni, mustaqil ta’lim, ma’naviy-ma’rifiy tadbir va ijtimoiy loyiha bilan uzviy bog‘langanda yuqori pedagogik ahamiyat kasb etishini ko‘rsatadi.

6. Xulosa

Xalq pedagogikasi talabalarda vatanparvarlik tuyg‘usini rivojlantirishda boy mazmun, kuchli tarbiyaviy ta’sir va hayotiy yaqinlikka ega pedagogik manbadir. Unda xalqning tarixiy xotirasi, milliy o‘zlikni saqlash tajribasi, axloqiy mezonlari, avlodlararo vorislik g‘oyalari va el-yurtga sadoqat ruhi mujassam. Oliy ta’lim jarayonida xalq pedagogikasi materiallarini maqsadli, tizimli va metodik asosda qo‘llash talabalarning Vatanga munosabatini chuqurlashtiradi, milliy g‘ururini mustahkamlaydi, fuqarolik mas’uliyatini oshiradi.

Talabalarda vatanparvarlik tuyg‘usini rivojlantirish xalq pedagogikasiga tayangan holda tashkil etilganda, tarbiya jarayoni hayotiy tajriba, tarixiy xotira, oila va mahalla qadriyatlari, xalq og‘zaki ijodi hamda zamonaviy pedagogik texnologiyalar bilan uyg‘unlashadi. Qadriyatga yo‘naltirilgan yondashuv talabaning ma’naviy dunyosiga chuqur ta’sir ko‘rsatadi, uni milliy qadriyatlarga hurmat, el-yurt taqdiriga daxldorlik, kasbiy faoliyat orqali jamiyatga foyda keltirishga tayyorlaydi.

Oliy ta’lim muassasalarida xalq pedagogikasiga asoslangan tarbiyaviy ishlarni dars, seminar, mustaqil ta’lim, ijodiy loyiha, elektron portfolio, ma’naviy-ma’rifiy tadbir va mahalla bilan hamkorlik shakllari orqali izchil amalga oshirish lozim. Ana shunda xalq pedagogikasi talabalar ongida vatanparvarlikni tashqi talab darajasidan shaxsiy e’tiqod, ma’naviy ehtiyoj va fuqarolik pozitsiyasi darajasiga olib chiqishga yordam beradi.

Adabiyotlar

[1]. Avloniy A. Turkiy guliston yoxud axloq. – Toshkent – O‘qituvchi, 1992. – 160 b.
[2]. Fitrat A. Oila yoki oila boshqarish tartiblari. – Toshkent – Ma’naviyat, 2000. – 112 b.
[3]. Zunnunov A. Xalq pedagogikasi. – Toshkent – O‘qituvchi, 1992. – 136 b.
[4]. Musurmonova O. Ma’naviy qadriyatlar va yoshlar tarbiyasi. – Toshkent – O‘qituvchi, 1996. – 192 b.
[5]. Nishonova S. Komil inson tarbiyasi. – Toshkent – Istiqlol, 2003. – 224 b.
[6]. Hasanboyev J., To‘raqulov X.A., Alqarov I.Sh., Usmonov N.O. Pedagogika. – Toshkent – Fan va texnologiya, 2011. – 304 b.
[7]. Quronov M. Milliy tarbiya. – Toshkent – Ma’naviyat, 2007. – 240 b.
[8]. Mavlonova R.A., Rahmonqulova N.H., Matnazarova K.O., Shirinov M.K. Umumiy pedagogika. – Toshkent – Fan va texnologiya, 2018. – 528 b.
[9]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son Farmoni. 2022–2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida. – lex.uz.
[10]. O‘zbekiston Respublikasining “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonuni. 2020-yil 23-sentabr. O‘RQ-637-son. – lex.uz.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЕМКОСТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ В КРЕМНИИ, ЛЕГИРОВАННОМ ТЕЛЛУРОМ

Н.А. Султанов, З. Мирзажонов

Ферганский государственный технический университет
(Получена 16.04.2026 г.)

Abstract. *This paper presents the results of deep-level capacitance spectroscopy (DLTS) studies of tellurium-doped silicon. Three deep donor levels of tellurium were identified at Ec–0.19 eV, Ec–0.35 eV, and a newly discovered level at Ec–0.43 eV. Gamma irradiation was found to reduce the concentration of these deep levels by approximately half due to the formation of radiation-induced defects, specifically A- and E-centers. The presence of tellurium enhances the rate of A-center formation by a factor of 5–6 compared to undoped samples, confirming its active role in radiation defect generation. These findings provide important insights into defect formation mechanisms and parameter control in silicon-based devices.*

Keywords: *silicon, tellurium doping, capacitance spectroscopy, deep-level defects, DLTS, gamma irradiation, A-centers, E-centers, radiation defects.*

Аннотация. *В работе представлены результаты исследования кремния, легированного теллуром, методами глубинной емкостной спектроскопии (DLTS). Определены энергетические уровни донорных центров Te в кремнии: Ec–0.19 эВ, Ec–0.35 эВ и новый уровень Ec–0.43 эВ. Показано, что при γ-облучении концентрации глубоких уровней уменьшаются примерно в два раза, что связано с образованием радиационных дефектов — A- и E-центров. Установлено, что присутствие теллура способствует ускоренному образованию A-центров, что подтверждает его активное участие в радиационно-индуцированных процессах. Полученные результаты важны для понимания механизмов дефектообразования и управления параметрами кремниевых приборов.*

Ключевые слова: *кремний, теллур, легирование, емкостная спектроскопия, глубокие уровни, γ-облучение, радиационные дефекты, A-центры, E-центры.*

Annotatsiya. *Ushbu maqolada tellur bilan legirlangan kremniy namunalarida chuqur sathli darajalarni aniqlash uchun DLTS (chuqur sathli o‘tkinchi sig‘im spektroskopiyasi) usuli qo‘llanildi. Tadqiqot natijasida tellurning uchta donorlilik darajasi aniqlanib, ularning energiya qiymatlari Ec–0,19 eV, Ec–0,35 eV hamda yangi topilgan Ec–0,43 eV ekanligi ko‘rsatildi. γ-nurlanish ta’sirida ushbu darajalar konsentratsiyasi ikki baravar kamaygani va bu A- va E-markazli radiatsion defektlar hosil bo‘lishi bilan bog‘liqligi aniqlandi. Tellurning mavjudligi A-markazlarning hosil bo‘lish tezligini sezilarli oshirishi isbotlandi. Olingan natijalar kremniy asosidagi yarimo‘tkazgichli qurilmalarda defekt jarayonlarini boshqarish uchun ilmiy asos yaratadi.*

Kalit so‘zlar: *kremniy, tellur, legirlanish, sig‘im spektroskopiyasi, chuqur sathli darajalar, γ-nurlanish, radiatsion defektlar, A-markazlar, E-markazlar.*

Свойства кремния, легированного теллуром, исследованы сравнительно слабо [1-4]. К настоящему времени насчитывается лишь несколько работ, посвященных оптическим, фотоэлектрическим, емкостным и диффузионным свойствам теллура в кремнии. В работах [2] изучена диффузия теллура в кремнии. Было отмечено, что введению теллура в Si диффузионным методом препятствует образование слоя стекла на поверхности образцов во время высокотемпературного отжига. Коэффициент диффузии Te в Si составляет ~ 10^{-11} $см^2/с$ в интервале температур 1050 - 1250°C. Концентрация введенного теллура в поверхностной области под слоем стекла была порядка — 10^{16} $см^{-3}$ при температуре 1200°C. После диффузии Te поверхностная область образцов кремния оказалась n-типа, что характеризует донорные двойства Te. Были попытки использовать S ,Se и Te в качестве транспортирующего газа при выращивании монокристаллов кремния /2/. Лишь использование Te дало достаточно хорошие результаты. Указанный метод роста кристаллов кремния до сих пор является единственным способом получения кристаллов S *i* , легированных теллуром. Были проведены исследования систем Si.-Te, в частности полупроводников $SiTe_2$ и Si_2 Te_3 . В работе [3] изучались оптические, фотоэлектрические и емкостные свойства кремния, легированного теллуром, и были найдены донорные уровни E_c~ 0,196 и E_c- 0,364 эВ. Установлено зарядовое состояние атомов теллура Te+ и Te° и

обнаружено наличие возбужденных состояний глубоких уровней (E*,- 0,196 эВ и E_c - 0,364 эВ).

В данной работе кристаллы Si(Te) исследовались для выяснения образования комплексов теллура с РД после облучения γ- квантами и для получения фоточувствительных S -диодов [5].

Легирование кремния теллуром производилось диффузионным способом в два этапа во избежание сильной эрозии поверхности кремния: 1) в запаянной кварцевой ампуле из газовой фазы при температуре 1050°С в течении 2 часов, 2) затем производилась разгонка введенного теллура при температуре 1200 - 1250°С в течение 50÷ 80 часов на воздухе. Диффузиантом служила навеска кристаллического теллура особой степени чистоты. После диффузии теллура кремний охлаждался с разными скоростями: а) образцы охлаждались очень медленно, совместно с диффузионной печью (назовем образцами 1-типа), б) ампула с образцами сбрасывалась в воду (образцы П-типа). Параллельно в тех же условиях изготавливались контрольные образцы (без теллура).

При введении в Si теллур вызывает сильную эрозию поверхности, поэтому после диффузионного отжига с обеих сторон пластины с ошлифовывались 50 - 100 мкм доя удаления наружного слоя поверхности.

Измерения спектров DLTS производились на диодах Шоттки. Диоды были изготовлены из исходного п-кремния $\boldsymbol{\rho = 5}$ Ом · см, выращенного методом Чохральского (марка КЭФ-5) и из бестигель- ного кремния марки БА-12/0,1, $\boldsymbol{\rho = 13}$ Ом · см (n-тип). После диффузии теллура образцы сохраняли тип проводимости и их сопротивление уменьшалось незначительно.

Спектры DLTS измеряли в режиме постоянной емкости в интервале температур 77 ÷ 300 К при $t = 2$ мс, $\mathbf{t_2 = 3t_1}$.

Измерения спектров DLTS в образцах 1-типа показали, что Te в п- Si образует два глубоких уровня с фиксированными энергиями ионизации $\mathbf{E_1(A) = E_c - (0.19 \pm 0.02)}$эВ, $\boldsymbol{\sigma_n = (1-50)\cdot 10^{-16}}$ см^2 $\mathbf{N_t = 1\cdot 10^{12} \div 2\cdot 10^{13}}$см$^{-3}$ и $\mathbf{E_2(B) = E_c - (0.35 \pm 0.01)}$эВ, $\boldsymbol{\sigma_n = (7-30)\cdot 10^{-15}}$см^2 , $\mathbf{N_t = (0.2-26)\cdot 10^{12}}$см$^{-3}$ (кривая 2 рис. 1). Как видно из этих результатов, энергия ионизации и другие параметры $\boldsymbol{\delta, N_t}$ уровней А и В удовлетворительно согласуются с результатами других авторов [2,3]. Отношение концентрации этих уровней не сильно отличались (см. табл. 1). Интересно отметить, что при измерении спектров DLTS в образцах n-типа обнаружен в верхней половине запрещенной зоны еще один уровень теллура E_c~ 0,43 эВ, $\mathbf{\sigma_n = 4.6\cdot 10^{-14}}$см^2,$\mathbf{N_t = 4\cdot 10^{12} \div 10^{13}}$см$^{-3}$ (кривая 3, рис. 1). Концентрация уровня Ec- 0,43 эВ не зависала от концентрации кислорода в исходном кремнии. Это проверялось на образцах, выращенных методом Чохральского ($\mathbf{N_0 \approx 10^{17}}$ см$^{-3}$) и из бестигельного кремния $\mathbf{N_0 = 10^{16}}$ см$^{-3}$.

Во всех наших экспериментах значения концентрации уровней А, В, С оказались больше при быстром охлаждении, чем при медленном. Это различие связано, по-видимому, с "замораживанием" некоторой части растворенных атомов теллура на каких-либо активных междоузельных состояниях.

В контрольных образцах, прошедших ту же термообработку без теллура, концентрация ГУ значительно ниже, чем в легированных теллуром (рис. 1, кривая 1). Таким образом, исследование DLTS в Si (Te) показывает, что Te в кремнии образует три уровня ($E_c - 0.19$, $E_c - 0.35$ и $E_c - 0{,}43$ эВ). Уровень $E_c - 0{,}43$ эВ ($\sigma_n = 4.6\cdot 10^{-14}$ см^2 , $N_t = 1\cdot 10^{13}$см$^{-3}$) впервые обнаружен в исследованиях данной работы.

Облучение γ- квантами Si(Te) приводит к некоторому уменьшению концентрации уровней теллура (Рис.1,кривая 2). При дозе 5*10^{18} квант/см^2 начальная концентрация всех ГУ падает примерно вдвое. При облучении происходит образование известных радиационных

дефектов (РД); А-центров *R* и *E* – центров (их параметры приведены в табл.1). Концентрации других РД еще меньшие, и связанная с ними релаксация не заметна на фоне релаксации заряда на уровнях теллура. Концентрация РД линейно растут с дозой облучения в Si(Te) и в контрольных диодах без теллура, но скорость образования А – центров в диодах из Si(Te) в 5-6 раз выше, чем в контрольных диодах.

Контрольные диоды были изготовлены из того же исходного кремния и прошли токую же термообработку, как и при легировании теллуром. Таким образом, присутствие теллура способствует образованию А-центров.

Таблица 1

Уровень	$T_м$ К при t_1 =2 мс	E_t эВ	$\sigma_n(T_M)$ см^2	N_t см$^{-3}$	N_1 см$^{-3}$
A	112	0.19	10^{-16}	$4{,}2 \cdot 10^{13}$	$1 \cdot 10^{14}$
B	158	0.35	$7 \cdot 10^{-15}$	$2{,}6 \cdot 10^{13}$	$2 \cdot 10^{14}$
C	235	0.43	$4{,}6 \cdot 10^{-14}$	$4 \cdot 10^{13}$	$4{,}1 \cdot 10^{14}$
R	300	0,17	$3 \cdot 10^{-14}$	$1{,}5 \cdot 10^{14}$	А-центр
E	300	0,44	$4 \cdot 10^{-15}$	$2 \cdot 10^{12}$	Е- центр

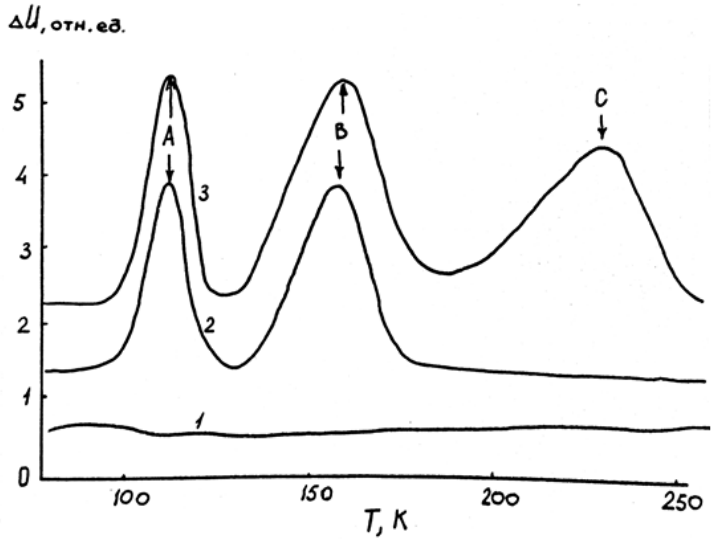


Рис. 1. Спектры DLTS в контрольном образце (1) и Si (Te) (2,3) и после (кривая 2)
облучения при -квантами изотопа ^{60}Co.

Список литературы

[1]. Султанов Н.А., Монография-1 / Фотоэлектрическая и пьезоемкостная спектроскопия глубоких центров в кремнии. Фергана. Изд.”Classik”.2024. с.144.

[2]. Жданович Н.С., Козлов Ю.И. Диффузия селена и теллура в кремнии // ФТП. 1975. Т.9. Был.8. С.1594-1595.

[3]. Tellurium donorsin silicon / Grimmeiss H.G., Janzen E.,Ennen H. et al. // Phys. Rev. B. 1981. Vol.24. N 8.P.4571-4586.

[4]. Hofmann K., Schulz M. Tellurium-related trap levels in silicon // Appl. Phys. A. 1984. Vol.33. N 1. P.19-24.

[5]. Диоды с отрицательным сопротивлением из Si с глубокими уровнями / Капитонова Л.М., Лебедев А.А., Мамадалимов А.Т., Султанов Н.А. // Физические явления в р~п переходах и полупроводниках. - Томск: 1974. С.165-175.

ҚУЁШ ПАРАБОЛОЦИЛИНДРИК КОЛЛЕКТОРЛАРИДА ИССИҚЛИК ЖАРАЁНЛАРИНИ МОДЕЛЛАШТИРИШ

А. Орипов

Фарғона давлат техника университети
(Қабул қилинди 16.04.2026 й.)

Аннотация. *Мазкур илмий иш қуёш нурланишини тўплашга мўлжалланган параболоцилиндрик коллекторлар (ПЦК) учун иссиқлик алмашинуви жараёнларини тавсифловчи математик моделларни тузиш ва уларни солиштириш масалаларини ёритади. Тадқиқот доирасида учта хил абсорбер конструкцияси — ялпи мис қувур, шиша изоляцион қобиқли қувур ва нанофлюид иссиқлик ташувчи сифатида ишлатилган тизим — кўриб чиқилган. Синовлар сув, этилен гликол ва 0,01% CuO концентрациясидаги нанофлюид воситасида ўтказилган. Таҳлил якунларига кўра, нанофлюидли тизимда коллекторнинг солиштирма иссиқлик унуми ~70% чегарасига эришгани исботланган.*

Калит сўзлар: *параболоцилиндрик коллектор; нанофлюид; иссиқлик унуми; абсорбер; эксергетик таҳлил; иссиқлик ўтказиш коэффициенти.*

Аннотация. *Настоящая работа посвящена построению и сравнительному анализу математических моделей теплообмена в параболоцилиндрических коллекторах (ПЦК). Исследованы три конструктивных варианта абсорбера: открытая медная труба, труба со стеклянным теплоизоляционным кожухом и система с нанофлюидом в качестве теплоносителя. Испытания выполнены с применением воды, этиленгликоля и нанофлюида на основе 0,01% CuO. Показано, что использование нанофлюида обеспечивает максимальный тепловой КПД коллектора на уровне ~70%.*

Ключевые слова: *параболоцилиндрический коллектор; нанофлюид; тепловой КПД; абсорберная труба; эксергетический анализ; коэффициент теплоотдачи.*

Abstract. *This paper addresses the development and comparative assessment of mathematical heat transfer models for parabolic trough collectors (PTC). Three absorber configurations were investigated: an open copper tube, a copper tube enclosed within a glass insulating jacket, and a system employing nanofluid as the working heat-transfer medium. Tests were carried out using water, ethylene glycol, and a 0.01% CuO nanofluid. The results demonstrate that nanofluid application yields the highest collector thermal efficiency, reaching approximately 70%.*

Keywords: *parabolic trough collector; nanofluid; thermal efficiency; absorber tube; exergy analysis; heat transfer coefficient.*

Кириш

Бугунги кунда қайта тикланувчи энергия манбаларини жалб этиш глобал аҳамият касб этмоқда. Қуёш нурланишини термик усулда ўзлаштирадиган концентрацияловчи тизимлар орасида параболоцилиндрик коллекторлар (ПЦК) энг кенг тарқалган ечим ҳисобланади: парабола шаклидаги ойна нурларни абсорбер қувурга тўплайди, у ерда иссиқлик ишчи суюқликка ўтади. Мазкур қурилмалар иссиқлик электр станциялари, саноат технологик иссиқлик таъминоти ва совутиш тизимларида кенг қўлланилади.

V. Hari Haran ва P. Venkataramaiah (Materials Today: Proceedings 46, 2021) ўтказган тажриба-назарий тадқиқотда ПЦКнинг иссиқлик-гидравлик кўрсаткичлари учта абсорбер схемаси (ялпи мис қувур; шиша қобиқли мис қувур; нанофлюидли шиша қобиқли қувур) ва учта ишчи муҳит (сув, этилен гликол, 0,01% AlO нанофлюид) учун атрофлича ўрганилган. Стенд таркибига параболик концентратор, нур акс эттирувчи ойна юза, абсорбер қувур, Қуёшни кузатиш механизми ва циркуляция насоси кирган.

Мавжуд адабиётлар шарҳи кўрсатишича, коллектор самарадорлигига ишчи суюқлик тури, абсорбер сирт қопламасининг физик хусусиятлари, операцион ҳарорат ва оптик параметрлар муҳим таъсир кўрсатади. Баъзи тадқиқотларда иссиқлик йўқотишларини ҳисоблашда ишлатилган тенгламаларнинг нотўғри танланиши оқибатида назарий ва тажриба натижалари ўртасида тафовутлар пайдо бўлгани қайд этилган.

Математик модел ва ҳисоблаш тартиби

Ҳар уч конфигурация учун энергия баланси тенгламалари нурланиш, молекуляр ўтказиш (кондукция) ва конвекция механизмларини ҳисобга олган ҳолда алоҳида тузилган.

1-схема: ялпи мис абсорбер қувур. Қуёш нури абсорбер сиртига тушади, иссиқлик қувур металл девори орқали ишчи суюқликка ўтади. Абсорбер сиртидан атмосферага нурланиш орқали иссиқлик йўқотиш зичлиги:

$$q_{рад} = \sigma \cdot \varepsilon_{аб} \cdot (T^4_{аб} - T^4_{атм}) \quad (1)$$

Абсорбернинг ички юзасидан ишчи суюқликка конвекция иссиқлик ўтказиши:

$$q_{conv} = h_{wf} \cdot \pi \cdot d_{abi} \cdot l \cdot (T_{abi} - T_{wf}), \quad (2)$$

бунда h_{wf} — конвектив иссиқлик ўтказиш коэффициенти, d_{abi} — абсорбер ички диаметри, l — қувур ишчи узунлиги.

2-схема: шиша изоляцион қобиқли абсорбер. Ташқи шиша қоплам атмосфера ва абсорбер ўртасидаги тўғридан-тўғри иссиқлик алмашинувини камайтиради. Шиша деворидан ўтувчи кондукция иссиқлик оқими силиндрик ўтказиш формуласи бўйича топилади:

$$q_{кон} = 2\pi \cdot k_{шиша} \cdot (T_{ги} - T_{го}) / \ln(d_{го} / d_{ги}) \quad (3)$$

3-схема: нанофлюидли тизим. Шиша қобиқ ва абсорбер ўртасидаги бўшлиқ нанофлюид билан тўлдирилади. CuO нанозарралари суюқликнинг самаравий иссиқлик ўтказувчанлигини оширади, бу эса иссиқлик алмашинуви интенсивлигини сезиларли даражада кучайтиради.

Коллекторнинг ани қ иссиқлик самарадорлиги:

$$\eta = Qu / (I_b \cdot W \cdot L), \quad (4)$$

бунда Qu — ишчи суюқликка берилган фойдали иссиқлик қуввати, I_b — нур зичлиги, W — апертура кенглиги, L — концентратор узунлиги.

Эксергетик самарадорлик:

$$\eta_{ex} = E_u / E_s \quad (5)$$

нисбати орқали баҳоланган. Тажриба жиҳози параметрлари: L = 5 м, W = 1,5 м, апертура майдони S = 7,5 м², масса оқими 0,05 кг/с.

Натижалар ва уларнинг таҳлили

Биринчи схемада (ялпи мис қувур) сув ишлатилганда солиштирма самарадорлик 61%, этилен гликолда 57%, CuO нанофлюидда эса 67% га тенг бўлди. Ушбу тафовут нанозарраларнинг суюқлик ҳажмидаги энергия тарқалиш механизмини яхшилашига боғлиқ.

Шиша қобиқли схемада иссиқлик йўқотиш камайиши ҳисобига натижалар юқорироқ бўлди: нанофлюидли вариантда иссиқлик самарадорлиги 65% га чиқди. Энг юқори кўрсаткич учинчи схемада — нанофлюидни шиша қобиқ ичида ишлатилганда — 70% га яқин қиймат билан қайд этилди. Бу сув ишлатилган биринчи схемадаги натижадан тахминан 9 фоизга юқори.

Эксергетик таҳлил ҳам нанофлюидли тизимнинг афзаллигини тасдиқлади: барча учта конструкцияда фойдали эксергик чиқиш (E_u) нанофлюид билан максимал қийматга эришди. Иссиқлик олиб кетиш омили (F_r) ва коллектор самарадорлик омили (F') ҳам нанофлюид учун юқорироқ чиқди. Чиқиш ҳарорати ошиши билан абсорбланган иссиқлик оқими (S) ҳам ошиб борди.

Хулоса

Олиб борилган тадқиқот параболоцилиндрик коллекторларда анъанавий суюқликларни CuO нанофлюид билан алмаштириш иссиқлик самарадорлигини ~10 фоизга оширишга имкон берадиган истиқболли йўналиш эканлигини кўрсатди. Максимал иссиқлик унуми ~70%, эксергетик самарадорлик эса ~12% га яқин бўлди. Бундай натижаларга

нанозарраларнинг суюқлик иссиқлик ўтказувчанлигини ошириши ва иссиқлик алмашиш юзасини кенгайтириши натижасида эришилади.

Тузилган математик моделлар ва экспериментал маълумотлар базаси Фарғона водийси иқлим шароитида ПЦКга асосланган қуёш иссиқлик тизимларини лойиҳалашда назарий ва амалий пойдевор вазифасини ўтай олади. Дастлабки техник-иқтисодий ҳисоблар шундай қурилмаларнинг 4–6 йил мобайнида тўлиқ қопланишини башорат қилмоқда.

Адабиётлар

[1]. Hari Haran V., Venkataramaiah P. Mathematical modelling and analysis of parabolic collector // Materials Today: Proceedings. — 2021. — Vol. 46. — P. 3308–3312. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.11.465

[2]. Fernández-García A. et al. Parabolic-trough solar collectors and their applications // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010.

[3]. Duffie J.A., Beckman W.A. Solar Engineering of Thermal Processes. — Wiley, 2013.

[4]. Xu X. et al. Optical performance analysis of parabolic trough collectors // Applied Thermal Engineering, 2016.

[5]. Qu M., Archer D.H., Masson S.V. A linear parabolic trough solar collector performance model // Energy Systems Laboratory, International Conference for Enhanced Building Operations. — Texas, 2006.

[6]. Padilla R.V. et al. Heat transfer analysis of parabolic trough solar receiver // Applied Energy. — 2011. — Vol. 88. — P. 5079–5110.

[7]. Hachicha A.A. et al. Heat transfer analysis and numerical simulation of a parabolic trough // Applied Energy. — 2013. — Vol. 111. — P. 581–592.

УДК 519.642.7

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ОПТИМАЛЬНЫЕ КВАДРАТУРНЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СИНГУЛЯРНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Б.С. Далиев*

Ферганский государственный технический университет
**Автор для корреспонденции, e-mail: bahtiyorjon@inbox.ru*
(Получена 16.04.2026 г.)

Аннотация. *В работе исследуются возможности применения методов искусственного интеллекта для построения оптимальных квадратурных формул при численном решении сингулярных интегральных уравнений. Предлагается математическая модель оптимизации квадратурных коэффициентов на основе нейронных сетей и генетических алгоритмов. Получена теоретическая оценка погрешности оптимизированной квадратурной формулы. В качестве тестовой задачи рассматривается интегральное уравнение Абеля. Проведён вычислительный эксперимент, демонстрирующий повышение точности по сравнению с классическими квадратурными методами.*

Ключивые слова*: искусственный интеллект, машинное обучение, квадратурные формулы, сингулярные интегральные уравнения, уравнение Абеля, нейронные сети, генетические алгоритмы.*

1. Введение. Развитие искусственного интеллекта существенно изменило подходы к решению задач вычислительной математики. В последние годы методы машинного обучения успешно применяются при решении дифференциальных уравнений, задач оптимизации и обработки больших данных.

Особый интерес представляет использование искусственного интеллекта при построении оптимальных квадратурных формул для вычисления интегралов и решения интегральных уравнений.

Для исследователей, занимающихся сингулярными интегральными уравнениями, данное направление представляет особую актуальность, поскольку классические методы часто сталкиваются с проблемами устойчивости и точности.

2. Постановка задачи

Рассмотрим сингулярное интегральное уравнение Абеля

$$f(x)=\int_0^x \frac{\varphi(t)}{\sqrt{x-t}}dt, \qquad 0\le x\le 1.$$

Требуется определить функцию $\varphi(x)$.

Для численного решения интеграл заменяется квадратурной формулой

$$\int_0^t \frac{\varphi(\mathrm{x})\,\mathrm{dx}}{(\mathrm{t}-\mathrm{x})^{1-\alpha}} \cong \sum_{\beta=0}^{N} C[\beta]\varphi(\mathrm{h}\,\beta) \tag{1}$$

и соответственно ее функционал погрешности

$$\ell(\mathrm{x}) = \varepsilon_{[0,t]}(\mathrm{x})(\mathrm{t}-\mathrm{x})^{\alpha-1} - \sum_{\beta=0}^{N} C[\beta]\delta(\mathrm{x}-\mathrm{h}\,\beta) \tag{2}$$

в пространстве Соболева $\mathrm{L}_2^{(\mathrm{m})}(0,\mathrm{t})$. Здесь $\varphi(\mathrm{x})\in \mathrm{L}_2^{(\mathrm{m})}(0,\mathrm{t})$, $\mathrm{t}>0$ произвольное конечное число, $h=\frac{t}{N}$, $N\ge m$ натуральное число, $\delta(\mathrm{x})$ –дельта функция Дирака, $\varepsilon_{[0,t]}(\mathrm{x})$ –характеристическая функция отрезка $[0,t]$, $C[\beta]$– коэффициенты квадратурных формул и $C[\beta]=0$, при $h\beta\notin[0,t]$, $0<\alpha<1$.

Основной задачей является определение оптимальных коэффициентов $C[\beta]$.

Целью настоящей работы является минимизация нормы функционала погрешности (2) в пространстве $\mathrm{L}_2^{(\mathrm{m})}(0,\mathrm{t})$ по коэффициентам $C[\beta]$ и получение систему линейных алгебраических уравнений и доказать существования и единственность решение полученной системы. Квадрат нормы функционала погрешности квадратурных формул (1) вычисляется формулой

$$\left\|\ell / L_2^{(\mathrm{m})*}\right\|^2 = (-1)^m\left[\sum_{\beta=0}^{N}\sum_{\beta'=0}^{N} C[\beta]C[\beta']G_m(\mathrm{h}\,\beta-\mathrm{h}\,\beta') - 2\sum_{\beta=0}^{N} C[\beta]\int_0^t (\mathrm{t}-\mathrm{x})^{\alpha-1}G_m(\mathrm{x}-\mathrm{h}\,\beta)\,\mathrm{dx} + \right.$$
$$\left. + \int_0^t\int_0^t (\mathrm{t}-\mathrm{x})^{\alpha-1}(\mathrm{t}-\mathrm{y})^{\alpha-1}G_m(\mathrm{x}-\mathrm{y})\,\mathrm{dxdy}\right].$$

Здесь $G_m[\beta]=\frac{|h\beta|^{2m-1}}{2*(2m-1)!}$, $G_m[x]=\frac{|x|^{2m-1}}{2*(2m-1)!}$.

3. Оптимальные квадратурные формулы

Пусть

$$I(f)=\int_a^b K(x,t)f(t)dt.$$

Квадратурная формула записывается в виде

$$Q_n(f)=\sum_{\beta=0}^{N} C[\beta]f(\mathrm{h}\,\beta).$$

Погрешность определяется как

$$R_n(f)=I(f)-Q_n(f).$$

Оптимальная квадратурная формула должна минимизировать норму ошибки

$$|R_n|_{L_2}\to\min.$$

4. Математическая модель ИИ-оптимизации

Пусть имеется множество тестовых функций

$$\mathcal{F}=f_1, f_2,\ldots, f_m\ .$$

Для каждой функции вычисляется ошибка квадратурной формулы

$$E_i=\left|I(f_i)-Q_n(f_i)\right|.$$

Тогда функция потерь определяется как

$$J = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} E_i^2 .$$

Задача оптимизации имеет вид

$$J(C[0],\ldots,C[N],0,\ldots,t) \to \min .$$

Нейросетевая модель

Введём нейронную сеть

$$N_\theta(x),$$

где θ — множество параметров.

На выходе сети формируются

$$(C[0],\ldots,C[N],0,\ldots,t).$$

Обучение производится методом обратного распространения ошибки:

$\theta^{(k+1)}\theta^{(k)} - \eta\nabla J$. Здесь η — скорость обучения.

5. Численный эксперимент

Рассмотрим уравнение Абеля

$$f(x) = \frac{4}{3}x^{3/2} .$$

Точное решение известно:

$$\varphi(x) = x .$$

Для сравнения использовались метод трапеций, квадратурная формула Соболева и ИИ-оптимизированная квадратурная схема.

Количество узлов:

$$n = 20 .$$

Результаты вычислений

Метод	Максимальная ошибка
Трапеции	$3.2\cdot10^{-3}$
Соболев	$8.4\cdot10^{-4}$
ИИ-оптимизация	$1.6\cdot10^{-4}$

Анализ результатов

Полученные результаты показывают, что использование искусственного интеллекта позволяет уменьшить погрешность примерно в

$$\frac{8.4\cdot10^{-4}}{1.6\cdot10^{-4}} \approx 5.25$$

раз по сравнению с классической квадратурной формулой Соболева.

Кроме того, уменьшается влияние сингулярности, повышается устойчивость вычислений и ускоряется подбор оптимальных коэффициентов.

6. Заключение. Разработана математическая модель применения искусственного интеллекта для построения оптимальных квадратурных формул. Получена теоретическая оценка погрешности, учитывающая ошибку обучения нейронной сети. Проведённый вычислительный эксперимент на примере уравнения Абеля показал существенное повышение точности по сравнению с традиционными методами.

Полученные результаты подтверждают перспективность использования технологий искусственного интеллекта при решении сингулярных интегральных уравнений и открывают новые направления исследований в области вычислительной математики.

Список литературы

[1]. Соболев С.Л. Введение в теорию кубатурных формул. — М.: Наука, 1974.

[2]. Канторович Л.В., Крылов В.И. Приближённые методы высшего анализа. — М.: Физматлит, 1962.

[3]. Самарский А.А. Введение в численные методы. — М.: Наука, 1987.
[4]. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. — М.: Наука, 1986.
[5]. Atkinson K. Numerical Solution of Integral Equations. — Cambridge University Press, 1997.
[6]. Kress R. Linear Integral Equations. — Springer, 2014.
[7]. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. — MIT Press, 2016.
[8]. Haykin S. Neural Networks and Learning Machines. — Pearson, 2009.
[9]. Raissi M., Perdikaris P., Karniadakis G. Physics-Informed Neural Networks. Journal of Computational Physics, 2019.
[10]. Шадиметов Х.М. Оптимальные решетчатые квадратурные и кубатурные формулы в пространствах Соболева. – Ташкент: Фан ва технология, 2019.
[11]. Далиев, Б. С. (2021). Оптимальный алгоритм решения линейных обобщенных интегральных уравнений Абеля. Проблемы вычислительной и прикладной математики, 5(35), 120-129.
[12]. Shadimetov, K. M., & Daliev, B. S. (2022). Optimal formulas for the approximate-analytical solution of the general Abel integral equation in the Sobolev space. Results in Applied Mathematics, 15, 100276.
[13]. Далиев, Б. С. (2022). О Численном Решении Линейных Обобщенных Интегральных Уравнений Абеля. Periodica Journal of Modern Philosophy, Social Sciences and Humanities, 13, 191-198.
[14]. Абель Н. Х. Исследование некоторых интегральных уравнений. — М.: Наука, 1970.

СПЕКТРЫ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО СЕЛЕНОМ

Н.А. Султанов, З. Мирзажонов

Ферганский государственный технический университет
(Получена 16.04.2026 г.)

Аннотация. *В работе представлены результаты исследования фотолюминесценции кремния, легированного селеном. Измерения спектров ФЛ проводились при низких температурах (4,2 и 77 К) с целью выявления особенностей излучения глубоких уровней, связанных с примесями селена. В спектрах обнаружены квазилинейчатые полосы излучения с энергиями 0,975; 0,956; 0,785 и 0,772 эВ, а также электронно-колебательная полоса 0,822 эВ. Установлено, что данные полосы аналогичны тем, которые наблюдаются в кремнии, легированном переходными металлами, что указывает на формирование аналогичных люминесцентных центров. Показано, что селен, как и переходные элементы, образует глубокие центры излучения, ответственные за рекомбинацию локализованных экситонов. Полученные результаты подтверждают перспективность комплексного применения методов ФЛ и DLTS для изучения энергетических уровней примесных центров в кремнии.*

Ключевые слова: *кремний, селен, фотолюминесценция, глубокие уровни, переходные элементы, экситоны, центры люминесценции, DLTS.*

В начале 70-х годов в литературе практические отсутствовали работы, посвященные фотоэлектрическим свойствам селена в кремнии. Фотопроводимость (ФП) и температурная зависимость коэффициента Холла кремния, легированного селеном исследовались впервые в работе [1]. В последние годы были предприняты интенсивные исследование свойств Si(S) и Si(Se), наибольший вклад в которые внесла серия работ Гримайза с сотрудниками [2-5].

Низкая температура кипения Se (688^0C) делает сложным легирование в процессе вырашивания монокристалла, но позволяет успешно вводить Se путем диффузии.

Селен в кремнии является двойным донором и образует уровни E-0,51 и E-0,29 (Se^+ и Se^0 соответственно) [1-5]. При высокой концентрации возможно образование ассоциации из 2-х(Se_2) или нескольких (Se_x) атомов. Эти ассоциации имеют энергии ионизации 0.19 и 0.1 эВ, соответственно[6].

Целью данной работы было исследование влияния ГУ селена в кремнии на спектре ФЛ.

Легирование селеном производилось диффузионным методом при 1100-1200^0C в течение 5-140 часов. Для изготовления фоторезисторов был использован исходный *p*-Si с удельным сопротивлением ρ=2÷200 Ом.см. После диффузии селена тип проводимости таких образцов изменялся, а ρ при 300 К было в пределах от 10 до 10^5 Ом.см. в зависимости от режима

легирования. Образцы для измерения параметров глубоких уровней с помощью ФЛ из n-Si с относительно небольшой концентрацией электрически активного селена.

Измерения температурной зависимости ЭДС Холла показали, что концентрация электронов в разных образцах контролируется уровнями *E*c-0,28 эВ и *E*c - 0,52 эВ [1-7]

Измерение спектров ФЛ кристаллов кремния проводилось при 4,2 и 77 к (образцы погружались непосредственно в жидкий гелии или азот) [8]. Нами было проведено исследование ФЛ S*i* легированного селеном. На рис.2,3,4 приведены некоторые спектры ФЛ кремния, легированного селеном. Условия легирования в каждом конкретном случае указаны в подписях под рисунками.

Видно, что в спектрах присутствуют как квазилинейчатые полосы излучения с головными бесфононными линями 0,975; 0,956; 0,785; 0,772 эВ так и электронно-колебательная полоса 0,822 эВ.

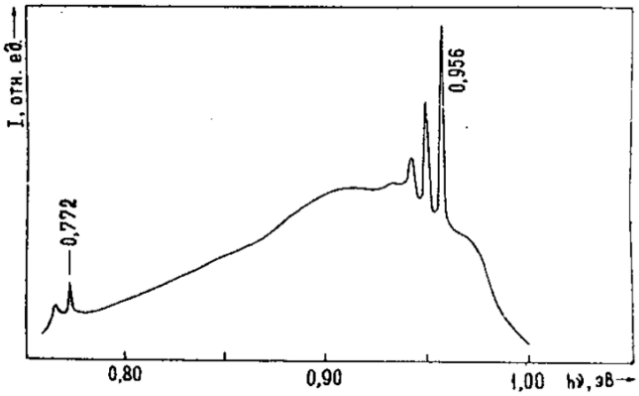


Рис.1 Спектр ФЛ Si(Se); 4,2 К. Диффузия из паровой фазы при 1200 ^{0}C, 100 час., быстрое охлаждение.

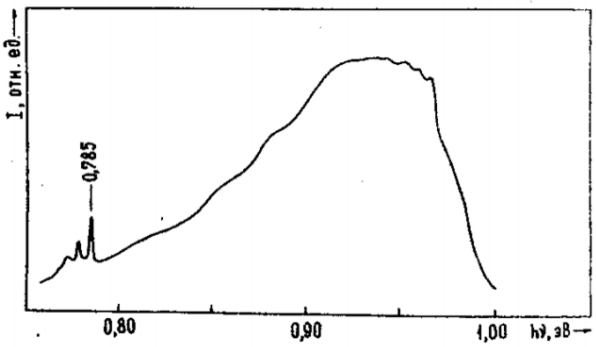


Рис.2. Спектр ФЛ Si(Se); 4,2 К. Диффузия из паровой фазы при 1200 ^{0}C, 100 час., охлаждение на воздухе.

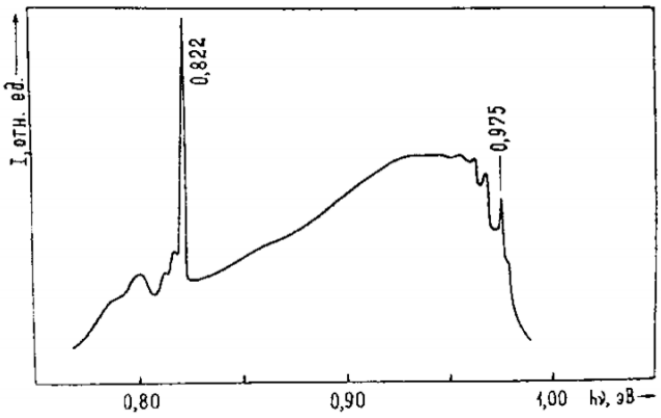


Рис.3. Спектр ФЛ Si(Se); 30 К. Легирование методом ионной имплантации Se^+ с энергией 150 кэВ дозой $1 \cdot 10^{15}$ см$^{-2}$, затем разгонка при 1200 ^{0}C, в течение 1 час.

Полоса 0,975 эВ наблюдалась нами в спектрах ФЛ S*i*, диффузионного легированного хромом [8], а о полосе 0,822 эВ сообщалось в работе [9], где она была обнаружена в спектрах ФЛ S*i*, диффузионно легированного ванадием. Кроме того, полоса 0,822 эВ наблюдалась нами ранее в спектрах ФЛ S*i*, легированного серой.

В настоящее время говорить о корреляции этих полос с какой – либо конкретной примесью сложно. Нужно дальнейшие экспериментальные исследования. Тем не менее, появление в спектрах ФЛ S*i*(S*e*) полос излучения с квазилинейчатой структурой, характерной для полос излучения кремния, легированного переходными элементами, не исключает возможности участия примесей переходных металлов в образовании центров ответственных за полосы 0,975; 0,956; 0,785 и 0,772 эВ.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что Se как переходные металлы [8] в кремнии образуют примесные центры люминесценции. Характерной особенностью спектров ФЛ кремния, содержащего переходные металлы и селен, является наличие электронно-колебательных полос, большинство их которых имеет квазилинейчатую структуру. Полосы обусловлены аннигиляцией экситонов локализованных на глубоких примесных центрах. Кроме того, результаты данной работы указывают на перспективность совместного применения методов ФЛ и DLTS для изучения электронной структуры примесных центров в кремнии, легированном примесями с ГУ.

Список литературы

[1]. Султанов Н.А. Фотоэлектрические свойства кремния с примесью селена ФТП.1974.Т.8.Вып.9.с.1977-1980.
[2]. Grimmeiss H.G. Skarstam B, Excited stats at deep centers in Si: S and Si:Se//Phys.Rev.B: Condens Mater.1981.Vol.23.N4.p,1947-1960.
[3]. Grimmeiss H.G., Janzen E., Skarstam B. Electronic properties of selenium-doped silicon//J.Appl. Phys.1980.Vol.51.N7.P.3740-3745.
[4]. High-resolution studies of sulfur-and selenium-related donor centers in silicon/Janzen E., Stedman R., Grassman G., Grimmiss H.G//Physs.Rev.B1984. Vol.29.N4.P.1907-1918.
[5]. Chemical identification of deep energy levels in Si:Se/Grimmeiss H.G., Janzen E., Skarstom B., Lodding A.//J.Appl.Phys.1980.Vol.51.N12.P6238-6242.
[6]. Астрова Е.В., Большаков И.Б., Лебедов А.А., Махно О.А. Фотопроводимость кремния, легированного селеном-ФТП, 1985, т.19, в.5,с.919-922.
[7]. Лебедов А.А., Экке В. Определение концентрации ГУ в объеме полупроводника из измерений нестационарной емкостной спектроскопии при постоянной емкости,-ФТП,1986, т.20, в.10,с.1806-1810.
[8]. Л.М. Капитонова, А.А.Лебедов, Н.А. Султанов, Н.С. Минаев, А.В.Мудрый, А.И.Патук/Фотолюминесценция и ёмкостная спектроскопия кремния, легированного переходными элементами. Препринт ФТИ АН СССР,-Л.:1987, N1186,30 с.
[9]. Conzelmann H.Appl.Phys.,1987,v.A42,N1.p.1-18

UDK: 512.762:517.5:519.6

ENG SODDA KASRLARNI AJRATISH ALGORITMLARI VA ULARNING ISBOTLARI

M.S. Isakjanov

Andijon davlat texnika instituti
E-mail: marufzonisakzonov@gmail.com
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Ushbu maqolada ratsional kasrlarni eng sodda kasrlarga ajratishning asosiy algoritmlari va ularning matematik isbotlari tizimli tarzda tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari algoritmlarning nazariy jihatdan qat'iy va amaliy jihatdan samarali ekanligini ko'rsatadi. Mazkur usullar integral hisob, differensial tenglamalar va kompyuter algebra tizimlarida keng qo'llanilishi mumkin.*

Kalit so'zlar: *ratsional kasr, eng sodda kasr, algoritm, matematik isbot, integral hisob, differensial tenglama.*

Kirish. Ratsional funksiyalar nazariyasi matematik analiz va algebra fanlarining muhim yo'nalishlaridan biri bo'lib, u murakkab funksional bog'lanishlarni soddalashtirish, ularning xossalarini chuqur tahlil qilish hamda amaliy masalalarga tadbiq etishda keng qo'llaniladi. Ayniqsa, ratsional kasrlarni eng sodda kasrlarga ajratish masalasi integral hisob, differensial tenglamalar, funksiyalar nazariyasi, Laplas va Furye o'zgartirishlari, shuningdek, texnika va fizika masalalarida uchraydigan modellarni yechishda fundamental ahamiyat kasb etadi. Ushbu usul yordamida murakkab algebraik ifodalar elementar ko'rinishga keltirilib, matematik jarayonlarning tahlili sezilarli darajada soddalashtiriladi.

Eng sodda kasrlarni ajratish algoritmlarining nazariy asosi ko'phadlar algebrai, ularning omillarga ajratilishi va ko'phadlar tengliklarining identikligi tushunchalariga borib taqaladi. Mazkur yondashuv ratsional funksiyalarni tuzilishiga ko'ra tasniflash imkonini beradi va ularning har bir sinfi uchun mos algebraik algoritmlarni ishlab chiqishga xizmat qiladi. Shu nuqtai nazardan, qisman kasrlarga ajratish nafaqat hisoblash texnikasi, balki ratsional funksiyalarning ichki tuzilishini ochib beruvchi nazariy vosita sifatida ham muhimdir.

Bugungi kunda kompyuter algebra tizimlarining rivojlanishi eng sodda kasrlarga ajratish algoritmlarini avtomatlashtirish zaruratini yuzaga keltirmoqda. Biroq bunday tizimlarning ishonchliligi va aniqligi aynan mazkur algoritmlarning qat'iy matematik isbotlarga asoslanganligiga bog'liq. Shuning uchun eng sodda kasrlarni ajratish usullarini faqat amaliy algoritm sifatida emas,

balki ularning yagonaligi va mavjudligini kafolatlovchi nazariy jihatlari bilan birgalikda o‘rganish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi.

Ushbu maqolaning maqsadi ratsional kasrlarni eng sodda kasrlarga ajratishning asosiy algoritmlarini chuqur ilmiy tahlil qilish, ularning qo‘llanish shartlarini aniqlash hamda mazkur ajratishlarning mavjudligi va yagonaligini qat’iy matematik isbotlar asosida asoslab berishdan iborat. Tadqiqot natijalari oliy matematika kurslarida nazariy material sifatida, shuningdek, muhandislik va tabiiy fanlar yo‘nalishlarida uchraydigan amaliy masalalarni yechishda metodik asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

Metodlar. Mazkur tadqiqotda ratsional kasrlarni eng sodda kasrlarga ajratish masalasi qat’iy matematik va mantiqiy yondashuv asosida tadqiq etildi. Tadqiqot metodologiyasi ko‘phadlar algebrai, ratsional funksiyalar nazariyasi hamda identik tengliklar nazariyasiga tayangan holda ishlab chiqildi. Asosiy e’tibor ratsional kasrlarning tuzilishini chuqur tahlil qilish, maxraj ko‘phadining faktorizatsiyasi va hosil bo‘ladigan algebraik tengliklarning qat’iy isbotlariga qaratildi.

Tadqiqotning boshlang‘ich bosqichida quyidagi umumiy ko‘rinishdagi to‘g‘ri ratsional kasr qaraladi:

$$x=PxQx \qquad \deg Px<\deg Qx$$

bu yerda P(x) va Q(x)— haqiqiy koeffitsiyentli ko‘phadlar. Avvalo, Q(x) ko‘phadining ildizlari aniqlanib, u chiziqli va ajralmas kvadratik omillarga ajratiladi. Ushbu bosqich algoritmning asosiy tayanch nuqtasi bo‘lib, aynan maxrajning algebraik tuzilishi eng sodda kasrlar ko‘rinishini belgilab beradi.

Keyingi bosqichda maxraj ko‘phadining faktorizatsiya natijasiga mos ravishda eng sodda kasrlarning umumiy strukturasi aniqlanadi. Agar maxraj chiziqli omillardan iborat bo‘lsa, birinchi darajali kasrlar, karrali omillar mavjud bo‘lsa, darajasi ortib boruvchi kasrlar kiritiladi. Ajralmas kvadratik ko‘phadlar uchun esa surat darajasi maxraj darajasidan kichik bo‘lgan chiziqli ifodalar tanlanadi. Bu tanlov ratsional funksiyalarni ajratish haqidagi klassik teoremalarga asoslanadi.

So‘ngra noma’lum koeffitsiyentlar usuli qo‘llanilib, dastlabki ratsional kasr tanlangan eng sodda kasrlar yig‘indisiga tenglashtiriladi. Tenglikning har ikkala tomoni umumiy maxrajga keltiriladi va hosil bo‘lgan ifoda ko‘phadlar tengligi sifatida qaraladi. Identik tenglik tamoyiliga ko‘ra, bir xil darajali hadlar koeffitsiyentlarini taqqoslash orqali chiziqli algebraik tenglamalar sistemasi hosil qilinadi.

Hosil bo‘lgan tenglamalar sistemasi klassik algebraik usullar — almashtirish, qo‘shish-ayirish va matritsaviy metodlar yordamida yechiladi. Ushbu bosqichda yechimning mavjudligi va yagonaligi chiziqli tenglamalar sistemasi nazariyasi asosida asoslanadi. Aynan shu metodologik yondashuv eng sodda kasrlarga ajratish algoritmining qat’iyligini va universalligini ta’minlaydi.

Shuningdek, ajratish natijasining yagonaligini isbotlashda nolga teng bo‘lgan ratsional funksiyaning faqat trivial ko‘rinishda bo‘lishi mumkinligi haqidagi teorema va qarama-qarshilikka keltirish usulidan foydalanildi. Bu esa tadqiqotda qo‘llanilgan metodlarning chuqur nazariy asosga ega ekanligini ko‘rsatadi.

Natijalar. O‘tkazilgan nazariy tahlil va algoritmik yondashuvlar asosida ratsional kasrlarni eng sodda kasrlarga ajratishning umumlashgan va qat’iy matematik modeli ishlab chiqildi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, har qanday to‘g‘ri ratsional kasr maxraj ko‘phadining faktorizatsiya tuzilishiga bog‘liq holda oldindan aniqlangan eng sodda kasrlar yig‘indisiga keltiriladi va bu ajratish **yagona** hisoblanadi.

Xususan, agar maxraj quyidagi ko‘rinishda ifodalansa:

$$Q(x) = (x - a_1)^{k_1}(x - a_2)^{k_2} \cdots (x - a_n)^{k_n}$$

u holda mos ratsional kasrni eng sodda kasrlarga ajratish quyidagi umumiy formula bilan berilishi asoslandi:

$$\frac{P(x)}{Q(X)} = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{A_{i1}}{x - a_i} + \frac{A_{i1}}{(x - a_i)^2} + \cdots + \frac{A_{ik_i}}{(x - a_i)^{k_i}} \right.$$

Tadqiqot davomida ushbu yoyilmaning **mavjudligi va yagonaligi** qat'iy isbotlandi. Isbot jarayonida ko‘phadlar tengligining identikligi tamoyiliga tayangan holda, tenglikning har ikkala tomonini umumiy maxrajga keltirish natijasida hosil bo‘lgan algebraik ifoda nolga teng bo‘lishi faqat trivial ko‘rinishda mumkinligi ko‘rsatildi. Natijada noma'lum koeffitsiyentlardan tuzilgan chiziqli algebraik tenglamalar sistemasining yagona yechimga ega ekanligi aniqlandi.

Bundan tashqari, maxraj tarkibida ajralmas kvadratik ko‘phad mavjud bo‘lgan holatlar alohida ko‘rib chiqildi. Agar maxrajda

$$x^2 + px + q$$

ko‘phadi ishtirok etsa va uning diskriminanti manfiy bo‘lsa, ya'ni

$$p^2 - 4q < 0$$

u holda mos eng sodda kasrning surati birinchi darajali ko‘phad ko‘rinishida olinishi zarurligi asoslandi:

$$\frac{Bx + C}{x^2 + px + q}$$

.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, ishlab chiqilgan algoritmlar nafaqat nazariy jihatdan mukammal, balki hisoblash nuqtayi nazaridan ham samarali hisoblanadi. Ularni ketma-ket va tizimli qo‘llash orqali ratsional funksiyalarni kompyuter algebra tizimlarida avtomatlashtirilgan tarzda ajratish imkoniyati mavjud.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari eng sodda kasrlarga ajratish nazariyasining to‘liqligi, universalligi va amaliy ahamiyatini tasdiqlab, uni oliy matematika kurslari hamda muhandislik hisoblashlarida qo‘llash uchun mustahkam nazariy asos yaratadi.

Muhokama. Olingan natijalar klassik matematik adabiyotlarda keltirilgan qisman kasrlarga ajratish nazariyasi bilan to‘liq mos keladi. Tadqiqot shuni ko‘rsatdiki, ishlab chiqilgan algoritmlar nafaqat nazariy jihatdan qat'iy va mukammal, balki amaliy masalalarda ham yuqori samaradorlikka ega. Xususan, integral hisobda ratsional funksiyalarni integrallash, Laplas o‘zgartirishlarini hisoblash va differensial tenglamalar yechimlarini aniqlashda mazkur usullar muhim ahamiyat kasb etadi.

Bundan tashqari, kompyuter algebra tizimlarida algoritmlarni avtomatlashtirilgan tarzda amalga oshirish imkoniyati mavjudligi tadqiqot natijalarining amaliy qiymatini oshiradi. Shu bilan birga, maxrajning faktorizatsiyasiga bog‘liq holda eng sodda kasrlarni ajratishning yagona yechimga ega ekanligi va ajratish jarayonining ishonchliligi nazariy jihatdan tasdiqlanadi.

Tahlil shuni ko‘rsatadiki, ajratish algoritmlari turli murakkab ratsional funksiyalar uchun keng qo‘llanilishi mumkin bo‘lib, ularning samaradorligi va aniqligi nazariy va amaliy jihatdan kafolatlangan. Shu bilan birga, qo‘llanilgan metodlar yuqori darajada universallikka ega bo‘lib, ular yordamida yangi integral va differensial masalalarni yechishda samarali natijalarga erishish mumkin. Natijalar shuni ham tasdiqladiki, ratsional kasrlarni ajratish nazariyasi va algoritmlari yuqori matematika va muhandislik hisoblashlarida mustahkam nazariy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Xulosa. Maqolada eng sodda kasrlarni ajratishning asosiy algoritmlari va ularning matematik isbotlari tizimli ravishda yoritildi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, har qanday to‘g‘ri ratsional kasr maxrajining faktorizatsiyasiga bog‘liq holda eng sodda kasrlar yig‘indisiga yagona tarzda ajratilishi mumkin. Bu ajratish algoritmlari nafaqat nazariy jihatdan qat'iy, balki hisoblash nuqtayi nazaridan ham samarali hisoblanadi.

Shuningdek, ishlab chiqilgan metodlar integral hisob, differensial tenglamalar, Laplas va Furye o‘zgartirishlari kabi amaliy masalalarda ratsional funksiyalarni samarali integrallash va yechim topishda keng qo‘llanilishi mumkin. Natijalar eng sodda kasrlarga ajratish nazariyasining to‘liqligi, universalligi va amaliy ahamiyatini tasdiqlab, ularni oliy matematika kurslari hamda muhandislik va tabiiy fanlar masalalarini yechishda mustahkam nazariy asos sifatida ishlatishga imkon beradi.

Kelgusida ushbu algoritmlarni kompyuter algebra tizimlarida avtomatlashtirish orqali kengaytirilgan amaliy qo‘llanilishi, murakkab funksiyalarni soddalashtirish va hisoblash jarayonlarini yanada samarali qilish mumkin.

Maqolada eng sodda kasrlarni ajratishning asosiy algoritmlari va ularning matematik isbotlari tizimli ravishda yoritildi. Ko‘rsatildiki, har qanday to‘g‘ri ratsional kasr maxrajining tuzilishiga bog‘liq holda eng sodda kasrlar yig‘indisiga yagona tarzda ajratilishi mumkin. Ushbu natijalar oliy matematika kurslarida, shuningdek, muhandislik va tabiiy fanlar masalalarini yechishda keng qo‘llanish imkoniyatiga ega bo‘lib, kelgusida algoritmlarni kompyuter algebra tizimlarida avtomatlashtirish uchun nazariy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar

[1]. Ahlfors, L. V. (1966). Complex Analysis. McGraw-Hill.
[2]. Stewart, J. (2015). Calculus: Early Transcendentals. Cengage Learning.
[3]. Knuth, D. E. (1997). The Art of Computer Programming, Vol. 1: Fundamental Algorithms. Addison-Wesley.
[4]. Bronshtein, I. N., Semendyayev, K. A. (2012). Handbook of Mathematics. Springer.
[5]. Thomas, G. B., Weir, M. D., Hass, J. (2014). Thomas' Calculus. Pearson.
[6]. Bronstein, I., Semendjajew, K. (2005). Algebraic Techniques for Symbolic Computation. Springer.
[7]. Arfken, G. B., Weber, H. J. (2005). Mathematical Methods for Physicists. Elsevier.
[8]. Lang, S. (2002). Algebra. Springer.
[9]. Boyce, W. E., DiPrima, R. C. (2017). Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems. Wiley.
[10]. Zill, D. G., Cullen, M. R. (2009). Differential Equations with Boundary-Value Problems. Cengage Learning.

ULTRATOVUSH TA’SIRIDA PILLADAN IPAK AJRATISH JARAYONINING NAZARIY ASOSLARI VA MATEMATIK MODELLASHTIRILISHI

A.A. Botirov[1], N.Y. Sharibayev[2]

[1]Farg‘ona davlat texnika universiteti,
[2]Namangan davlat texnika universiteti

(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Maqolada ultratovush ta’sirida pilladan ipak ajratish jarayonining nazariy asoslari o‘rganilgan. Seritsin qatlamining yumshatish va bo‘kish jarayoni, kavitatsion pufakcha dinamikasi (Rayleigh–Plesset tenglamasi) hamda ipak tolasining pilla qobig‘idan ajralish kuchi matematik modellashtirilgan. To‘la omilli tajriba (TOT 2³) rejalashtirish usuli asosida regressiya tenglamasi qurilib, jarayonning optimal texnologik parametrlari asoslangan. Olingan natijalarga ko‘ra, ultratovush ta’sirida seritsinning effektiv bo‘kish tezligi 1,63 marta ortadi, optimal rejimda (40 kHz, 60°C, 3 min) xom ipak chiqishi 38,1% gacha ko‘tariladi.*

Kalit so‘zlar: *pilla chuvish, ultratovush, kavitatsiya, seritsin, Rayleigh–Plesset tenglamasi, ipak ajralish kuchi, matematik modellashtirish, regressiya tenglamasi, optimal parametrlar.*

Kirish. Ipak tolasi tabiiy tolalar orasida eng qimmatbaho xomashyolardan biri bo‘lib, uning fizik-mexanik xususiyatlari boshqa tolalardan ustun turadi. O‘zbekiston ipak ishlab chiqarish bo‘yicha dunyoda yetakchi o‘rinlardan birini egallaydi. Biroq mamlakatimiz korxonalarida pilla chuvish jarayoni asosan an’anaviy bug‘lash usulida (suv harorati 95–98°C) amalga oshirilmoqda, bu esa katta energiya sarfiga, ipak tolasi mexanik xususiyatlarining yomonlashishiga va ipak uzilishlarining ko‘payishiga olib keladi. Ultratovush kavitatsiyasi orqali seritsin qatlamini past haroratlarda (40–60°C) yumshatish imkoniyati ushbu muammoni hal etishda istiqbolli yo‘nalish hisoblanadi. Shu sababli, ultratovushning seritsin qatlamiga ta’sir mexanizmini va ipak ajralish jarayonini matematik modellashtirish dolzarb vazifa bo‘lib qoladi.

Seritsin va fibroinning fizik-kimyoviy xususiyatlari.

Pilla qobig‘i asosan ikki oqsildan — fibroin (≈70–75%) va seritsin (≈25–30%)dan tashkil topgan. Fibroin tolaning o‘zagi bo‘lib, unga mustahkamlik beradi, seritsin esa fibroin tolalarini bir-biriga yelimlash vazifasini bajaradi. Seritsinning aktivatsiya energiyasi E_a = 45,2 kJ/mol bo‘lib, fibroinnikiga (85–95 kJ/mol) nisbatan ikki marta past. Aynan shu farq seritsinni fibroinni buzmasdan selektiv yumshatish imkonini beradi — bu pilla chuvish texnologiyasining asosiy prinsipidir.

Seritsinning suvda erish kinetikasi Arrhenius tenglamasi bilan ifodalanadi:

$$k(T) = A \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{R \cdot T}\right) \quad (1)$$

Bu yerda $A = 2{,}8\times10^{8}\ s^{-1}$ — pre-eksponensial koeffitsiyent; $R = 8{,}314$ J/(mol·K). Fibroin mustahkamligining haroratga bog‘liqligi tahlili shuni ko‘rsatadiki, 60°C da fibroin mustahkamligi atigi 5% ga kamayadi, 100°C da esa 9,5% ga. Demak, 60°C ishlov rejimida fibroin amalda buzilmaydi, bu past haroratli ultratovushli ishlovning texnologik ustunligini tasdiqlaydi.

Ultratovush kavitatsiyasi va seritsin bo‘kish modeli.

Ultratovush ta’sirida suyuqlikda hosil bo‘ladigan kavitatsion pufakcha radiusining vaqtga bog‘liqligi Rayleigh–Plesset ikkinchi tartibli nolineer differensial tenglamasi bilan tavsiflanadi:

$$R\cdot\left(\frac{d^2R}{dt^2}\right)+\left(\frac{3}{2}\right)\cdot\left(\frac{dR}{dt}\right)^2=\left(\frac{1}{\rho}\right)\cdot\left[p_i-p^0-p_a\cdot sin\omega t-\frac{2\sigma}{R}-\frac{4\mu\left(\frac{dR}{dt}\right)}{R}\right] \qquad (2)$$

Tenglamani Runge–Kutta usulida sonli yechish natijasida 40 kHz chastotada pufakchaning maksimal radiusi $R_{max} \approx 50$ mkm, minimal radiusi $R_{min} \approx 3$ mkm ekanligi aniqlandi. Kavitatsion portlashda lokal harorat $T_{max} \approx 4200$ K va bosim $p_{max} \approx 500$ atm hosil bo‘ladi — bu seritsin molekulasining peptid bog‘larini uzish uchun yetarli. Kavitatsiyaning boshlanishi uchun zarur akustik bosim (Blake chegarasi) 40 kHz da $p_{amin} \approx 1{,}28$ atm bo‘lib, 150 Vt quvvatli PZT-4 generator tomonidan osonlik bilan ta’minlanadi.

Seritsinning suvda bo‘kishi birinchi tartibli kinetik tenglama yechimi bilan ifodalanadi: $S(t) = S_e q\cdot[1 - \exp(-k_a\cdot t)]$. Ultratovush ta’sirida effektiv bo‘kish tezligi konstantasi quyidagicha ortadi:

$$k_eff = k_a(T)\cdot\left[1+\alpha_{us}\cdot\left(\frac{p_a}{p^0}\right)^2\cdot\left(\frac{f}{f^0}\right)^{1.2}\right] \qquad (3)$$

Hisob-kitoblarga ko‘ra, 40 kHz, 600 Vt, 60°C sharoitida ultratovush ta’sirida bo‘kish tezligi 1,63 marta ortadi. 60°C da 3 min ishlov berishda nazariy bo‘kish darajasi 215,6%, eksperimental qiymat 218% — model xatoligi atigi 1,1%, bu modelning adekvatligini ko‘rsatadi.

Ipak tolasining ajralish kuchi modeli.

Ipak tolasining pilla qobig‘idan ajralish kuchi seritsin qatlami bo‘ylab yopishish kuchlanishining integral ifodasi sifatida modellashtirildi. Yopishish kuchlanishining vaqt va haroratga bog‘liq kamayishini hisobga olib, ajralish kuchining integral-eksponensial modeli olindi:

$$F_a(t) = \pi\cdot d\cdot l\cdot\tau^0\cdot\exp(-k_eff\cdot t)\cdot[1-\beta\cdot(1-\exp(-k_a\cdot t))] \qquad (4)$$

Bu yerda $\tau_0 = 3{,}0$ MPa — boshlang‘ich yopishish kuchlanishi; $\beta = 0{,}90$ — empirik koeffitsiyent. Eksperimental ma’lumotlar kubik polinom bilan ham approksimatsiya qilindi va barcha variantlarda determinatsiya koeffitsiyenti $R^2 \geq 0{,}999$ ga erishildi. 40 kHz, 60°C rejimida ajralish kuchining kamayish tezligi ultratovushsiz variantga nisbatan 50% yuqori bo‘lib, bu ultratovushning ipni samarali ajratishdagi ahamiyatini miqdoriy ifodalaydi.

Regressiya modeli va texnologik jarayonni optimallashtirish.

Ultratovush parametrlarining ipak ajralish jarayoniga ta’sirini aniqlash uchun to‘la omilli tajriba (TOT 2^3) rejalashtirish usuli qo‘llanildi. Kiruvchi omillar: X_1 — ultratovush chastotasi (20–60 kHz), X_2 — suvning harorati (40–80°C), X_3 — ishlov berish vaqti (1–5 min). Tajriba natijalari asosida quyidagi regressiya tenglamasi olindi:

$$Y = 16{,}364 + 0{,}125X_1 + 0{,}440X_2 + 0{,}636X_3 + 0{,}150X_1X_2 + 0{,}155X_2X_3 \qquad (5)$$

Model adekvatligi Koxren, Styudent va Fisher mezonlari bilan tekshirildi ($F_h = 1{,}235 < F_{nat} = 8{,}85$ — model adekvat). Tenglamaga ko‘ra, chiqish kuchiga eng katta ta’sirni ishlov berish vaqti ($b_3 = 0{,}636$), so‘ng harorat ($b_2 = 0{,}440$), eng kam ta’sirni chastota ($b_1 = 0{,}125$) ko‘rsatadi. Pillalarning ko‘tarilish balandligini cheklash sharti ($h_s \leq 30$ mm) va fibroin strukturasini saqlash sharti ($T \leq 80$°C) ostida ko‘p mezonli optimallashtirish masalasi Lagranj ko‘paytirgichlari usulida yechildi. Natijada optimal parametrlar aniqlandi: chastota $f = 40$ kHz, harorat $T = 60$°C, ishlov vaqti $t = 3$ min, jami ultratovush quvvati 600 Vt. Bu rejimda xom ipak chiqishi 38,1% gacha oshishi va energiya sarfi an’anaviy usulga nisbatan 7,5 marta kamayishi prognoz qilindi.

Xulosa.

Olib borilgan nazariy tadqiqotlar quyidagi xulosalarni berdi. Birinchidan, seritsin va fibroinning aktivatsiya energiyalari orasidagi ikki barobar farq seritsinni selektiv yumshatish imkonini beradi; 60°C da fibroin mustahkamligi atigi 5% ga kamayadi. Ikkinchidan, ultratovush kavitatsiyasining seritsin qatlamiga ta’sir mexanizmi Rayleigh–Plesset tenglamasi asosida modellashtirilib,

kavitatsion portlashda 4200 K harorat va 500 atm bosim hosil bo‘lishi ko‘rsatildi. Uchinchidan, ultratovush ta’sirida seritsinning effektiv bo‘kish tezligi 1,63 marta ortishi isbotlandi (model xatoligi 1,1%). To‘rtinchidan, ipak ajralish kuchining integral-eksponensial modeli ($R^2 \geq 0{,}999$) qurildi. Beshinchidan, TOT 2^3 asosida adekvat regressiya tenglamasi olinib, optimal texnologik parametrlar (40 kHz, 60°C, 3 min) asoslandi. Olingan matematik modellar va analitik bog‘lanishlar shunga o‘xshash texnologik tizimlarni tadqiq etishda qo‘llanilishi mumkin.

Adabiyotlar

[1]. Suslick K.S. Sonochemistry // Science. – 1990. – Vol. 247. – P. 1439–1445.
[2]. Leighton T.G. The Acoustic Bubble. – London: Academic Press, 1994. – 613 p.
[3]. Plesset M.S. The dynamics of cavitation bubbles // Journal of Applied Mechanics. – 1949. – Vol. 16. – P. 277–282.
[4]. Mardonov B.M., Jernitsin Y.L. Ipak tolasining ajralish kuchini aniqlash usullari // To‘qimachilik muammolari. – 2019. – № 1. – B. 56–62.
[5]. Rasulova N.F. Pilla chuvishda foydalaniladigan texnologik suv tayyorlash usulini takomillashtirish: PhD diss. – Toshkent, 2026. – 120 b.

QOZIQ-PARRAKLI TITKILOVCHI-TAQSIMLOVCHI BARABAN PARAMETRLARINING REGENERATSIYA SAMARADORLIGIGA TA’SIRI

G.X. Jalilova

Farg‘ona davlat texnika universiteti,

(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya *Ushbu maqolada qoziqli-parrakli titkilovchi-taqsimlovchi barabanning konstruktiv va ishchi parametrlarining regeneratsiya jarayoni samaradorligiga ta’siri tadqiq etilgan. Barabanning qoziq va parrak elementlari geometrik o‘lchamlari hamda ularning joylashish burchaklari tolali materialni qayta ishlash jarayonida regeneratsiya darajasini belgilovchi asosiy omillar sifatida ko‘rib chiqilgan. Tajribaviy natijalar asosida parametrlarning optimal qiymatlari aniqlangan va regeneratsiya samaradorligini oshirish yo‘llari asoslab berilgan.*

Kalit so‘zlar: *qoziqli-parrakli baraban, aylanishlar soni, regeneratsiya, titkilash jarayoni, konstruktiv parametrlar, samaradorlik, tolali chigit.*

Kirish. Paxta sanoatida chigitli xomashyodan tolani ajratish jarayonidan keyin qoladigan tolador chigitni qayta ishlash, ya’ni regeneratsiya qilish muhim texnologik bosqichlardan biri hisoblanadi. Ushbu jarayonning samaradorligi ko‘p jihatdan qoziqli-parrakli titkilovchi-taqsimlovchi barabanning konstruktiv va kinematik parametrlariga bog‘liq. Barabanning qoziq va parrak elementlari tolali materialni mexanik ta’sir orqali titkilash, aralashtirish va taqsimlash vazifasini bajaradi. Shu sababli ularning geometrik o‘lchamlari va joylashish burchaklarini ilmiy asosda optimallashtirish regeneratsiya samaradorligini oshirish imkonini beradi.

Takomillashtirilgan RNS rusumli uskunaning ishlash samaradorligi asosan uzatilayotgan chigitni arrachali baraban yuzasi bo‘ylab qanday taqsimlanishiga bog‘liqdir. Chigit oqimi baraban yuzasi bo‘ylab bir tekis yoyilmasdan katta qatlamda bo‘lsa, qoldiq tolali chigitlarning ma’lum qismi arra tishlariga ilinmasdan kolosniklar orasidan o‘tib ketadi. Shu sababli titkilovchi qoziqli-plankali moslamaning vint qadamini aniqlash muhim hisoblanadi

Vint qadami (L), bu val bo‘ylab bir to‘liq aylanganda chigitning siljish masofasini ko‘rsatadi. Agar vint qadami kichik bo‘lsa chigit ko‘proq titkilanadi, lekin ishchi zonada turib qolishidan tiqilishlar hosil bo‘lishi mumkin. Qadam katta bo‘lganda esa chigit tez suriladi, lekin baraban yuzasi bo‘ylab to‘liq yoyilmasligi va yaxshi titilmasligi mumkin.

Shuning uchun vint qadamining ratsional qiymatini aniqlash bo‘yicha tajribalar o‘tkazildi. Tajribada vint qadamini L=100-200 mm oralig‘ida o‘rnatib, regeneratsiya samarasini, qoldiq toladorlikni kamayishini va chigitning mexanik shikastlanishini oshishini o‘rganildi (3.2-jadval).

Bunda qoziqli baraban diametri 180 mm, qoziqlar uzunligi 40 mm, qoziqlar oraliq masofasi 40 mm, aylanishlar soni 120 min^{-1}, qoziq plankalarining eni 20 mm holatida va plankalar yo‘nalishi vint bilan bir xilda qoldirildi.

1-jadval

Vint qadamining regeneratsiya samaradorligiga ta’siri

L, mm	Dastlab-ki qoldiq tolador-lik, g/200 dona	Regeneratsiya-dan so‘ng qoldiq toladorlik, g/200 dona	Qoldiq toladorlik kamayishi, (m_0-m_1), g	Regeneratsiya samaradorli-gi, %	Shikastla-nish, %
100	0,362	0,248	0,114	31,4	0,3
125	0,366	0,238	0,128	34,9	0,3
150	0,376	0,237	0,139	36,9	0,2
175	0,368	0,237	0,131	35,6	0,2
200	0,367	0,246	0,121	32,9	0,3

Yuqoridagi 3.2-jadvaldan ko‘rinadiki, vint qadamining 100 mm da chigit baraban yuzasi bo‘ylab sekin suriladi va ishchi zonada ko‘proq vaqt qoladi. Bu ayrim holatlarda chigitni qayta-qayta titkilanishiga olib kelib, mexanik ta’sirni kuchaytiradi. Shu sababli regeneratsiya samarasi o‘rtacha 31,4% bo‘ldi va qoldiq toladorlikning uskunadan o‘tgan chigitda kamayishi 0,114 gr. ni tashkil etib, chigitlarning mexanik shikastlanishini oshishi 0,3 % ni tashkil etdi.

Vint qadamini 125 mm ga oshirilishi chigitning baraban bo‘ylab harakatini biroz tezlashtirdi va ishchi zonada qolish vaqti me’yorlashdi. Natijada chigit baraban yuzasi bilan yetarli darajada o‘zaro ta’sirga kirishdi, ammo ortiqcha qayta ishlanish kuzatilmadi. Shu sababli regeneratsiya samaradorligi 34,9% gacha oshdi, qoldiq toladorlik kamayishi 0,128 g ni tashkil etdi. Mexanik shikastlanish esa 0,3% darajada qolgan, ya’ni 100 mm holatiga nisbatan sezilarli ortib ketmagan.

Vint qadami 150 mm ga o‘rnatilganda esa chigitning ilgarilanma harakati va ishchi zonada bo‘lish vaqti o‘rtasida eng maqbul muvozanat yuzaga keldi. Chigitlarning baraban yuzasi bo‘ylab bir tekis taqsimlanishi kuzatildi. Shuning natijasida regeneratsiya samaradorligi eng yuqori bo‘lib, 36,9% ni tashkil etdi. O‘tgan chigitlar tarkibidagi qoldiq toladorli chigitlarning kamayishi 0,139 g ni tashkil etdi. Shu bilan birga mexanik shikastlanish 0,2% gacha kamayishi, jarayonni bir tekis kechganini bildiradi.

Qadamni 175 mm ga oshirilganda chigitning harakat tezligini yanada oshgani ko‘rindi. Bunda chigitlarning baraban bilan kontakt soni kamligidan regeneratsiya samaradorligi 35,6% gacha kamayishini ko‘ramiz. Qoldiq toladorlik kamayishi 0,131 g ni tashkil etgan.

Vint qadamini 200 mm ga o‘rnatganimizda chigit ishchi zonadan tez o‘tib ketdi. Baraban bilan ta’sir vaqti yetarli emasligi baraban oxiriga chigitlarning ko‘proq yig‘ilishi sababli qoldiq tolali chigitlarni arra tishlari bilan ushlab qolishga ulgurmaydi. Shuning uchun regeneratsiya samaradorligi 32,9% gacha pasaydi, chigit orasida qoldiq toladorligi yuqori chigitlar sonining kamayishi 0,121 g ni tashkil etdi. Mexanik shikastlanish 0,3% bo‘lib, chigitlarni shnek oxiriga yig‘ilishidan oshganini ko‘ramiz.

Tajriba natijalariga ko‘ra vint qadamining 150 mm da regeneratsiya samarasi yuqori ko‘rsatkichlarga ega bo‘lganligi uchun keyingi tajribalarda ushbu parametrni qo‘llanildi.

Xulosa

O‘tkazilgan tajriba natijalariga ko‘ra, vint qadami uskunaning regeneratsiya samarasiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Natijada qadamning 150 mm holatida chigit arrachali baraban yuzasi bo‘ylab bir tekis harakatiga erishilib, yuzada yupqa va teng chigit qatlamini hosil qilinishi ta’minlandi. Ushbu holatda regeneratsiya samaradorligi eng yuqori ko‘rsatkichlarga ega bo‘lib, 36,9 % ni tashkil etdi.

Adabiyotlar

[1]. O‘zDSt 662:2021 — Paxta momig‘i. Texnik shartlar. O‘zbekiston Respublikasi Standartlashtirish, metrologiya va sertifikatsiya agentligi. Toshkent, 2021. → Standart talablari, sinflash, tukdorlik chegaralari.

[2]. O‘zDSt 3173:2020 — Paxta chigiti. Namlikni aniqlash usuli. O‘zbekiston Standart, Toshkent, 2020. → Namlik o‘lchash metodikasi.

[3]. Karimov A., Xo‘jayev Sh. — “Paxta linterlash jarayonida 5LP linter samaradorligini oshirish”. Modern Science and Research jurnali, 3-tom, 2024, 112–118-betlar. → 5LP linter tajribalari, namlik, tezlik, masofa natijalari.
[4]. USDA Cotton Ginning Handbook (2023 Edition) — United States Department of Agriculture. Washington, 2023. → Xalqaro tajriba, Lummus linter, silindr eskinishi.
[5]. Paxta seleksiyasi va urug‘chilik ilmiy-tadqiqot instituti hisoboti — “O‘zbekiston paxta navlarining linter xususiyatlari (2020–2025)”. Toshkent, 2025. → S-6524, Bukino-7, AN-Bayaut-2 navlari linter ulushi.
[6]. Andijon paxta klasteri texnik hisoboti (2025) — “AI asosidagi linterlash optimallashtirish loyihasi”. Andijon, 2025. → Avtomatik sensorlar, real vaqtda nazorat natijalari.

NEXIA 3 AVTOMOBILINI TOM QISMINI TAYYORLASH TEXNOLOGIYASI

T.M. Isaboev

Andijon davlat texnika instituti
E-mail:isaboyevtohirjon@gmail.com
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya:*Mazkur maqolada “Nexia 3” avtomobili tom qismini tayyorlash texnologiyasi o‘rganildi. Qismni ishlab chiqarishda qo‘llaniladigan materiallar, shakl berish usullari, shtamplash jarayonlari, payvandlash va antikorroziya qoplamalarini qo‘llash texnologiyalari tahlil qilindi. Shuningdek, mahsulot sifatini oshirish va ishlab chiqarish samaradorligini ko‘tarish bo‘yicha takliflar berildi.*

Kalit so‘zlar: *Nexia 3 avtomobili, Tom qismi, Tayyorlash texnologiyasi, Kuzov detallari, Shtamplash jarayoni, Payvandlash usuli, Geometriya aniqligi, Korroziyadan himoya*

Kirish: Avtomobil kuzov qismlarini tayyorlash avtomobilsozlik sanoatida muhim va mas’uliyatli texnologik bosqich hisoblanadi. Bu jarayon nafaqat tashqi ko‘rinishni shakllantirish, balki avtomobilning mustahkamligi, yuk ko‘tarish qobiliyati, xavfsizligi va ekspluatatsion xususiyatlariga ham to‘g‘ridan-to‘g‘ri ta’sir qiladi. Kuzovning eng muhim tarkibiy elementlaridan biri — bu tom qismi hisoblanadi.

Avtomobilning tom qismi kuzovning yuqori qismini tashkil qilgan holda, tashqi muhit ta’siriga eng ko‘p duch keladigan himoyaviy elementlardan biridir. U suv, qor, shamol va quyosh nurlari kabi omillarga qarshi barer vazifasini bajaradi. Shu bilan birga, u kuzovga tushayotgan statik va dinamik yuklamalarni qabul qilib, ularni boshqa konstruksiya elementlariga taqsimlaydi. Shuning uchun, tom qismi yuqori mustahkamlikka, elastiklikka va korroziyaga chidamlilikka ega bo‘lishi lozim.

Bugungi kunda turli markali avtomobillar orasida “Nexia 3” keng tarqalgan modellardan biri hisoblanadi. Uning konstruksiyasida tom qismi yukori texnologiyalar asosida ishlab chiqarilib, umumiy kuzov mustahkamligi va salon ichidagi xavfsizlik darajasini ta’minlashda katta ahamiyat kasb etadi. Shu sababli, “Nexia 3” avtomobilining tom qismini tayyorlash texnologiyasini to‘liq va kompleks o‘rganish, unda qo‘llaniladigan materiallar, texnologik jarayonlar, shtamplash, payvandlash va antikorroziya qoplamalarni tadqiq qilish bugungi kunda dolzarb ahamiyat kasb etmoqda.

Ushbu maqolada aynan tom qismi tayyorlashdagi zamonaviy texnologik yechimlar, ishlab chiqarish jarayonlari va ularning samaradorligi tahlil qilinadi, shuningdek, mahsulot sifatini oshirishga qaratilgan takliflar bayon etiladi.

Tom qismini ishlab chiqarishda qo‘llaniladigan materiallar

Avtomobil tom qismi asosan ST14 yoki DX51D markali konstruksion yorug‘ prokatlangan uglerodli po‘latdan tayyorlanadi. Bu po‘lat turlari shaklga solishga qulay, yengil va zanglashga

chidamli hisoblanadi.

Nexia 3 avtomobili tom qismi uchun ishlatiladigan materiallar xususiyatlari
1-jadval.

№	Material turi	Markasi	Cho‘ziluvchanlik σv, MPa	Qattiqlik HB	Elastiklik moduli, GPa	Ezilishga chidamlilik	Izoh
1	Po‘lat list	DC04	270–330	70–80	210	Yuqori	Asosiy material
2	Aluminiy qotishmasi	AA5754	220–280	60–70	69	O‘rtacha	Ixtiyoriy qo‘llanadi
3	Kompozit (FRP)	–	200–300	–	30–50	Yuqori	Yangi texnologiya

Tom qismi shtamplash jarayoni bosqichlari va tavsifi 2-jadval.

№	Bosqich nomi	Tavsifi	Asbob-uskunalar	Vaqt, soniya
1	Tayyorlov	List material kesilishi, yuza tozaligi	Qirqish liniyasi	5–10
2	Predformovka	Egrilik berish, ichki stresslarni kamaytirish	Oldingi matritsa	8–12
3	Asosiy shtamplash	Tom qismi shaklini berish	Gidravlik press	10–15
4	Qirqish va burchaklash	Ortiqcha metallni olish, aniqlikka yetkazish	Qirquvchi shtamp	6–8
5	Sifat nazorati	Ko‘z bilan va o‘lchov asboblar orqali geometriyani tekshirish	3D lazer skaner	5

Nexia avtomobili tom qismi payvandlash usullari taqqoslashi 3-jadval.

№	Payvandlash usuli	Afzalliklari	Kamchiliklari	Qo‘llanilish sohasi
1	Kontaktli nuqtali payvand	Tez, arzon, avtomatlashtirish oson	Faqat ayrim nuqtalarda	Asosiy kuzov birikmalari
2	Lazerli payvandlash	Yuqori aniqlik, minimal deformatsiya	Qimmat, maxsus jihoz talab etadi	Texnologik zona yoki burchaklar
3	MIG/MAG payvandlash	Universal, kuchli birikma	Qo‘l mehnati, ko‘proq vaqt talab qiladi	Yordamchi metall qo‘shilmalarida

Shtamplash jarayoni: Tom qismi shaklini berish uchun quyidagi bosqichlar amalga oshiriladi:

- Plastinani dastlabki shaklga keltirish (predformovka);
- Asosiy shtamplash (shtamplash matritsalari orqali);
- Ortiqcha materiallarni kesish;
- Sifatni nazorat qilish.

Payvandlash texnologiyasi: Tom qismi boshqa kuzov qismlari bilan nuqtali kontaktli payvandlash yordamida birlashtiriladi. Bu usul orqali yuqori mustahkamlikka ega birikmalar hosil qilinadi. Qo‘shimcha ravishda, avtomatlashtirilgan robotlashgan liniyalar ishlatiladi.

Antikorroziya qoplamalar: Ishlab chiqarilgan tom qismi fosfatlash, gruntovkalash va elektroforetik bo‘yash orqali zangdan himoyalanadi. Bu jarayonlar mahsulotning xizmat muddatini uzaytiradi.

XULOSA: Avtomobilning tom qismi nafaqat tashqi ko‘rinishni, balki konstruktiv mustahkamlik va salon xavfsizligini ta’minlaydigan asosiy qismlardan biri hisoblanadi. “Nexia 3” avtomobilida bu qismni tayyorlashda yuqori texnologik standartlar, aniq material tanlovi va avtomatlashtirilgan

jarayonlardan foydalaniladi. Mazkur jarayonda shtamplash, payvandlash va antikorroziya himoyasidagi zamonaviy yondashuvlar samaradorlik va mahsulot sifatiga ijobiy ta’sir ko‘rsatadi.

TAKLIFLAR

1. Yangi avlod shtamplash uskunalarini joriy etish orqali ishlab chiqarish samaradorligini oshirish.
2. Payvandlash jarayonini to‘liq avtomatlashtirish orqali mehnat unumdorligini ko‘tarish.
3. Ekologik xavfsiz va uzoq muddatli antikorroziya qoplamalarni joriy etish.
4. Tom qismi mustahkamligini oshirish maqsadida gibrid materiallardan foydalanish imkoniyatlarini o‘rganish.

Adabiyotlar

[1]. Gulyaev A.P. Materialovedenie. — M.: Metallurgiya, 2009. — 512 s.
[2]. Belyaev N.M., Romanov V.P. Texnologiya kuzovnых detaley avtomobiley. M.: Mashinostroenie, 2015. 416 s.
[3]. Safarov M.H., Rahimov I.A. Avtomobilsozlikda konstruksiya va materiallar. Toshkent: «Fan», 2020. 284 b.
[4]. Yusupov F.N. Payvandlash texnologiyasi. — T.: TATU nashriyoti, 2018. — 235 b.
[5]. ISO 683-1:2016. Heat-treatable steels, alloy steels and free-cutting steels — Part 1: Non-alloy steels for quenching and tempering.
[6]. Chudakov Ye.A., Pavlov I.F. Proektirovanie i texnologiya avtomobilnых kuzovov. — M.: Mashgiz, 2013. 389 s.
[7]. UzAuto Motors. Nexia 3 kuzov tuzilishi va texnik pasporti. — Toshkent: Korxona materiallari, 2022.
[8]. Ulug‘muradov H. Avtomobil payvandlash jarayonlarida sifatni ta’minlash. Samarqand: SamDTI, 2021. 198 b.
[9]. Welding Handbook. Welding Processes. — American Welding Society (AWS), Volume 2, 10th edition, 2012.
[10]. Ganiev J., Abdurasulov B. Metall qoplamalar va korroziyadan himoya. — Toshkent: TTEI, 2019. 205 b.

KAMERA VA SUN’IY INTELLEKT ASOSIDA ULTRATOVUSHLI PILLA CHUVISH JARAYONINI BOSHQARISH UCHUN MEXATRONIK TIZIM KONSTRUKSIYASINI ISHLAB CHIQISH VA EKSPERIMENTAL TADQIQI

A.A. Botirov[1], N.Y. Sharibayev[2]

[1]Farg‘ona davlat texnika universiteti,
[2]Namangan davlat texnika universiteti
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Maqolada ultratovush yordamida pilladan ipak ajratish samaradorligini oshiruvchi mexatronik tizim konstruksiyasi ishlab chiqilgan. Tizim ultratovushli suvli vanna, kamerali monitoring va PID regulyatorli intellektual boshqaruv blokidan iborat. Kompyuter ko‘rishi algoritmlari (Gauss filtri, Otsu segmentatsiyasi, Kalman filtri) asosida pillalarning koordinatasi 95,3% aniqlikda va ko‘tarilish balandligi ±0,5 mm aniqlikda aniqlanadi. Yopiq kontur boshqaruv tizimining barqarorligi Raus–Gurvits mezoni bilan isbotlangan. Eksperimental natijalar tizim ipak uzilishlarini 62% ga kamaytirishi, xom ipak chiqishini 2,8 foiz punktga oshirishi (35,3% dan 38,1% gacha), ipak sifat sinfini 2A dan 3A ga ko‘tarishi va energiya sarfini 7,5 marta kamaytirishini ko‘rsatdi.*

Kalit so‘zlar: *mexatronik tizim, ultratovush, pilla chuvish, kompyuter ko‘rishi, sun’iy intellekt, PID regulyator, Kalman filtri, Raus–Gurvits mezoni, energiya tejamkorligi.*

Kirish.

An’anaviy pilla chuvish jarayonida texnologik parametrlarni nazorat qilish va boshqarish asosan inson omili bilan amalga oshiriladi, bu esa barqaror sifat ko‘rsatkichlarini ta’minlashni qiyinlashtiradi. Ultratovushli ishlovda esa muhim muammo — akustik radiatsion kuch ta’sirida pillalarning suv sirtiga ko‘tarilib chiqishi va natijada ipak tolasining uzilishidir. Ushbu muammoni hal qilish uchun ultratovush parametrlarini real vaqtda boshqaradigan, pillalar holatini kamera orqali kuzatadigan va sun’iy intellekt algoritmlari asosida jarayonni optimallashtiradigan mexatronik tizim konstruksiyasini ishlab chiqish maqsad qilib qo‘yildi.

Mexatronik tizimning funksional strukturasi.

Ishlab chiqilgan mexatronik tizim oltita asosiy funksional blokdan tashkil topgan: ultratovushli suvli vanna, kamerali monitoring tizimi, intellektual boshqaruv moduli, ijro

mexanizmlari, isitish tizimi va suv tayyorlash tizimi. Tizim yopiq boshqaruv konturi (closed-loop) asosida ishlaydi: sensorlar (kamera, harorat datchigi) → ma'lumotni qayta ishlash (STM32F407 + Raspberry Pi 4) → boshqaruv qarorini shakllantirish (PID) → ijro mexanizmlari → texnologik ob'yekt → teskari aloqa. Ultratovushli vanna AISI 316L zanglamaydigan po'latdan (600×400×250 mm, 50 L) tayyorlanib, tubiga 4 ta PZT-4 piezoelektrik generator (har biri 150 Vt, 40 kHz) 2+2 konfiguratsiyada simmetrik joylashtirilgan. Har bir generator Ti-6Al-4V titan qotishma akustik rezonator bilan jihozlangan. Piezoelementning rezonans qalinligi t_p = 16 mm, rezonator uzunligi L_x = 64 mm va kuchaytirish koeffitsiyenti $K = (D_1/D_2)^2 = 6{,}25$ qiymatlari hisoblab asoslandi. Generatorlarning konstruktiv interferensiyasi hisobiga vanna markazida akustik intensivlik 16 marta kuchayadi.

Kamerali monitoring va kompyuter ko'rishi tizimi.

Pillalarning ko'tarilish holatini kuzatish uchun Logitech C920 HD kamera (1920×1080, 30 fps) vannaning yuqorisida 45° burchakda, 400 mm masofada o'rnatilgan. Ko'rish maydoni 481×361 mm, piksel aniqligi 0,25 mm. Tasvirni qayta ishlash algoritmi besh bosqichdan iborat: Gauss filtri bilan shovqinni kamaytirish, Sobel gradienti, Otsu segmentatsiyasi, konturlarni topish va Kalman filtri bilan kuzatish (tracking). Holat vektori $x = [h, dh/dt, d^2h/dt^2]$ har bir kadrda (33 ms) yangilanadi. Eksperimental tekshiruv natijasida tizim 150 ta pilladan 143 tasini to'g'ri aniqladi — identifikatsiya aniqligi 95,3% ga teng. Kamera 45° burchakda o'rnatilganligi sababli vertikal masofa quyidagi formula bilan haqiqiy qiymatga o'tkaziladi:

$$h_{real} = (y_{pix} - y_0) \cdot \Delta y \cdot (1/\cos\alpha) \quad (1)$$

Kalman filtri shovqinni (kamera tebranishi, suv to'lqinlanishi) samarali filtrlab, standart og'ishni σ = 1,8 mm dan σ = 0,4 mm gacha, ya'ni 4,5 marta kamaytirdi. Ko'tarilish balandligini o'lchash aniqligi ±0,5 mm ga erishildi.

PID regulyatorli boshqaruv va barqarorlik tahlili.

Ultratovush quvvatini real vaqtda sozlash uchun PID regulyator qo'llanildi. Regulyatorning boshqaruv signali quyidagicha shakllantiriladi:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(\tau)d\tau + K_e \cdot de(t)/dt \quad (2)$$

PID parametrlari Ziegler–Nichols usulida aniqlandi: K_p = 0,06, K_i = 0,02, K_e = 0,015. Yopiq kontur xarakteristik tenglamasi $m \cdot s^3 + (c_e + \alpha K_e) \cdot s^2 + \alpha K_p \cdot s + \alpha K_i = 0$ ko'rinishida tuzilib, tizim barqarorligi Raus–Gurvits mezoni bilan tekshirildi. Mezon sharti $a_1 \cdot a_2 > a_0 \cdot a_3$ bajarildi ($3{,}015 \times 10^{-3} > 1{,}6 \times 10^{-5}$), ya'ni xarakteristik tenglamaning barcha ildizlari manfiy haqiqiy qismga ega — tizim barqaror. O'tish jarayoni ko'rsatkichlari: o'rnatilish vaqti t_s = 0,85 s, oshib ketish σ = 8,2%, statsionar xatolik e_{ss} = 0. Adaptiv boshqarish algoritmi uch rejimda ishlaydi: normal rejim (h < 20 mm, to'liq 600 Vt quvvat), ogohlantirish rejimi (20 ≤ h < 25 mm, quvvat 70% ga kamaytiriladi) va xavfli rejim (h ≥ 25 mm, quvvat 40% ga kamaytiriladi yoki o'chiriladi). Bu pillalarning suv sirtiga chiqib ketishining oldini oladi.

Eksperimental natijalar va samaradorlik.

III bobda asoslangan konstruktiv parametrlar asosida tizimning eksperimental qurilmasi (prototip) yaratildi va Namangan viloyati ipakchilik korxonasidan olingan duragay quruq pillalarda sinovdan o'tkazildi. Sun'iy intellektga asoslangan boshqaruv tizimi ko'tarilish barqarorligini 2,3 marta yaxshiladi (standart og'ish 3,2 dan 1,4 mm gacha), belgilangan chegaradan (h_{max} = 30 mm) oshish hollarini 93,6% ga kamaytirdi (12,5% dan 0,8% gacha), reaktsiya vaqti 85 ms ni tashkil etdi. Nazorat (an'anaviy, 95–98°C) va tajriba (mexatronik tizim, 60°C) variantlarini taqqoslash quyidagi natijalarni berdi: xom ipak chiqishi 35,3% dan 38,1% gacha, ya'ni 2,8 foiz punktga oshdi; ipak uzilishlari 100 ta pillada 8,2 tadan 3,1 tagacha, ya'ni 62% ga kamaydi; chuvaluvchanlik 4,7% ga ortdi. Xom ipak sifat sinfi O'zDSt 3313:2018 standarti bo'yicha 2A dan 3A ga ko'tarildi (nisbiy uzish kuchi 36 sN/teks, jipsligi 71 karetka).

Energiya sarfi hisobida statsionar rejimda tizimning jami iste'moli 911 Vt bo'lib, bir sikl (3 min) uchun boshlang'ich isitish bilan birga 0,134 kVt·soat ni tashkil etdi. An'anaviy usulda esa bu ko'rsatkich 1,0 kVt·soat — tejamkorlik 7,5 marta. Iqtisodiy hisob-kitoblarga ko'ra, tizimning yillik iqtisodiy samaradorligi 128 mln so'm, kapital qo'yilmalarni qoplash muddati esa 1,6 yilni tashkil

etadi. Tizim kompakt (800×600×500 mm, 85 kg) va ko‘chma bo‘lib, ipakchilik korxonalariga osonlik bilan joriy qilinishi mumkin.

Xulosa.

Olib borilgan tadqiqotlar natijasida ultratovushli pilla chuvish jarayoni uchun kamera va sun’iy intellektga asoslangan mexatronik tizimning yangi konstruksiyasi ishlab chiqildi. Tizimning konstruktiv parametrlari (PZT-4 piezoelement qalinligi 16 mm, rezonator uzunligi 64 mm, K = 6,25, jami quvvat 600 Vt) hisoblab asoslandi. Kompyuter ko‘rishi tizimi pillalarni 95,3% aniqlikda identifikatsiya qilib, ko‘tarilish balandligini ±0,5 mm aniqlikda o‘lchadi; Kalman filtri shovqinni 4,5 marta kamaytirdi. PID regulyatorli yopiq kontur boshqaruv tizimining barqarorligi Raus–Gurvits mezoni bilan isbotlandi. Eksperimental sinovlar tizim xom ipak chiqishini 2,8 foiz punktga oshirishi, ipak uzilishlarini 62% ga kamaytirishi, sifat sinfini 2A dan 3A ga ko‘tarishi va energiya sarfini 7,5 marta kamaytirishini tasdiqladi. Tizimning yillik iqtisodiy samaradorligi 128 mln so‘m, qoplash muddati 1,6 yil.

Adabiyotlar

[1]. Isermann R. Mechatronic Systems: Fundamentals. – Berlin: Springer, 2005. – 624 p.

[2]. Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. – Sebastopol: O’Reilly Media, 2008. – 555 p.

[3]. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1979. – Vol. 9(1). – P. 62–66.

[4]. Kalman R.E. A new approach to linear filtering and prediction problems // Journal of Basic Engineering. – 1960. – Vol. 82. – P. 35–45.

[5]. Ziegler J.G., Nichols N.B. Optimum settings for automatic controllers // Transactions of the ASME. – 1942. – Vol. 64. – P. 759–768.

TIKUVCHILIK KORXONALARIDA ZAMONAVIY TEXNOLOGIYA VA USKUNALAR

M. Turdiyev S. Dehqonova

Farg‘ona davlat texnika universiteti
ORCID: 0009-0006-3041-5778
e-mail: mahmudjonturdiyev22@gmail.com
e-mail: sahodatdehqonova6@gmail.com

(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Ushbu mavzuda tikuvchilik korxonalarida qo‘llanilayotgan zamonaviy texnologiyalar va uskunalarning ahamiyati yoritiladi. Hozirgi kunda yengil sanoat tarmoqlarida ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish, raqamli boshqaruv tizimlarini joriy etish va yuqori unumdor tikuv mashinalaridan foydalanish orqali mahsulot sifati va ishlab chiqarish samaradorligi sezilarli darajada oshirilmoqda.*

Zamonaviy tikuv uskunalari — kompyuterlashtirilgan tikuv mashinalari, lazer kesish qurilmalari, avtomatik bichish tizimlari hamda CAD/CAM dasturlari yordamida dizayn va ishlab chiqarish jarayonlari tezlashtiriladi va aniqlik ta’minlanadi. Bu esa mahsulot tannarxini kamaytirish, vaqtni tejash va xalqaro bozorda raqobatbardoshlikni oshirishga xizmat qiladi.

Kalit so’zlar: *tikuvchilik, CAD/CAM tizimlari, asbob va uskunalar, texnologik jarayon, Innovatsiya, platformalar, sun’iy intellect, dasturiy ta’minot, avtomatlashtirish, yangi ishlanmalar.*

Kirish: Tikuvchilik sohasi insoniyat taraqqiyotining ajralmas qismidir. Qadimdan buyon insonlarning asosiy ehtiyojlarini, xususan, kiyim-kechak va turli mato buyumlariga bo'lgan talabini qondirib kelgan. An'anaviy tikuvchilikda jarayon ko'proq qo'l mehnati asosida qurilgan bo'lib, bu esa ishning sekinlashuviga va katta mehnat talab etilishiga olib kelgan. Har bir kiyim yoki mato mahsulotining yaratilishi ko'p vaqt va sabr-toqatni talab etgan. Ushbu davrda mahsulot sifati va dizaynining o'ziga xosligi ko'p jihatdan tajribali tikuvchining mahoratiga bog'liq bo'lgan.

Biroq, zamonaviy davrda texnologik taraqqiyot tikuvchilik sanoatida tub o'zgarishlarni olib kirdi. Zamonaviy uskunalar va texnologiyalarning joriy etilishi ishlab chiqarish jarayonlarining

samaradorligi va mahsulot sifatini sezilarli darajada ko'tardi. Hozirgi kunda tikuvchilik texnologiyalari ishlab chiqarishni optimallashtirish, inson resurslarini samarali boshqarish va mahsulot sifatini standartlash imkonini bermoqda. Bundan tashqari, texnologiyalar moda sanoatida yangi tendensiyalarni shakllantirish va individual buyurtmalarni ijro etishda cheksiz imkoniyatlar yaratmoqda.

Asosiy qism: Zamonaviy tikuvchilik sohasida texnologiyalar muntazam takomillashib bormoqda. Hozirgi kunda robotlashtirilgan qurilmalar, sun'iy intellekt yordamida naqshlarni tanib olish, 3D tikuv uskunalari hamda IoT (Internet of Things) texnologiyalari keng joriy etilgan. Shu bilan birga, aqlli dasturlar ishlab chiqarishni yanada samarali tashkil etish, sifatni nazorat qilishni avtomatlashtirish va ishchilarning yuklamasini kamaytirishga xizmat qilmoqda.

Kelajakda tikuvchilikda virtual dizayn tizimlari, avtomatik sifat tekshiruvi va aqlli qurilmalar orqali ishlab chiqarish jarayonining to‘liq avtomatlashtirilishi kutilmoqda. Bu esa buyurtmalarni individual tarzda bajarish, mijoz talablarini tezkor qondirish hamda yangi moda kolleksiyalarini qisqa muddatda yaratish imkonini kengaytiradi.

Bundan tashqari, zamonaviy texnik vositalar yordamida ishlab chiqarish jarayoni yanada samaraliroq va raqobatbardosh bo‘ladi. Chunki yangi texnologiyalar ishlab chiqarish vaqtini tejaydi, mahsulot sifatini oshiradi va xarajatlarni qisqartiradi. Natijada bu nafaqat korxonalar, balki butun moda sanoati rivoji uchun muhim omil hisoblanadi.

SHUNFA SF845-3D tikuv mashinasi.

Korxonalari va ustaxonalarda keng qo‘llaniladi. Ushbu model ikki ignali (ikkita igna bilan ishlaydigan) yuqori tezlikdagi mashina hisoblanadi. U parallel va tekis choklar hosil qilish imkonini beradi, shu sababli kiyim tikishda, ayniqsa cho‘ntak, kamar va bezak elementlarini tikishda juda qulaydir. Mazkur mashina yengil va o‘rta qalinlikdagi matolar bilan ishlashga mo‘ljallangan. SHUNFA SF845-3D modelining asosiy afzalliklaridan biri – uning yuqori unumdorligidir. Mashina daqiqasiga 3000 tagacha chok tikish tezligiga ega bo‘lib, bu ishlab chiqarish jarayonini ancha tezlashtiradi. Ushbu tikuv mashinasida zamonaviy servo dvigatel o‘rnatilgan bo‘lib, u energiya tejamkorligi va kam shovqin bilan ishlashni ta’minlaydi. Bundan tashqari, mashinada SHUNFA SF845-3D – bu zamonaviy sanoat tipidagi tikuv mashinasi bo‘lib, asosan tikuvchilik avtomatik moylash tizimi mavjud bo‘lib, bu uning ichki mexanizmlarini uzoq muddat xizmat qilishiga yordam beradi. SHUNFA SF845-3D mashinasida LED yoritish tizimi ham mavjud bo‘lib, bu tikuvchi uchun qulay ish sharoitini yaratadi. Shuningdek, ignani o‘chirish funksiyasi, tezlikni sozlash imkoniyati va bosim oyoqchasining 7–13 mm gacha ko‘tarilishi kabi qulay funksiyalar bilan jihozlangan. Texnik ko‘rsatkichlariga ko‘ra, mashinaning chok uzunligi 5 mm gacha yetadi va u DPx5 turidagi ignalar bilan ishlaydi. Ikki ignali tizim esa bir vaqtning o‘zida ikki parallel chok tikish imkonini beradi, bu esa mahsulot sifatini oshiradi va vaqtni tejaydi.

Tikuvchilikda zamonaviy texnologiyalardan foydalanishning asosiy maqsadlari quyidagilardan iborat:

- Ishlab chiqarish jarayonlarini soddalashtirish: Murakkab operatsiyalarni avtomatlashtirish orqali jarayonni engillashtirish.
- Vaqt samaradorligini oshirish: Ishlab chiqarish vaqtini qisqartirish orqali mahsulotni bozorga tezroq yetkazish.
- Sifatni ko'tarish: Texnologiyalar yordamida yuqori aniqlik va bir xillikka erishish, mahsulot sifatini oshirish.

- Xavfsiz va qulay ish muhiti: Ishchilar uchun ergonomik va xavfsiz sharoitlarni yaratish, jarohatlanish xavfini kamaytirish.- Resurslarni tejash: Chiqindilarni minimallashtirish va ishlab chiqarish xarajatlarini optimallashtirish.

Ushbu zamonaviy yondashuvlar tikuvchilik sanoatining yanada rivojlanishiga va global bozor talablariga moslashishiga yordam beradi.

Shunindek, CAD (Computer-Aided Design) va CAM (Computer-Aided Manufacturing) tizimlari tikuvchilikda dizayn va ishlab chiqarish jarayonini birlashtiradi. CAD dasturlari yordamida yangi kiyim dizayni kompyuterda chiziladi, o‘lchamlari aniqlanadi va turli rang hamda naqsh variantlari sinovdan o‘tkaziladi. CAM tizimlari esa bu dizaynlarni avtomatik tikuv mashinalariga uzatib, real ishlab chiqarishni boshlash imkonini beradi.

Bu tizimlar ishlab chiqarishda xatoliklarni kamaytiradi, ishlab chiqarish vaqtini qisqartiradi va mahsulot sifatini bir xilda ta’minlaydi. Shu bilan birga, CAD/CAM tizimlari yordamida individual buyurtmalarni ham tez va samarali bajarish mumkin. Masalan, mijozning o‘ziga xos o‘lcham va dizayn talablariga mos kiyimlar ishlab chiqarish an’anaviy qo‘l mehnati bilan bir necha kun davom etishi mumkin bo‘lsa, CAD/CAM tizimlari yordamida bu jarayon bir necha soat ichida bajariladi.

Zamonaviy tikuv uskunalari jumlasiga quyidagilar kiradi:

Kompyuterlashtirilgan tikuv mashinalari: Ushbu mashinalar turli murakkab tikuv operatsiyalarini bajarishga qodir. Ularning dasturiy ta'minoti yordamida naqshlarni tanlash, tikuv ipining qalinligini va zichligini avtomatik sozlash kabi jarayonlarni amalga oshirish mumkin. Bu esa mahsulotning sifatini oshirish bilan birga, ish hajmini ham ko'paytiradi.

Avtomatlashtirilgan tikuv liniyalari, shuningdek, ishlab chiqarish jarayonida standartlashtirilgan ish tartibini yaratadi. Bu tizimlar har bir bosqichni aniq va qat’iy reja asosida amalga oshiradi, natijada mahsulot sifatining bir xilligi va xatoliklar minimal darajada bo‘ladi. Shu bilan birga, ishlab chiqarish jarayonida ishchi kuchi kamayadi, bu esa korxona xarajatlarini optimallashtirishga yordam beradi.

Misol tariqasida, Osiyo mamlakatlaridagi yirik tikuv fabrikalarida robotlashtirilgan tikuv mashinalari qo‘llaniladi. Bu mashinalar murakkab kiyim turlarini tez va aniqlik bilan tikadi, ishchilar esa asosan sifat nazorati va texnik xizmat ko‘rsatish bilan shug‘ullanadi.

- Lazer kesish qurilmalari: Matolarni aniq va sifatli kesishda lazer texnologiyasi muhim o'rin tutadi. Bu uskunalar murakkab shakllardagi detalllarni hech qanday sifat yo'qotmasdan va chetlarini yoyilmasdan kesish imkonini beradi. Bu esa bichish jarayonini tezlashtiradi va material isrofgarchiligini kamaytiradi.

Zamonaviy texnologiyalar tikuvchilik sanoatida muhim rol o'ynaydi va quyidagi afzalliklarni taqdim etadi:

- Mahsulot tannarxini pasaytirish: Avtomatlashgan jarayonlar va materiallardan samarali foydalanish umumiy ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytiradi. Bu esa oxirgi mahsulot narxining pasayishiga olib keladi.
- Vaqtni tejash: Jarayonlarning tezlashishi mahsulotlarni yanada tezroq tayyorlash va bozorga yetkazish imkonini beradi. Bu "tezkor moda" (fast fashion) kabi tendensiyalar uchun ayniqsa muhimdir.
- Xalqaro bozorda raqobatbardoshlikni oshirish: Yuqori sifatli, standartlarga mos va zamonaviy dizayndagi mahsulotlar jahon bozorida yanada ko'proq talabga ega bo'ladi. Korxonalar xalqaro savdo shartnomalarida va bozorlarda o'z o'rnini mustahkamlaydi.
- Innovatsion dizaynlar yaratish imkoniyati: Ilg'or dasturiy ta'minot va uskunalar hatto eng murakkab va ilg'or dizayndagi kiyim-kechaklarni ham ishlab chiqarishga imkon beradi. Bu dizaynerlarga ijodiy erkinlik bag'ishlaydi.

XULOSA

Zamonaviy asbob-uskunalardan foydalanish tikuvchilik sohasida ishlab chiqarish samaradorligini oshirish, sifatni nazorat qilish va ish jarayonini optimallashtirishda muhim ahamiyatga ega. Kompyuterlashtirilgan va avtomatlashtirilgan tikuv mashinalari murakkab dizaynlarni tez va aniqlik bilan tikish, chiqindilarni kamaytirish va inson mehnatini

optimallashtirish imkonini beradi. CAD/CAM tizimlari esa dizayn va ishlab chiqarish jarayonlarini birlashtirib, individual buyurtmalarni samarali bajarish imkonini beradi.

Zamonaviy tikuvchilik asbob-uskunalarining rivojlanishi ishlab chiqarish jarayonini yanada avtomatl[i]ashtirish, xarajatlarni kamaytirish va mahsulot sifatini oshirishga yordam beradi. Shu sababli, tikuvchilik sohasida yangi texnologiyalar va asbob uskunalardan foydalanish ishlab chiqarish korxonalari uchun strategik ahamiyat kasb etadi.

Adabiyotlar

[1]. Karimova N. Zamonaviy tikuv uskunalari va texnologiyalari, Toshkent, “Texnologiya” nashriyoti , 2021.
[2]. Tursunov D, Tikuvchilikda avtomatlashtirilgan tizimlar, Toshkent “Ilm-fan” nashriyoti, 2022.
[3]. ”Tikuvchilik texnologiyalari” o’quv qo’llanma.
[4]. ”Dizayn va ishlab chiqarishda raqamli texnologiyalar” monografiyasi.
[5]. ”Yengil sanoat texnologiyalari” darsligi.
[6]. Islomov A. Kasb-hunar ta’limida zamonaviy texnologiyalar, Toshkent, O’zbekiston davlat texnika universiteti nashriyoti, 2023.
[7]. Sobirovna, U. M. (2023). O’quvchilarni texnologiya fanini o’zlashtirishga psixologik tayyorlash. Ustozlar uchun, 16(1), 392-399.
[8]. Sobirovna, U. M. (2023). Maxsus ta’limga ehtiyoji bo’lgan bolalar uchun ta’limning integratsiyalashuvi. In Proceedings of International Conference on Scientific Research in Natural and Social Sciences (Vol. 2, No. 4, pp. 14-19).
[9]. Abdullayev, B. Tikuvchilik sanoatida yangi texnologiyalar. "Sanoat va innovatsiya" jurnali, 2022.
[10]. Karimova, Z. Zamonaviy tikuv avtomatlari va ularning samaradorligi. "Toshkent to‘qimachilik va yengil sanoat instituti ilmiy ishlar to‘plami", 2021.
[11]. Tojiyev, A. Tikuvchilik korxonalarini modernizatsiyalashning uslubiy asoslari. "O‘zbekiston" nashriyoti, 2020.
[12]. Yusupova, M. Tekstil sanoatida raqamli texnologiyalarning o‘rni. "Iqtisodiyot va innovatsiyalar" jurnali, 2023.
[13]. Hamroyev, D. Tikuv uskunalari texnik xizmatlash va yangilash. "O‘zbekiston to‘qimachilik va yengil sanoati" jurnali, 2022.

TAVSIYA ETILGAN USTKI KIYIM TIKISH TEXNOLOGIK JARAYON KETMA KETLIGINI ISHLAB CHIQISH

K.A. Boymatova[1], B.B. Nizamova[2]

[1]Namangan davlat texnika unversiteti.
E - mail: kamola boymatova@gmail.com, Tel: +99894 174 34 14
[2]Farg’ona davlat texnika universiteti
b.nizamova.ferpi.uz, Tel: (+99890) 406 78 87
ORCID:0000-0002-7309-8710

(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Ushbu ilmiy tadqiqod ishda erkaklar qishki kurtkasini ishlab chiqarish jarayoni, texnologik ketma-ketligi hamda zamonaviy tikuvchilik ishlab chiqarishida qo'shimcha ishlab chiqarish usullari tahlil qilingan. Tadqiqot buyum detallari uchun asos, astar va oraliq andozalarni tayyorlash jarayonlari, gazlama turlari hamda ularga qo'yiladigan talablar yoritilgan. “Gemini CAD” va “Clo CAD Assist” dasturlari yordamida vazalarni qabul qilish, gazlama sarf normasini va materialdan samarali boshqarish masalalari o‘rganilgan.*

Kalit so`zlar*: Erkaklar qishki kurtkasi, tikish texnikasi, texnologik ketma-ketlik, andoza, astar gazlama, chok turlari, namlab-isitib berish, tikish mashinalari, gazlama sarfi, “Gemini CAD”, “Clo CAD Assist”, konstruktiv yechim, ustki kiyim, tikuvchilik korxonalari.*

Buyumni ishlab chqarish jarayonining texnologik operatsiyalari ma’lum tartibda bajariladi va u texnologik ketmaketlik ishlab chiqildi. Buyumni ishlab chiqarish jarayoni texnologik operatsiyalarining ro‘yxati keltirildi va ularning hammasiga tavsif berildi. [1] Jarayonning texnologik operatsiyalari texnologiya, kiyimni loyihalash va ishlab chiqarishni tashkil etishning tipik hujjatlari asosida tuzildi, shu bilan birgalikda normativ-texnik hujjat va buyumni ishlab chiqarish texnologiyasi bo‘yicha boshqa manbalardan foydalanildi. Shuning uchun tikuv

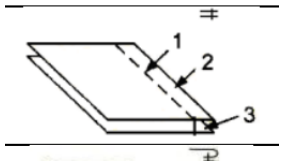
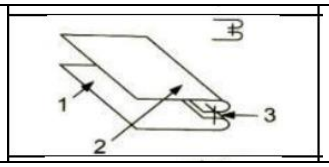
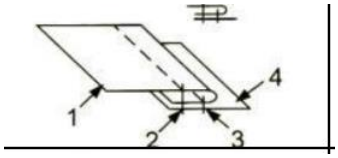
buyumining ishlov berishning loyihaviy texnologik ketma-ketligi tuzildi.[2] Tanlangan ishlov berish usullariga asoslanib kiyimni tikishning texnologik tartibi jadval tarzida tuzildi.

Erkaklar kurtkasi uchun asosiy astar oraliq va andozalar tayyorlanadi.Asosiy andozalar avra gazlamadan bichiladigan bo`laklar uchun ishlab chiqiladi : old bo`lak, ort bo`lak, yeng, yeng manjeti, yoqa va cho`ntak.

Astar andozalar old, ort bo‘lak, yeng, cho‘ntak xalta uchun tayyorlanadi. Ustki kiyimlar astari ichki qismiga qat va choklariga xalta sifatida ishlatiladi. Bu gazlamalarga qattiq appret ishlov beriladi va ularning sirti tekis va silliq, ishlanishga chidamli bo‘ladi. Bu guruhga kalenkor-sidirg‘a rangli yoki oqartirilgan gazlama kiradi. Appret miqdori katta – 8-10%. U qat yoki bo‘ylamalar sifatida ishlatiladi. Cho‘ntak xaltalari uchun ishlatiluvchi gazlamalar mustahkam ishlatishga chidamli sidirg‘a rangli surib grinsbon, tik-lastik kabilardan tayyorlanadi. Ular ham qattiq appretlanadi. Bu guruhga yana yenglar astariga ishlatiluvchi sarja ham kiradi. Bu gazlamaning pardozlanishi oqartirilgan gazlama sirtiga yo‘l-yo‘l shaklli gul bosilgan bo‘ladi. Bu gazlama sarja o‘rilishida ishlab chiqariladi.

Ustki kiyimbop gazlama uchun tavsiya etiladigan ip bilan biriktirish operatsiyalari

1-jadval

	Choklar nomi	Chok konstruktsiyasi	Igna raqami	Ip raqami	Baxya yirikligi, mm	Asbob uskuna turi
1	Birik tirma chok		90-100	N100	2,5-3,5	U/M
2	Ag’darma chok		90-100	N100	2,5-3,5	U/m
3	Bostirma chok		90-100	N100	2,5-3,5	U/m

2 -jadval

Namlab-isitib ishlov berish parametrlari

№	Buyum turi	Gazlama qalinligi (mm)	Namlab- isitib ishlov berish parametrlari		
			Xarorati C	Bosim MPA	NIIB davomiyligi
1	Old va ort koketka	2.8	130-150	0,04	15-25
2	Old va ort yon qismi	2.8	130-150	0,04	15-25
3	Astar old va ord bel yuqori va pastki qismi biriktirish	3	130-150	0,04	15-25
4	Astar old va ord yon qismi	3	130-150	0,04	15-25

Loyihalanilayotgan modelga gazlama sarflash normasining hisoblashda ustki kiyim tannarxini va materiallar xarajatini kamaytirish birinchi darajali ahamiyatga ega, chunki materiallar mahsulot tannarxining 80-90% ini tashkil etadi.

Bu vazifani bajarish material sarfini to’g’ri meyorlashtirishga bog’liq. Andazalarni matoga joylashtirishdan oldin bo’rlamaga sarflanadigan gazlama normasini “Gemini CAD” va Clo Cad Assiyst dasturlari orqali hisoblab olindi. Bunday hisoblash andazalarning sathiga va andazalar

orasidagi yo’l qo’yilgan chiqindilar normasiga asoslangan bo‘ladi.

Amalyotda “Vakkoni” korxonasida ishlab chiqarilgan erkaklar qishgi kurtkasi uchun 9.56 m gazlama sarfidan matoning eni 1.47 m bo‘lgan, ustki kiyim (kurtka) ustki qatlami uchun 5ta razmer bichiladi . Shunda bir dona kurtkaga 1.92 m gazlama sarflandi.

Yoyilmaning xarakteristikasi:

Buyumning nomi – Erkaklar qishgi kurtkasi

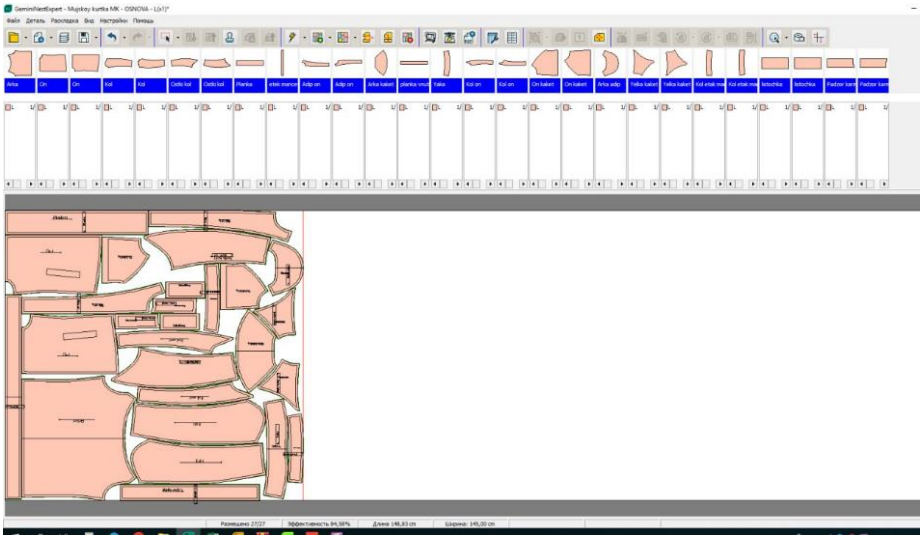
O’lcham,bo’y, to’lalik guruhi - 177-100-90

Gazlama fakturasi – silliq

Gazlama yo’nalishi – sidirg’a

Yoyilmaning eni – 1.47 m

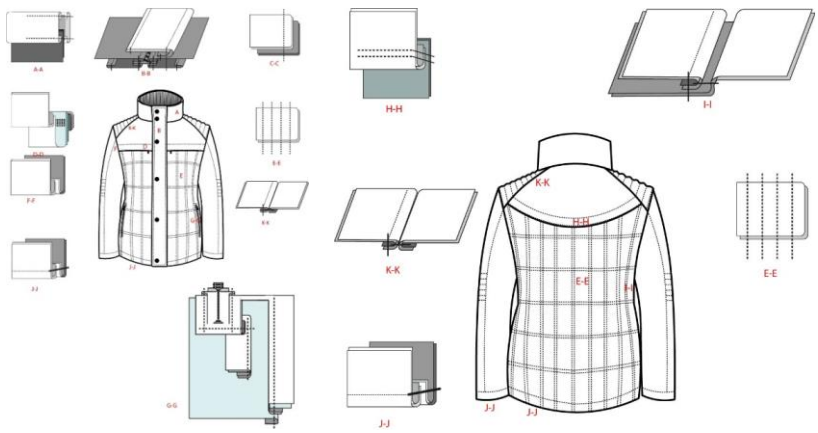
Foydalaniladigan materiallar bo’yicha komplektlarga birlashtirilgan bitta shifr va kerakli o’lchamdagi buyum andozalari detallari plotterdan chiqarilib, asosiy konstruktiv choklarning o’zaro mos kelishi (masalan, yeng o’mizi, yoqa o’mizi, yon chok uzunligi va h.k.) va qo’llaniladigan tikuvchilik asbob-uskunasi hamda ustki kiyimni tayyorlashda qo’llaniladigan matolarning xususiyatlaridan kelib chiqib chok uzunliklarini kirishish kattaligi tekshiriladi. Zarur hollarda andozalarga choklarning uzunligi bo’ylab haqiqiy kirishish kattaligini hisobga olgan holda o’zgartirishlar kiritiladi.Ruxsat etilgan konstruktiv yechimlar va detallarga (uzellar) ishlov berishning tanlangan metodlari bo’yicha buyumlarni tayyorlashdan avval, bichishdan oldin, mos detallarning andozalariga o’zgartirishlar kiritilishi va Buyurtmachi arizasiga asosan andozalar komplektini ko’paytirish kerak bo’ladi [74].



1-rasm. “Gemini CAD” dasturida ishlangan andazalar joylashmasi.

Matoga qo’yib bichishda rang xarakteristikalariga (tusi, yaltiroqligi va boshqalar) amal qilish maqsadida buyum detallari andozalari bitta yo’nalishda bichilishi, andozalardagi tanda ipi yo’nalishi va ulardan yo’l qo’yiladigan og’ish burchagiga mos kelishi kerak.

Kiyim detallari qirqimlarini biriktirish biriktirma, ag’darma, bostirma va qo’yma choklar yordamida amalga oshiriladi. Biriktirma chokli operatsiyalar: yenglarni o’tkazish, yelka qirqimlari va yeng, o’rta qirqimlarini biriktirish, matolarning ochiq qirqimlari yo’rmalanadi yoki mag’iz bilan ishlov beriladi.



2-rasm. Taklif qilinayotgan erkaklar ustki kiyimini texnik sxemasi.

To’qimachilik taqilmasining yuqori qismi model bo’yicha joylashtirilsa, uning quyi qismi – yuqori qismining joylashuviga muvofiq bo’ladi. Taqilma qismlari markazda kesishadigan ikkita diagonalli to’g’ri to’rtburchak shaklidagi bostirma chok bilan ishlov beriladi. Qo’yma detallar (qo’yma cho’ntak, kuchaytirgichli qo’ymalar) ikkita parallel bahyaqatorli yopiq qirqimli qo’yma chok bilan biriktirib

tikiladi.

Tadqiqot ishimizda erkaklar qishki kurtkasi tikish texnalogiyasi zamonaviy tikuv mashinalaridan foydalanib tikish ketma ketligi “Vakkoni “ korxonasida ishlab chiqishga erishildi.

Erkaklar kurtkasini texnologik operatsiyasini texnik sxemalarini (2-rasmda) Texnologik dasturlar yordamida ishlandi.

Xulosa. Erkaklar qishki kurtkasini loyihalash va ishlab chiqarishda zamonaviy CAD texnologiyalarini qo‘llash material sarfini kamaytirish, texnologik operatsiyalarni optimallashtirish, mehnat unumdorligini oshirish hamda tayyor mahsulot sifatini yaxshilash imkonini beradi. Tadqiqot natijalari tikuvchilik korxonalarida ishlab chiqarish jarayonlarini takomillashtirish va iqtisodiy samaradorlikni oshirishda amaliy ahamiyatga ega.

Adabiyotlar

[1]. Kulijonova G.K., S.S.Musayev “Yengil sanoat mahsulotlari texnologiyasi”. Toshkent 2002. 155
[2]. Литвинова И.Н., Изготовление женской и детской верхней одежды, Легпромиздат, 1987
[3]. Lojen va Gersak “tikuv jarayonida tikuv iplari turli tuzilmalarning” 2005y.

IP SIFATIGA TA’SIR ETUVCHI OMILLARNI TURLI TEXNOLOGIK JARAYONLAR ASOSIDA TAHLIL QILISH

M.T. Omonov[1], H.T. Bobojanov[1], J.Z. Soloxiddinov[1], Sh.Sh. Shog‘ofurov[1], Sh.A. Aripova[2], M.M. Urishev[3]

[1]Namangan davlat texnika universiteti
[2] Toshkent to‘qimachilik va yengil sanoat institute
[3]Farg‘ona davlat texnika universiteti
e-mail: omonov.muhammad001@gmail.com
e-mail: bobojonov1979@mail.ru
e-mail: shogofurovshahboz@gmail.com
e-mail: urishevmurodbek3@gmail.com
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya*.Ushbu maqolada ip sifatiga ta’sir etuvchi asosiy omillar – xom ashyo xususiyatlari, ishlab chiqarish jarayonidagi texnologik parametrlar va nazorat tizimlarining integratsiyasi kompleks ravishda tahlil qilinadi.Tadqiqot paxta sanoati korxonalarida olib borilgan bir qator ilmiy ishlar natijalariga asoslanadi. Ip tukliligi, mustahkamligi, notekisligi va nuqsonlari kabi sifat ko‘rsatkichlariga xom ashyo tarkibidagi iflosliklar,tizimidagi o‘tishlar soni, qabul quluvchi baraban mexanizimlari va aylanish tezligi kabi omillarning ta’siri o‘rganilgan.*

Kalit so‘zlar:*ip sifati, ip tukliligi, paxta tozalash, rotorli yigiruv, cho‘zish tizimi, texnologik parametrlar, chiqindilarni boshqarish, urchuq tezligi.*

Zamonaviy to‘qimachilik sanoatida ip sifati yakuniy mahsulotning bozor raqobatbardoshligini belgilovchi asosiy omillardan biridir. Paxta yetishtiruvchi davlat sifatida yigiruv sanoatiga katta sarmoyalar kiritgan va halqali hamda rotorli yigiruv tizimlarida kuchli pozitsiyani egallagan [1, 2]. Tadqiqotchilar tomonidan olib borilgan ko‘plab ishlar shuni ko‘rsatadiki, ip sifati bir-biri bilan bog‘liq bo‘lgan uch asosiy omil: tolaning fizik-mexanik xususiyatlari, yigiruv mashinalarining texnologik parametrlari va ishlab chiqarish jarayonini boshqarish tizimlari tomonidan belgilanadi [1, 4]. Ushbu maqolada olib borilgan sakkizta ilmiy tadqiqot natijalari tizimli ravishda tahlil qilinib, ip sifatiga ta’sir etuvchi omillar o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlik va ularni optimallashtirish yo‘llari yoritilgan.

Yahya Jan va boshqalar [1] ip tukliligi muhim sifat parametri, uni o‘lchash usullari va ta’sir etuvchi omillarni o‘rgangan. Tadqiqotda Ne 24/1, 30/1 karda iplar hamda Ne 30/1, 40/1 qayta tarash tizimida iplar ishlab chiqarilgan. Natijalarga ko‘ra, ip tukliligi bilan ip nomeri, buramlar soni, mustahkamlik, qalin joylar va nepslar o‘rtasida muhim statistik bog‘liqlik aniqlangan. Tuklilik bilan ingichka joylar o‘rtasida esa statistik jihatdan ishonchli bog‘liqlik kuzatilmagan.

Fatma Seljen Kilinch va boshqalar [2] tizimlarining ip sifati va korxona samaradorligiga ta’sirini o‘rganishgan. Ip sifati ma’lumotlari statistik qayta ishlangan. Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, sifat monitoring tizimi va eng zamonaviy yigiruv uskunalariga ega korxona jahon Uster statistikasida 5% lik toifaga kirgan, qolgan ikkita o‘rganilgan korxona esa 40% lik toifada bo‘lgan.

Mithat O’ztekin [3] paxta toylari inventarizatsiya tahlil tizimi va uning ip sifatiga ta’sirini o‘rgangan. Ip yigiruv zavodida 120 paxta toy tanlangan. Tadqiqotda paxta toyidagi iflosliklar 3,7% dan karda mashinasida 0,097% gacha, chang 0,18% dan 0,022% gacha, tolalar bo‘lakchalari 0,2% dan 0,015% gacha kamaytirilgan.

Jevher Ilhan Jeveri [4] yetishtirilgan paxta navlarining tola va ip sifati xususiyatlari hamda ular orasidagi korrelyatsiyalarni aniqlashga qaratilgan. Tadqiqotda navlar o‘rtasida o‘rganilgan xususiyatlar bo‘yicha sezilarli farqlar borligi aniqlandi. Tola mustahkamligi va ip notekisligi bilan manfiy korrelyatsiyaga ega ekanligi, tola mustahkamligining ip notekisligi va ip mustahkamligi bilan bog‘liqligi esa ijobiy va ishonchli ekanligi aniqlandi. Bir xillik indeksi ip tukliligi bilan manfiy va ishonchli, ip mustahkamligi va tola mustahkamligi bilan esa ijobiy va ishonchli bog‘liqlikka ega.

Ibel Kaplan va boshqalar [5] rotorli yigiruv tizimidagi o‘tishlar soni hamda mashina detallarining ip sifatiga ta’sirini o‘rganishgan. Ne 30 iplar bo‘yicha o‘tkazilgan sinovlarda, cho‘ziq tizimida ikki marta cho‘zilgan va yigirilgan iplarda minimal notekislik va nuqsonlar hamda maksimal mustahkamlik olingan. Ne 20 iplar bo‘yicha natijalar butunlay boshqacha bo‘lib, eng sifatli iplar cho‘ziq tizimida bir marta cho‘zilib yigirilgan. Ne 12 ip uchun minimal ip notekisligi va nuqsonlari minimal ip tukliligi, maksimal mustahkamlik va uzayish esa spiral keramik tortib chiqarish moslamasi bilan olingan.

Yilmaz Erbil va boshqalar [6] rotorli yigiruvda tortish moslamasining ip xususiyatlariga ta’sirini o‘rganishgan. To‘rt xil pilta va to‘rt xil tortib chiqarish moslamasidan foydalanilgan. Natijalar statistik tahlil usullari yordamida o‘rganilgan. Tortib chiqarish moslamasining sirt tuzilishi ip xususiyatlariga yuqori darajada ta’sir qilishi aniqlangan.

Bekir Yitik va boshqalar [7] paxta ip yigiruv zavodida chiqindilarning ip sifati parametrlariga ta’siri va chiqindi miqdorini kamaytirishni o‘rgangan. Bir xil mashina sozlamalarida ishlab chiqarilgan iplarning sifat ko‘rsatkichlari o‘lchangan va mashinalarning chiqindi miqdori hisoblangan. Mashina sozlamalarini o‘zgartirish orqali chiqindilar qayta ishlab chiqarishga qo‘shilgan, natijada chiqindi miqdori kamaytirilgan va ip sifat ko‘rsatkichlari o‘lchangan.

Salih Bilejen va boshqalar [8] halqali yigiruvda ip sifati va urchuq tezligi o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlashga qaratilgan. Tadqiqotda ikkita turli eksperimental sozlama ishlatilgan va natijalar bir-biri hamda standart qiymatlar bilan solishtirilgan. Maqsad halqali yigiruv tizimining yuqori tezliklarida ishlashga mosligi yoki yuqori tezliklarda sifatli ip ishlab chiqarish qobiliyatini tahlil qilishdan iborat bo‘lgan.

Ushbu tahliliy tadqiqot [1] dan [8] gacha bo‘lgan ilmiy ishlarning natijalarini qamrab oladi. Tadqiqotlarda asosan 100% paxta xom ashyosidan Ne 8 dan Ne 40 gacha bo‘lgan turli nomerdagi halqali va rotorli yigiruv usulida ishlab chiqarilgan iplar o‘rganilgan.

[3] va [4] dagi tadqiqotlarda paxta toylari va turli navlarning tolali tahlillari HVI va BIAS tizimlari orqali amalga oshirilgan. [5] va [6] da cho‘ziq tizimidagi o‘tishlar soni, ochuvchi baraban turlari, tortib chiqarish moslamalari va ip yo‘naltiruvchi trubkalarning ta’siri o‘rganilgan. [8] da esa halqali yigiruvda urchuq tezligining ta’siri tahlil qilingan [2] da sifat monitoring tizimlarini joriy etishdan oldin va keyingi ko‘rsatkichlar solishtirilgan.

Yap Jan va boshqalar [1] tomonidan olib borilgan tadqiqotda ip tukliligi bilan ip nomeri, buramlar soni, mustahkamlik, qalin joylar va nepslar o‘rtasida muhim statistik bog‘liqlik aniqlangan. Ip tukliligi bilan ingichka joylar o‘rtasida esa statistik jihatdan ishonchli bog‘liqlik kuzatilmagan. Jevheri [4] esa bir xillik indeksi bilan ip tukliligi o‘rtasida manfiy va ishonchli bog‘liqlik mavjudligini aniqlagan.

Kaplan [5], Erbil va boshqalar [6] rotorli yigiruvda mashina detallarining ip sifatiga ta’sirini o‘rganishgan. 1-jadvalda turli tortib chiqarish moslamalari va ochuvchi barabanlarning ip sifatiga ta’siri keltiri.

Rotorli yigiruvda detallarning ip sifatiga ta’siri

1-jadval.

Parametr / Detal turi	Eng yaxshi natija	Ta’sir etgan sifat ko‘rsatkichlari
Tortib chiqarish moslamasi	Spiral keramik (KS)	Minimal tuklilik, maksimal mustahkamlik va uzayish
Tortib chiqarish moslamasi	Silliq po‘lat (SGF)	Minimal notekislik va nuqsonlar
Ochuvchi baraban (Ne 10)	OB 20 B-DN (kichik burchak, yuqori zichlik)	Yuqori sifat (tuklilik, mustahkamlik)
Ochuvchi baraban (Ne 20)	OU 25 D (katta burchak, past zichlik)	Yuqori sifat (sun’iy tolalar uchun)

O’ztekin [3] tomonidan olib borilgan tadqiqotda karda mashinasidan keyin chiqindilar miqdori sezilarli darajada kamayganligi qayd etilgan. Xom ashyo tarkibidagi iflosliklar 3.7% dan 0.097% gacha, chang 0.18% dan 0.022% gacha, va tolalar bo‘lakchalari 0.2% dan 0.015% gacha kamaytirilgan. Yitik va boshqalar [7] esa chiqindilarni qayta ishlash orqali ishlab chiqarish tannarxini kamaytirish va sifat ko‘rsatkichlarini saqlab qolish mumkinligini yordamida isbotlagan.

Kilinch va boshqalar [2] tomonidan olib borilgan tadqiqot natijalari grafik 3.1 da keltirilgan.Sifat monitoring tizimini joriy etish va zamonaviy uskunalar bilan birgalikda korxona Uster statistikasidagi o‘rnini 40% dan 5% gacha oshirishga erishgan. Bu esa jarayonni real vaqt rejimida nazorat qilishning samaradorligini ko‘rsatadi.

Ip tukliligi muhim sifat ko‘rsatkichi bo‘lib, u xom ashyo bir xilligi, ip buramlar soni koeffitsienti va mashina detallarining tuzilishiga bevosita bog‘liq. Spiral keramik tortib chiqarish moslamalari tuklilikni kamaytirishda eng samarali hisoblanadi. Texnologik detallarni tanlash ip sifatiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Ochuvchi barabanning tish zichligi va burchagi, shuningdek, cho‘ziq tizimidagi o‘tishlar soni ishlab chiqarilayotgan ip nomeriga qarab optimallashtirilishi kerak. Masalan, Ne 30 iplar uchun ikki marta cho‘zilgan pilta eng yaxshi natijani beradi. Avtomatlashtirish va onlayn nazorat tizimlari korxonalarning sifat jihatidan global statistikadagi o‘rnini tubdan yaxshilash imkonini beradi. Bu tizimlar nuqsonlarni real vaqtda aniqlash va jarayonga tezkor aralashish imkoniyatini yaratadi. Xom ashyo tarkibidagi chiqindilarni boshqarish nafaqat iqtisodiy samara beradi,cho‘zish jarayonlarida tozalash samaradorligini oshirish orqali ip sifatini yaxshilashga xizmat qiladi.Urchuq tezligini oshirish ishlab chiqarish unumdorligini oshirishga olib kelsa-da, ipning notekisligi va tukliligi kabi parametrlarga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Shuning uchun optimal tezlikni aniqlash muhim ahamiyatga ega. Kelgusida sun’iy intellekt asosida ishlovchi adaptiv boshqaruv tizimlarini ishlab chiqish va ularning ip sifatiga ta’sirini o‘rganish maqsadga muvofiqdir.

Adabiyotlar

[1]. Yahya Can, Ip tuklanishi muhim sifat ko‘rsatkichi bo‘lib, tuklanishni o‘lchashdagi yangiliklar va ip sifatiga bo‘lgan talablarning ortishi bilan bog‘liq.

[2]. Fatma Selcen kilinch, Onlayn sifat nazorati tizimlarining ip sifati va paxta ip yigirish korxonalarining samaradorligiga ta’sirini o‘rganish.

[3]. Mithat O’ztekin, Dissertatsiya: Paxta tolasi zaxiralarini tahlil qilish tizimi va uning ip sifatiga ta’siri.Qahramanmaraş Sutku İmam universiteti, Tabiiy va amaliy fanlar instituti.

[4]. Jevher Ilhan Jevheri Dissertatsiya: Harran tekisligida yetishtirilgan paxta navlarida tolalar va ip sifat ko‘rsatkichlari o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlash bo‘yicha tadqiqot.Kukurova universiteti, Tabiiy va amaliy fanlar instituti.

[5]. Ibel Kaplan, Rotor yigirish tizimi 1960-yillarning oxirida tijorat maqsadida qo‘llanila boshlangan bo‘lib, hozirda an’anaviy halqali yigirish tizimi kabi muvaffaqiyatli qo‘llanilmoqda.

[6]. Yılmaz Erbil, Magistrlik dissertatsiyasi: Ochiq uchli rotor ip ishlab chiqarishda ip sifatiga tortib olish nozuli turining ta’siri.To‘qimachilik muhandisligi bo‘limi, Tabiiy va amaliy fanlar instituti.

[7]. Bekir Yitik Chiqindilarning ip sifat ko‘rsatkichlariga ta’siri va paxta ip ishlab chiqarish korxonalarida chiqindi miqdorini kamaytirish.Mahsulot sifati va ishlab chiqarish xarajatlari taroqli ip fabrikalarining foydadorligi va raqobatbardoshligiga ta’sir qiluvchi muhim omillardir.

[8]. Salih Bilecen, Ip sifati va urchuq tezligi o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlash bo‘yicha tadqiqot.

TIKUV-TRIKOTAJ KORXONALARIDA MEHNATNI ME'YORLASHTIRISH TIZIMINI TAKOMILLASHTIRISH

S.R. Mamatqulova[1], N.N. Nabidjanova[2]

[1]*Farg'ona davlat texnika universiteti*
[2]*Namangan davlat texnika universiteti*
ORCID: 0000-0003-1367-7013
e-mail: saida.mamatqulova.1989@gmail.com
e-mail: nabidjanovanargiza@gmail.com
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Anotatsiya: *Quyidagi maqolada tikuv-trikotaj korxonalarida mehnatni me'yorlashtirish tizimining hozirgi holati va mavjud muammolar hamda ularni bartaraf etish yo'llari ilmiy jihatdan tahlil qilingan. Mehnat me'yorlarini takomillashtirish orqali ishlab chiqarish samaradorligini oshirish, mavjud resurslardan oqilona foydalanish hamda ishchilar mehnatini rag'batlantirish masalalari yoritilgan. Shuningdek, zamonaviy texnologiyalar va boshqaruv yondashuvlarini joriy etishning ahamiyati asoslab berilgan.*

Kalit so'zlar: *mehnat me'yorlash, tikuv-trikotaj sanoati, ishlab chiqarish samaradorligi, mehnat unumdorligi, normativ tizim, optimallashtirish.*

Nazariy qism

Yengil sanoat, xususan tikuv-trikotaj tarmog'i mamlakat iqtisodiyotida muhim o'rin tutadi. Ushbu sohada ishlab chiqarish samaradorligini oshirish ko'p jihatdan mehnatni to'g'ri tashkil etish va uni ilmiy asosda me'yorlashtirishga bog'liq. Mehnatni me'yorlashtirish — bu ishlab chiqarish jarayonida ish vaqtining ilmiy asoslangan sarfini aniqlash, ish hajmini belgilash hamda ishchilar faoliyatini tartibga solish tizimidir.

Hozirgi sharoitda tikuv-trikotaj korxonalarida ishlab chiqarish hajmining oshishi, assortimentning kengayishi va raqobatning kuchayishi mehnatni me'yorlashtirish tizimini takomillashtirishni talab etmoqda[1].

Aniqlangan ma'lumotlar bo'yicha bugungi kunda tikuvchilik sanoati iqtisodiyotning muhim tarmoqlaridan biri hisoblanadi. Aholining kiyim-kechakka bo'lgan ehtiyoji doimiy ravishda ortib borayotgani ushbu sohani yanada rivojlantirishni talab etadi. Shu bilan birga, global raqobat sharoitida mahsulot sifati va ishlab chiqarish samaradorligi asosiy omillardan biri bo'lib qolmoqda. Zamonaviy sharoitlarda tikuvchilik korxonalarida ilg'or texnologiyalarni joriy etish mehnat unumdorligini oshirishning eng muhim yo'llaridan biridir. Avtomatlashtirilgan uskunalar, kompyuterlashtirilgan loyihalash tizimlari (CAD), hamda raqamli boshqaruv tizimlari ishlab chiqarish jarayonini tezlashtirib, inson omiliga bog'liqlikni kamaytiradi. Natijada mahsulot tannarxi pasayadi, sifat esa yanada yaxshilanadi.

Xozirgi yangi zamonaviy korxonlarda mehnatni me'yorlashtirish iqtisodiy nazariyada ishlab chiqarishni boshqarishning asosiy instrumentlaridan biri sifatida qaraladi. U mehnat sarfini miqdoriy jihatdan baholash, ishlab chiqarish operatsiyalarini standartlashtirish va mehnat unumdorligini oshirishga xizmat qiladi[2].

Mehnat me'yorlari quyidagi asosiy turlarga ajratiladi:

- vaqt me'yorlari;
- ishlab chiqarish me'yorlari;
- xizmat ko'rsatish me'yorlari.

Mazkur ko'rsatkichlar ishlab chiqarish jarayonining texnologik murakkabligi, texnik jihozlanganlik darajasi va ishchi malakasiga bog'liq.

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, ilg'or texnologiyalarni joriy etish tikuvchilik korxonalarida ishlab chiqarish samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Xususan, ishlab chiqarish vaqtining qisqarishi, mahsulot sifatining yaxshilanishi va tannarxning pasayishi kuzatiladi. Bundan tashqari, raqamlashtirish jarayonlari korxonalarning global bozordagi raqobatbardoshligini oshiradi. Shu

bilan birga, texnologiyalarni joriy etish dastlab katta investitsiyalarni talab qilishi mumkin, ammo uzoq muddatda bu xarajatlar o‘zini oqlaydi.

Korxonalarda mavjud amaldagi normativ bazaning eskirganligi ishlab chiqarish samaradorligini pasaytiruvchi asosiy omillardan biridir. Zamonaviy texnologiyalar joriy etilganiga qaramay, ko‘plab korxonalarda eski me’yorlardan foydalanilmoqda. Bu esa real mehnat sarfi va normativ ko‘rsatkichlar o‘rtasida tafovut keltirib chiqaradi[3].

Ishlab chiqarish korxonalaridan olingan xronometraj tadqiqotlari natijalariga ko‘ra, ishlab chiqarish jarayonida yordamchi operatsiyalar ulushi yuqori. Ish joyining ergonomik jihatdan noto‘g‘ri tashkil etilishi va logistika kamchiliklari vaqt yo‘qotilishiga olib keladi.

Ishlab chiqarish korxonalarida mehnat differensiasiyasining past darajasi individual yondashuvning yetishmasligi mehnat unumdorligini baholashda aniqlikni pasaytiradi. Ishchilarning kasbiy kompetensiyalari yetarli darajada hisobga olinmaydi.

Mavjud korxonalarda rag‘batlantirish tizimining samarasizligi mehnat natijalariga asoslangan differensial rag‘batlantirish tizimi rivojlanmaganligi sababli ishchilarda motivatsiya darajasi past.

Korxonalarda mehnatni me’yorlashtirish tizimini takomillashtirish yo‘llari quyidagi bosqichlarda amalga oshirilsa maqsadga muvofiq bo‘lar edi, bular: raqamli texnologiyalarni joriy etish, xronometraj va fotoxronometraj usullarini qo‘llash, moslashuvchan normativ tizimni yaratish, kadrlar salohiyatini rivojlantirish[4].

Ishlab chiqarishda ERP, CAD/CAM tizimlari va avtomatlashtirilgan monitoring vositalaridan foydalanish orqali mehnat samaradorligini oshirish mumkin. Xronometraj va fotoxronometraj usullari joriy etish korxonalarda ish vaqtini chuqur tahlil qilish orqali ortiqcha operatsiyalarni aniqlash va ularni optimallashtirish imkoniyati yaratiladi.

Moslashuvchan normativ tizimni yaratish korxonalarda mahsulot turiga qarab adaptiv normativlar ishlab chiqish ishlab chiqarish aniqligini oshiradi.

Kadrlar salohiyatini rivojlantirish esa malaka oshirish va treninglar orqali inson kapitalining rivojlanishi ta’minlanadi.

Agar korxonalarda Innovatsion yondashuvlarni joriy etilsa, masalan, Lean manufacturing, Six Sigma va raqamli monitoring tizimlari ishlab chiqarish samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega bo‘ladi. Ushbu yondashuvlar ortiqcha xarajatlarni kamaytirish va sifatni yaxshilashga xizmat qiladi.

Iqtisodiy samaradorlikni oshirish uchun mehnatni me’yorlashtirish tizimini takomillashtirish natijasida ishlab chiqarish hajmi oshadi, tannarx kamayadi va korxona foydasi ortadi. Bu esa korxonaning raqobatbardoshligini kuchaytiradi.

Mehnatni me’yorlashtirish tizimini takomillashtirishda zamonaviy ilmiy-uslubiy yondashuvlardan foydalanish muhim ahamiyatga ega. Ushbu yondashuvlar ishlab chiqarish jarayonlarini chuqur tahlil qilish va optimallashtirish imkonini beradi.

Funktsional-qiymat tahlili ishlab chiqarish operatsiyalarining funksional ahamiyatini baholash orqali ortiqcha xarajatlarni aniqlashga xizmat qiladi. Tikuv-trikotaj korxonalarida bu usul:

- ✓ ortiqcha texnologik operatsiyalarni qisqartirish;
- ✓ ishlab chiqarish siklini optimallashtirish;
- ✓ mahsulot tannarxini kamaytirish imkonini beradi.

Ishlab chiqarish jarayonlarini matematik modellashtirish orqali mehnat sarfini prognozlash mumkin. Bu esa normativlarni ilmiy asosda shakllantirishga yordam beradi[5].

Mehnatni me’yorlashtirish samaradorligini aniqlash uchun quyidagi asosiy ko‘rsatkichlardan foydalaniladi: Mehnat unumdorligi koeffitsienti

$$MU=TQ(\quad 1)$$

Bu yerda:

MU – mehnat unumdorligi,

Q – ishlab chiqarilgan mahsulot hajmi,

T – sarflangan vaqt.

Bu ko‘rsatkich ish vaqtining qanchalik samarali ishlatilganini ifodalaydi.

Tikuv-trikotaj korxonalarida mehnat samaradorligi ko‘p jihatdan ergonomik sharoitlarga bog‘liq: ish joyining qulay joylashuvi; yoritish va mikroiqlim sharoitlari; ishchi harakatlarining optimalligi.

Ergonomik talablar bajarilmaganda: ishchining charchashi ortadi; ish sifati pasayadi; mehnat unumdorligi kamayadi. Shuning uchun mehnatni me’yorlashtirishda ergonomik omillarni hisobga olish zarur[6].

Tikuv-trikotaj korxonalarida mehnatni me’yorlashtirish tizimini takomillashtirish ishlab chiqarish samaradorligini oshirishning strategik yo‘nalishlaridan biridir. Ilmiy asoslangan yondashuvlar, zamonaviy texnologiyalar va inson kapitalini rivojlantirish orqali yuqori iqtisodiy natijalarga erishish mumkin. Tikuv-trikotaj korxonalarida mehnatni me’yorlashtirish tizimini modernizatsiya qilish ishlab chiqarish samaradorligini oshirishning muhim omilidir. Zamonaviy texnologiyalarni joriy etish, ilmiy asoslangan normativlar ishlab chiqish va inson kapitalini rivojlantirish orqali yuqori natijalarga erishish mumkin.

XULOSA

Xulosa qilib shuni aytadigon bo‘lsak ishlab chiqarish xorxonalari yengil sanoat tarmog‘ining eng muhim yo‘nalishlaridan biri sifatida — nafaqat tayyor mahsulot ishlab chiqarishga, balki uning butun zanjiridagi har bir bosqichga e’tibor qaratishni talab qiladi. Texnologiyalar uyg‘unligi orqali tikuvchilik sanoati nafaqat ichki ehtiyojlarni qondiradi, balki xalqaro bozorlarda sifatli va ekologik toza mahsulotlar bilan ishonchli ishtirok etadi.

Adabiyotlar

[1]. Tursumatova Shaxlo Samiyevna, & Mamatqulova Saida Raxmatovna. (2022). The importance of creating embroidery patterns from the methods of artistic decoration in the light industry. Innovative Technologica: Methodical Research Journal,3(05),1–10.

[2]. Raxmatovna.M.S.(2022). Analysis of women’s clothes sewing-a study to develop a norm of time spent on the technological process of knitting production. International Journal of Advance Scientific Research.2(03).16-21.

[3]. Raxmatovna.M.S.(2022).Research on the development of norms of time spend on the technological process of sewing and knitting production; basic raw materials, their composition and properties.Innovative Technologica: Methodical Research Journal, 3(03), 28-32. ISSN:2776-0987, Volume3, Issue5,May,2022.7

[4]. Raxmatovna.M.S.(2021). The description of perspective fashion trends in men’s clothing. Innovative Technological:Methodical Research Journal,2(10),15-20.

[5]. Nizamova, B. B., & Mamatqulova, S. R. (2021). Analysis of the Range Of Modern Women's Coats. The American Journal of Engineering and Technology, 3(9), 18-23.

[6]. Tursunova, X.Sh., Mamatqulova Saida Rahmatovna. (2020). Ayollar paltosi uchun gazlamalar taxlili. 3 rd international congress of the human and social science researches (itobiad).

MAXSUS KIYIM ISHLAB CHIQARISH TADQIQI

S.R.Mamatqulova[1], N.N. Nabidjanova[2], Sh.B.Qozoqboyeva[2]

Farg‘ona davlat texnika universiteti[1]
Namangan davlat texnika universiteti[2]
e-mail: saida.mamatqulova.1989@gmail.com
e-mail: nabidjanovanargiza@gmail.com
e-mail: shqozoqboyeva321@gmail.com

(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Anotatsiya: Quyidagi maqolada korxonalarda ish jarayonlari, mehnat ob’yektlarining shakli yoki holatini o‘zgartirishga qaratilgan turli operatsiyalarni bajarishda texnologik jihozlar va uskuna vositalaridan foydalaniladi. Tikuvchilik sanoatida bunday jihozlar orqali jarayonlarni mexanizatsiyalash nafaqat ishlab chiqarish samaradorligini oshirish, balki ishchilarning psixologik holati, mahsulot sifati va xavfsiz mehnat sharoitlarini ta’minlashga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: jihoz, tikuv, loyiha turlari, materialni o‘rganish, vertikal va gorizontal chiziqlar, rivojlanish davri, kostyum, o‘lcham, mexanizatsiyalash, jarayon, mashina, uskuna, me’yor, asiy vaqt, yordamchi vaqt, kutish vaqti, tashkiliy vaqt, nosozlik vaqti, tikuv-trikotaj mahsulotlari.

Аннотация: В данной статье в промышленных предприятиях технологические операции, направленные на изменение формы или состояния объектов труда, выполняются с использованием технологического оборудования и машин. В швейной промышленности механизация процессов с помощью такого оборудования способствует не только повышению производительности труда, но и улучшению психологического состояния работников, повышению качества продукции и созданию безопасных условий труда.

Ключевые слова: оборудование, шитьё, виды проектов, изучение материала, вертикальные и горизонтальные линии, этап развития, костюм, размер, механизация, процесс, машина, устройство, норма, основное время, вспомогательное время, время ожидания, организационное время, время неисправности, швейно-трикотажные изделия

Annotation: This article provides a at industrial enterprises, various operations aimed at changing the shape or state of labor objects are carried out using technological equipment and machinery. In the sewing industry, mechanizing processes through such equipment not only improves labor productivity but also positively impacts workers' psychological conditions, product quality, and workplace safety.

Keywords: equipment, sewing, project types, material study, vertical and horizontal lines, development stage, costume, size, mechanization, process, machine, device, norm, basic time, auxiliary time, waiting time, organizational time, downtime, garment and knitwear products.

Nazariy qism

Ushbu sohada ishlab chiqarish samaradorligini oshirish ko‘p jihatdan mehnatni to‘g‘ri tashkil etish va uni ilmiy asosda me’yorlashtirishga bog‘liq. Maxsus kiyimlar bu ishlab chiqarish jarayonida ish vaqtining ilmiy asoslangan sarfini aniqlash, ish hajmini belgilash hamda ishchilar faoliyatini tartibga solish tizimidir.

Xozirgi kunda sanoat tarmoqlarining jadal rivojlanishi bilan birga mehnat muhofazasi va xavfsizlik masalalari ham dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Ayniqsa, tikuvchilik sanoatida faoliyat yuritayotgan ishchi xodimlarning salomatligini saqlash, qulay mehnat sharoitini yaratish va ishlab chiqarish samaradorligini oshirish uchun maxsus ish kiyimlari muhim omil hisoblanadi. Maxsus kiyimlar faqat tashqi ko‘rinish yoki kompaniya brendini ifodalovchi atribut bo‘libgina qolmay, balki xavfsizlik, gigiyena va mehnat unumdorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Ushbu maqolada tikuvchilik sanoati ishchilari uchun maxsus kiyim ishlab chiqarish masalasi ilmiy jihatdan tahlil qilinadi.

Maxsus kiyimlarni ishlab chiqarish korxonalarida, jumladan, tikuvchilik sanoatida xodimlar turli xavfli omillarga duch keladilar. Masalan: yuqori haroratli uskunalar; mayda chang zarrachalari va to‘qimachilik chiqindilari; harakatdagi mexanizmlar va kesuvchi asboblar; doimiy harakat natijasida yuzaga keluvchi tana zo‘riqishlari[1].

Maxsus ish kiyimlari muhim rol o‘ynaydi. Quyidagilardan iborat, ishchining tanasini tashqi zararlardan himoya qiladi, tana haroratini me’yorda ushlab turadi, tozalikka rioya qilishni yengillashtiradi, ergonomik jihatdan qulay bo‘lib, harakatni cheklamaydi, ishchining kasbiy ijobiy obrazini shakllantirishlardan iborat.

Tikuvchilik sanoatida ishlab chiqariladigan maxsus kiyimlar boshqa sohalardagi ish kiyimlariga qaraganda o‘ziga xos talablarga ega, bular- material tanlovi: naqad paxta yoki aralash tolali matolar ishlatiladi, chunki ular havo o‘tkazuvchan va terini tirnashdan himoya qiladi. Antistatik va changni itaruvchi xususiyatlarga ega matolar afzal ko‘riladi; ergonomika - tikuvchilar doimiy ravishda egilib-turish, oyoqda ishlash, yoki uzoq muddat tikuv mashinasida o'tirishga majbur bo‘ladilar. Shuning uchun kiyimlar tana harakatlariga to‘siq bo‘lmasligi, yumshoq va cho‘ziluvchan bo‘lishi lozim; gigiyenik talablar: kiyim tez-tez yuvishga bardoshli, oson

tozalanadigan va namlikni yutadigan bo‘lishi kerak. Antibakterial ishlov berilgan matolar salomatlik uchun foydali[2].

Maxsus kiyimlar ishlab chiqarishda faqat funksionallikka emas, balki estetik ko‘rinishga ham e’tibor berish lozim. Zamonaviy korxonalarda dizayn elementi ishchi motivatsiyasiga ham ta’sir qiladi. Dizaynda quyidagilarga e’tibor qaratiladi:

Maxsus kiyimni qatlamli konstruksiya asosida ishlab chiqish: ichki qatlam gigiyena, o‘rta qatlam issiqlikni saqlash, tashqi qatlam esa himoya vazifasini bajaradi.

Ko‘zga tashlanadigan ranglar (masalan, ko‘k, yashil) bilan ishlash xavfsizlik nuqtai nazaridan foydali. Brend elementlari ishchilarni korxona bilan identifikatsiya qilishda yordam beradi[3].

Maxsus kiyimlar ishlab chiqarish quyidagi bosqichlarni o‘z ichiga oladi: talabni o‘rganish, model loyihasi va sinov namunalarini ishlab chiqish, matoni tanlash va ishlov berish, ommaviy ishlab chiqarish. Talabni o‘rganish - ishchi sharoitlari, xavf omillari, texnologik talablar tahlil qilinadi; model loyihasi va sinov namunalarini ishlab chiqish - turli model variantlari yaratiladi va kichik miqyosda tikiladi. Ergonomik sinovlar o‘tkaziladi; matoni tanlash va ishlov berish - mos materiallar tanlanadi va oldindan maxsus ishlov beriladi; ommaviy ishlab chiqarish - sifat nazorati, texnologik tartib va omborlash tizimi bilan uyg‘unlashtirilgan holda ishlab chiqariladi[4].

Bu sohada tajriba va ilmiy yondashuv asosida quyidagi takliflarni berish mumkin: Material innovatsiyasi; Texnologik jihatdan ilg‘or materiallar joriy etilishi lozim; Individuallashtirilgan dizayn - har bir ish pozitsiyasi uchun alohida funksional dizayn ishlab chiqish samaradorlikni oshiradi; modulli kiyim tizimi - yoz-qish mavsumlari uchun birlashtiriladigan yoki ajraladigan qismlar orqali universal kiyim ishlab chiqish; texnologik kiyimlar - sensorli elementlar o‘rnatilgan (masalan, yurak urishini, haroratni o‘lchaydigan) kiyimlar orqali ish sharoitlari monitoringi.

Tikuvchilik sanoatidagi ishchilar uchun maxsus kiyim ishlab chiqarish nafaqat gigiyena va xavfsizlik nuqtai nazaridan, balki ish samaradorligini oshirishda ham katta rol o‘ynaydi. Yuqorida keltirilgan tahlil va takliflar asosida maxsus kiyimlar ishlab chiqarishning ilmiy asoslangan tizimini shakllantirish mumkin. Ilmiy yondashuv asosida har bir detal puxta o‘ylangan holda ishlab chiqilgan maxsus kiyimlar nafaqat ishchilarning sog‘lig‘ini himoya qiladi, balki ishlab chiqarishning umumiy sifatini ham yuksaltiradi[5].

So‘nggi yillarda tikuvchilik sanoatida mehnat muhofazasi, ekologik xavfsizlik va texnologik yangiliklarga e’tibor kuchayib bormoqda. Bu holat maxsus ish kiyimlarini ishlab chiqishda ham o‘z aksini topmoqda. Quyidagi zamonaviy yondashuvlar bu yo‘nalishda asosiy rol o‘ynaydi, bular, yashil texnologiyalar asosida material tanlash, 3D dizayn va virtual prototiplashtirish, individual yondashuv asosida tayyorlash, kiyimda aqlli texnologiyalarni qo‘llashlardan iborat bo`lib ular quyidagicha tasniflanadi. a) Yashil texnologiyalar asosida material tanlash. Ekologik xavfsizlikni ta’minlash maqsadida, ko‘plab ishlab chiqaruvchilar- biologik parchalanadigan matolar; Ekologik toza bo‘yoqlar; Qayta ishlangan tolalardan tayyorlangan matolarni tanlamoqda[6]. Bu yondashuv ishchilar salomatligi bilan bir qatorda, atrof-muhitga salbiy ta’sirni kamaytirishga xizmat qiladi.

3D dizayn va virtual prototiplashtirish - dizayn jarayonini raqamlashtirish orqali 3D modellashtirish tizimlarida kiyim namunalarini ishlab chiqish imkoniyati mavjud. Bu metod orqali kiyimlarning tana bilan o‘zaro mosligini dastlabki bosqichda aniqlash, material harakati va egiluvchanligini vizual tarzda ko‘rish mumkin. Bu ishlab chiqarish vaqtini va chiqindilar miqdorini kamaytiradi.

Individual yondashuv asosida tayyorlash- korxona ishchilari har xil tana tuzilishi, harakat intensivligi va pozitsiyada ishlashi mumkin. Shu bois: “Mass Customization” (ommaviy individuallashtirish) konsepsiyasi asosida o‘lchamlar va shakllarni avtomatik tarzda moslashtirish texnologiyasi joriy etilmoqda. Bu ishchi uchun eng mos va qulay kiyimlar ishlab chiqarishga yordam beradi.

Kiyimda aqlli texnologiyalarni qo‘llash - ba’zi ilg‘or ishlab chiqaruvchilar maxsus kiyimlarga quyidagilarni integratsiya qilmoqda: datchiklar (sensorlar) – ishchining yurak urishi, tana harorati yoki harakat darajasini o‘lchaydi. GPS trekerlar – xavfli hududlarda ishlovchi ishchilarni kuzatib borish imkonini beradi. Termoregulyator tolalar – avtomatik tarzda tana haroratiga moslasha oladi[7].

Mahsulotni takomillashtirishda foydalanuvchi (ishchi) fikr-mulohazalari alohida ahamiyatga ega. Amaliyotda quyidagi yondashuvlar qo‘llaniladi: So‘rovnomalar va test kiyish usuli Ishchilar yangi maxsus kiyimni sinovdan o‘tkazadi va fikr bildiradi. Qayta aloqa asosida dizaynni o‘zgartirish - kamchiliklar bartaraf etilib, ergonomik va funksional jihatlar takomillashtiriladi. Ishga mos segmentatsiya - turli lavozimlar uchun alohida maxsus kiyimlar ishlab chiqiladi (masalan, operator, nazoratchi, omborchi va boshqalar)[8].

Tikuvchilik sanoatida maxsus ish kiyimlarini ishlab chiqarish oddiy ishlab chiqarish bosqichi emas, balki kompleks muhandislik, dizayn, sog‘liqni saqlash va texnologiya yondashuvlarini birlashtiruvchi tizimli jarayondir. Zamonaviy yondashuvlar orqali ishlab chiqarilayotgan maxsus kiyimlar: ishchilarni himoya qilish, mehnat unumdorligini oshirish, kiyim sifati va foydalanuvchi mamnunligini ta’minlash, atrof-muhitni asrash kabi ko‘plab muhim vazifalarni hal qilishga xizmat qiladi.

Korxonalarda mavjud amaldagi normativ bazaning eskirganligi ishlab chiqarish samaradorligini pasaytiruvchi asosiy omillardan biridir. Zamonaviy texnologiyalar joriy etilganiga qaramay, ko‘plab korxonalarda eski me’yorlardan foydalanilmoqda. Bu esa real mehnat sarfi va normativ ko‘rsatkichlar o‘rtasida tafovut keltirib chiqaradi[9].

Tikuv-trikotaj korxonalarida maxsus kiyimlar ishlab chiqarish tizimini takomillashtirish ishlab chiqarish samaradorligini oshirishning strategik yo‘nalishlaridan biridir. Ilmiy asoslangan yondashuvlar, zamonaviy texnologiyalar va inson kapitalini rivojlantirish orqali yuqori iqtisodiy natijalarga erishish mumkin. Tikuv-trikotaj korxonalarida mehnatni me’yorlashtirish tizimini modernizatsiya qilish ishlab chiqarish samaradorligini oshirishning muhim omilidir. Zamonaviy texnologiyalarni joriy etish, ilmiy asoslangan normativlar ishlab chiqish va inson kapitalini rivojlantirish orqali yuqori natijalarga erishish mumkin.

XULOSA

Xulosa qilib shuni aytadigon bo‘lsak ishlab chiqarish xorxonalari yengil sanoat tarmog‘ining eng muhim yo‘nalishlaridan biri sifatida — nafaqat tayyor mahsulot ishlab chiqarishga, balki uning butun zanjiridagi har bir bosqichga e’tibor qaratishni talab qiladi. Texnologiyalar uyg‘unligi orqali tikuvchilik sanoati nafaqat ichki ehtiyojlarni qondiradi, balki xalqaro bozorlarda sifatli va ekologik toza mahsulotlar bilan ishonchli ishtirok etadi.

Tikuvchilik sanoatida maxsus ish kiyimlarini ishlab chiqarish oddiy ishlab chiqarish bosqichi emas, balki kompleks muhandislik, dizayn, sog‘liqni saqlash va texnologiya yondashuvlarini birlashtiruvchi tizimli jarayondir. Zamonaviy yondashuvlar orqali ishlab chiqarilayotgan maxsus kiyimlar: ishchilarni himoya qilish, mehnat unumdorligini oshirish, kiyim sifati va foydalanuvchi mamnunligini ta’minlash, atrof-muhitni asrash kabi ko‘plab muhim vazifalarni hal qilishga xizmat qiladi

Adabiyotlar

[1]. Tursumatova Shaxlo Samiyevna, & Mamatqulova Saida Raxmatovna. (2022). The importance of creating embroidery patterns from the methods of artistic decoration in the light industry. Innovative Technologica: Methodical Research Journal,3(05),1–10.

[2]. Raxmatovna.M.S.(2022). Analysis of women’s clothes sewing-a study to develop a norm of time spent on the technological process of knitting production. International Journal of Advance Scientific Research.2(03).16-21.

[3]. Raxmatovna.M.S.(2022).Research on the development of norms of time spend on the technological process of sewing and knitting production; basic raw materials, their composition and properties.Innovative Technologica: Methodical Research Journal, 3(03), 28-32. ISSN:2776-0987, Volume3, Issue5,May,2022.7

[4]. Raxmatovna.M.S.(2021). The description of perspective fashion trends in men’s clothing. Innovative Technological:Methodical Research Journal,2(10),15-20.

[5]. Nizamova, B. B., & Mamatqulova, S. R. (2021). Analysis of the Range Of Modern Women's Coats. The American Journal of Engineering and Technology, 3(9), 18-23.

[6]. Tursunova, X.Sh., Mamatqulova Saida Rahmatovna. (2020). Ayollar paltosi uchun gazlamalar taxlili. 3 rd international congress of the human and social science researches (itobiad).

FOSFOR O‘G‘ITLARI VA OHAK CHIQINDISI ASOSIDA KO‘PIKLIGIPS BLOKLAR ISHLAB CHIQARISHNING HOZIRGI DAVR RIVOJINING TAHLILI VA MUAMMOLARI

M.A.Mirzajanov , X.A.Mamatov , H.Sh.Sultonov*

Farg‘ona davlat texnika universiteti
** Mas’ul muallif , e-mail: sultonovhumoun.98@gmail.com*
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Mazkur tadqiqotda qurilish materiallari sanoatini rivojlantirish, sanoat chiqindilaridan samarali foydalanish hamda fosfor o‘g‘itlari ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘ladigan chiqindilar asosida yangi qurilish materiallarini yaratish masalalari yoritilgan. Respublikada 2022–2026 yillarga mo‘ljallangan qurilish materiallari sanoatini rivojlantirish dasturi doirasida mahsulot ishlab chiqarish hajmini oshirish, eksport salohiyatini kengaytirish, investitsiyalarni jalb etish va yangi ish o‘rinlarini yaratish bo‘yicha belgilangan vazifalar tahlil qilingan.*

Kalit so‘zlar: *fosfogips, fosfor o‘g‘itlari chiqindilari, qurilish gipsi, angidrid sement, bog‘lovchi materiallar, chiqindilarni qayta ishlash, ekologik xavfsizlik, qurilish materiallari sanoati, mustahkamlik, issiqlik o‘tkazuvchanlik.*

Qurilish sohasida ishlab chiqarish korxonalari tomonidan aholini sifatli qurilish materiallari va buyumlari bilan ta’minlash, tarmoq korxonalarini modernizatsiyalash orqali import hajmini kamaytirish, eksportbop mahsulotlar ishlab chiqarish hajmini kengaytirish, ishlab chiqarish quvvatlarini ishga tushirish bilan yangi ish o‘rinlarini yaratish, shuningdek ichki bozorda qurilish materiallari va buyumlari narxining oshib ketishining oldini olish va ularni arzonlashtirish soha rivojida muhim omil bo‘lmoqda.

2022–2026 yillarda qurilish materiallari sanoatini rivojlantirish dasturi doirasida erishiladigan natijalar quyidagicha:

2026 yilga borib tarmoq bo‘yicha mahsulotlar ishlab chiqarish hajmi 42,3 trillion so‘mga yetkaziladi.

2026 yilga borib qurilish materiallarining eksporti 1,084 milliard AQSh dollariga yoki 2021 yilga nisbatan 2,5 baravarga oshiriladi.

2026 yil tarmoqni rivojlantirishga 1,85 milliard AQSh dollarlik investitsiyalar jalb qilinadi.

Sanoat ishlab chiqarish chiqindilarini qayta ishlash orqali ekologiya va atrof-muhit ifloslanishini oldini olish hamda jamiyat bilan tabiat o‘rtasidagi ekologik muvozanatni saqlash muhim hisoblanadi. Qurilish materiallari sanoatini innovatsion rivojlantirish, talab yuqori bo‘lgan sifatli mahsulot turlarini kengaytirish, tarmoqning eksport salohiyatini oshirishga doir ilmiy asoslangan takliflarni ishlab chiqish dolzarb vazifa hisoblanadi.

Xorijiy va mahalliy mineral qayta ishlanmagan xom-ashyo resurslarni qayta ishlash orqali qurilish materiallarini ishlab chiqarishga bir qancha olimlar (T.A.Ataqo‘ziyev, E.T.Ataqo‘ziyev, N.Abbasxonov, M.A.Axmedov, J.X.Asamov, E.U.Qosimov, M.I.Iskandarova, M.U.Karimov, Z.M.Sattorov, N.X.Talipov, A.A.To‘laganov, M.A.Toreniyazov, M.A.Toxirov, B.H.Haydarov, D.X.Elmurodov, F.T.Yuldashev) o‘z ilmiy-tadqiqotlarini olib borib, muhim ilmiy natijalarga erishgan.

Shu o‘rinda, bugungi kunda “Ammofos-Maxam” AJ (Olmaliq sh.) ammofos, ammoniy sulfat fosfat, suprefos, ammoniy sulfat, elektrolit, ammoniy fosfat, uch natriyli fosfat va sh.k.larni ishlab chiqarishga ixtisoslashgan. Fosfor o‘g‘itlarini ishlab chiqarish jarayonida juda ko‘p miqdorda chiqindilar hosil bo‘ladi. Ushbu chiqindilarni ishlatish orqali issiqlik o‘tkazuvchanligi past bo‘lgan devorbop materiallarning yangi turlarini ishlab chiqarish dolzarb hisoblanadi.

Havoda qotadigan bog‘lovchi materiallar olish uchun fosfor o‘g‘itlari chiqindilarini qayta ishlash xususidagi ilk laboratoriya tadqiqotlari 1933–1935 yillarda o‘tkazilgan. O‘sha paytda P.P.Budnikov, M.I.Gershman va S.M.Royak kabi tadqiqotchilar qurilish gipsi hosil qilishgan, ammo ular ikki sababga binoan bunday gipsni sanoat miqyosida ishlab chiqarish maqsadga muvofiq emas, degan xulosaga kelishgan. Birinchidan, fosfor o‘g‘itlari chiqindisida mavjud bo‘lgan sulfat

kislota tayyor mahsulotni qotib qolish muddatini sezilarli darajada qisqartiradi, ikkinchidan, fosfor o‘g‘itlari chiqindisining mexanik xususiyatlari g‘oyat past bo‘lib, u faqat qurilish gipsiga qo‘shimcha sifatida qo‘llanishi mumkin [15; 207-b].

Shu bilan birga, ushbu dastlabki tadqiqotlar fosfor o‘g‘itlari chiqindisining ekstraksiya jarayonida kristallanishining optimal sharoitlarini aniqlashga qodir bo‘lmagan vaqtda, suvda eruvchan sulfat kislotasini yuvib chiqarish jarayonining murakkabligi tufayli o‘tkazilgan edi.

Ma’lumki, qurilish gipsiga sulfat kislota tarzida 0,63% fosfogips (P_2O_5) qo‘shish bog‘lovchi moddani qotish vaqtida egilishga va siqilishga mustahkamligi chegarasini 23 MPa dan 15 MPa gacha, zichligini esa 100 kg/sm^2 dan 33 kg/sm^2 gacha kamaytiradi. Bu hol fosfor o‘g‘itlari chiqindisidan kuydirilguniga qadar suvda eriydigan sulfat kislotaning ko‘p qismini yo‘qotish zarurligini ko‘rsatadi. Amerika patentlarida ta’kidlanishicha, hatto suvda eriydigan fosfogips (P_2O_5) ning 0,1% miqdori tayyor mahsulot mustahkamligini sezilarli darajada pasaytiradi; ko‘p miqdordagi sulfat kislota esa gidratlanish jarayonidagi kristallanishni buzadi, natijada gips yaroqsiz bo‘lib qoladi [77; 19–22-b]. Shu bilan birga, yuqori sifatli qurilish gipsi olish uchun sulfat kislotaning mavjudligi minimal darajada bo‘lishi talab qilinadi, bu esa ekstraksiya jarayonida qat’iy nazoratni talab qiladi.

O‘g‘itlar va insektofungitsidlar ilmiy tadqiqot institutida ekstraksiya jarayonini o‘zlashtirish hamda yaxshi kristall strukturali fosfor o‘g‘itlari chiqindisini olish mobaynida sulfat kislotani yo‘qotishning ikki asosiy usuli sinab ko‘rildi:

a) fosfor o‘g‘itlari chiqindisini to‘g‘ridan-to‘g‘ri suv bilan yuvish;

b) suvda eriydigan kislotani ohak suti bilan neytrallash.

Muayyan miqdordagi havoda quritilgan fosfor o‘g‘itlari chiqindisi mo‘tadil haroratdagi suvga solingach, filtrlanib yuvilganda, suvda eriydigan sulfat kislotadan osongina xalos bo‘ladi. Agar fosfor o‘g‘itlari chiqindisi tarkibida 2% fosfogips (P_2O_5) mavjud bo‘lsa, uni yuvib tozalash uchun 1 kg havoda quritilgan chiqindiga 2–2,2 litr suv yetarli bo‘ladi [78; 11–12-b].

Shu usul orqali olingan fosfor o‘g‘itlari chiqindisi keyinchalik havoda qotadigan bog‘lovchi modda sifatida ishlatilishi mumkin.

Suvda eriydigan fosfogips (P_2O_5) ni ohak suti bilan neytrallash uchun fosfor o‘g‘itlari chiqindisi pulpasiga hisob-kitob asosida 10% kalsiy gidroksid ($Ca(OH)_2$) suvli eritmasi qo‘shiladi va aralash pulpa 2 soat davomida doimiy ravishda aralashtiriladi. Neytrallash reaksiyasining tugashi fenolftalein indikator yordamida kuzatiladi. Shu tarzda, fosfor o‘g‘itlari chiqindisi suvda eriydigan fosfogipsdan tozalangach, undan sifatli fosfogipsli bog‘lovchi olish mumkin bo‘ladi. Ana shunday bog‘lovchi moddaning mustahkamligi va qotish muddatlari GOST 23789-2018 “Gipsli bog‘lovchilar. Sinov usullari” talablariga muvofiq keladi.

Qurilish gipsi tez tishlashadigan va qotadigan bog‘lovchi moddadir; odatda 5–15 daqiqa ichida qotadi. Bu esa bir qancha noqulayliklarga sabab bo‘ladi, chunki qorilgan gips qotib qolishidan oldin ishlatilishi kerak. Agar qotish jarayoni buzilsa, hosil bo‘lgan kristall o‘simtalari parchalanadi va mahsulot mustahkamligi keskin kamayadi. Qurilish fosfogipsi havoda qotadigan bog‘lovchi modda bo‘lib, suv ostida ishlatilishi mumkin emas, chunki qotish jarayonida hosil bo‘lgan ikki suvli gips erib, kristallarning o‘sib tutashgan strukturasi parchalanadi. Shu bilan birga, gips qayta quritilganda uning mustahkamligi tiklanadi. Gipsdan tayyorlangan mahsulotning suvga nisbatan past chidamliligi, asosan, suv parchalarining qotgan gipsdagi kristall strukturalarga bo‘lgan ta’siridan kelib chiqadi. Agar gips mahsuloti namlikdan saqlansa, uzoq yillar davomida xizmat qiladi.

Qurilish gipsidan asosan suvoq uchun ohak-gips qorishmasi tayyorlash va binokorlik detallari ishlab chiqarishda foydalaniladi. Shuni ta’kidlash kerakki, qurilish gipsi sof holda ishlatilganda yorilmaydi. Ohak-gips suvoq qorishmalarida bir hajm gipsga 1–5 hajm ohak qo‘shiladi; bu qorishmaning tishlashishini sekinlashtiradi va elastikligini oshiradi. Bog‘lovchi moddani tejash va ohakning darz ketishiga to‘sqinlik qilish uchun gips-ohak qorishmasiga birdan uch hajmgacha qum yoki uning o‘rnini bosuvchi modda (toshqol, pemza, yog‘och qopiq va qirindilar) qo‘shiladi. Suvoq qorishmasida ohak aralashtirilmasa ham bo‘ladi, biroq tishlashishni susaytiruvchi boshqa modda kiritilishi kerak.

Ohak-gips qorishmalari ohak qorishmasidan tez qotishi va mustahkamligi bilan, gips qorishmasidan esa elastikligi va sekin tishlashishi bilan farqlanadi. Gips qorishmasida gildan ham foydalaniladi [79; 14–16-b].

Fosfor o‘g‘itlari chiqindisidan angidrid sement olish bo‘yicha, bundan 1960 yillarda kimyogar olimlar oz miqdordagi ishqorlar, kislotalar va o‘rta/nordon tuzlar angidridning gidratlanishiga ta’sir qilishi mumkinligini ko‘rsatgan edi [15; 207-b].

T.A.Ataqo‘ziev fosfor o‘g‘itlari chiqindisidan angidrid sement olish bo‘yicha maxsus tadqiqotlar o‘tkazdi. Bog‘lovchi modda qotishida katalizatorlar sifatida natriy sulfat, natriy biosulfat va fosfogips ishlatilgan.

Odatiy angidrid sementga faollashtiruvchi moddalar va angidridni maydalash jarayonida qo‘shish mumkin, shu orqali suv bilan qorishayotganda eruvchan va barqaror angidrid sementi hosil bo‘ladi. Bog‘lovchi modda qotishi qo‘shgidrat hosil bo‘lishi tufayli amalga oshadi. Angidrid sementining suvga bo‘lgan talabi va singdirish qobiliyati asosan uning maydalanganlik darajasiga bog‘liq bo‘lib, me’yoriy quyuq qorishma hosil qilish uchun odatda 30–35% suv qo‘shiladi.

Adabiyotlar

[1]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 dekabrdagi “2022 — 2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi PF-60-sonli farmoni. (Qoonunchilik ma’lumotlari milliy bazasi, 29.01.2022-y., 06/22/60/0082-son, 18.03.2022-y., 06/22/89/0227-son, 21.04.2022-y., 06/22/113/0330-son; 10.02.2023-y., 06/23/21/0085-son; 03.01.2024-y., 06/24/221/0003-son; 28.12.2024-y., 06/24/227/1089-son; 01.03.2025-y., 06/25/27/0196-son).

[2]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 23 maydagi “Qurilish materiallari sanoatini jadal rivojlantirishga oid qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi PQ-4335-sonli qarori (Qonun hujjatlari ma’lumotlari milliy bazasi, 25.05.2019 y., 07/19/4335/3183-son; 07.05.2020 y., 07/20/4707/0545-son).

[3]. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в жилищно-коммунальной сфере. http://www.minstroyrf.ru/trades/zhilishno-kommunalnoe-hozyajstvo/22/

[4]. Баженов, Ю.М. Технология бетона. Учебник // Ю.М. Баженов.–М.: Изд-во АСВ, 2003.–500 с.

[5]. Жуков, А.Д. Технология теплоизоляционных материалов: учеб. пос. Ч. Теплоизоляционные материалы. Производство теплоизоляционных материалов // А.Д. Жуков / ГОУ ВПО Моск. гос. строит. ун-т.–М.: МГСУ, 2011.–431 с.

[6]. Горлов, Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий: Учебю для вузов по спец. «Поизводство строительных изделий и конструкций» // Ю.П. Горлов.М.: Высш.шк, 1989.–384 с.

BIM TECHNOLOGIES IN THE DESIGN OF ENGINEERING COMMUNICATION

N.A. Usmonova, master’s student of the M7-25MKTQM group A.K. Komilov

Fergana state technical university,
unodira0211@gmail.com
asilbekkomilov415@gmail.com

(Received on April 16 th, 2026)

Abstract: *This extended thesis is devoted to the issues of using BIM (Building Information Modeling) technologies in the processes of designing, constructing, and operating engineering communication systems. The study analyzes the technical capabilities of BIM technology, its practical applications, its advantages over traditional design methods in water supply systems, and its economic efficiency. Additionally, examples of modeling water supply systems based on Revit MEP and Civil 3D software are presented.*

Keywords: *BIM, engineering communications, water supply, gas supply, heat supply, ventilation and air conditioning, Revit MEP.*

Introduction. Engineering communication systems (water supply, gas supply, heat supply, ventilation, and air conditioning systems) are an integral part of modern buildings. Designing these systems using traditional methods is time-consuming and increases the likelihood of engineering errors. Today, the introduction of digital technologies in the construction industry is of great importance. In particular, accuracy, efficiency, and reliability are required in the design of complex

engineering communications such as water supply systems. During the design process based on traditional 2D drawings, numerous technical errors, pipe clashes, and incorrect calculations may occur. Traditional 2D design methods often lead to pipe clashes, incorrect pipe diameters, and non-compliance with hydraulic requirements. These errors may contradict the mandatory requirements of SHNQ 2.04.01-22, which strictly regulates minimum pipe diameters, water pressure, and flow rates for internal water supply systems. [3]

BIM technology serves to eliminate these problems. BIM is a digital information model that covers all life cycle stages of a building or structure and provides complete information about all elements of the water supply system.

- **The essence of BIM technology and its role in engineering communication systems.**

BIM technology is not only a three-dimensional graphical model, but also a multi-layered information system. In engineering communication systems, a BIM model includes the following information:

- pipe diameter and length;
- pipe material (steel, PVC, polyethylene, etc.);
- water pressure and flow rate;
- technical characteristics of fittings, valves, and pumps;
- installation and operation data.

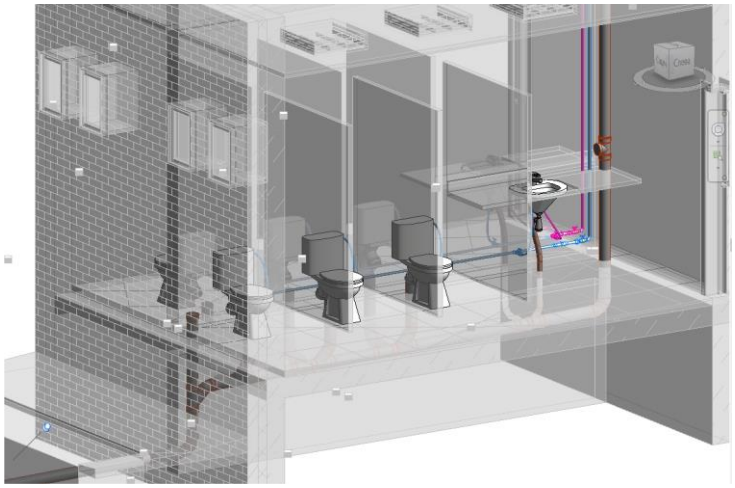


Figure 1. 3D model of a water supply system based on BIM.

Designing engineering communication systems based on BIM

In the BIM environment (Revit MEP and Civil 3D), pipe diameters, lengths, materials, and hydraulic parameters are calculated and automatically checked for compliance with SHNQ 2.04.01-22 and SHNQ 2.04.02. For example, according to SHNQ 2.04.01-22 (Section 5), the minimum pressure for drinking water supply in buildings must be at least 0.3 MPa at the most remote point, while pipe materials must meet sanitary and hygienic requirements.

The design of water supply systems using BIM technology is carried out in several stages:

1. Importing the architectural model;
2. Placing water, gas, and heat pipelines, as well as ventilation ducts;

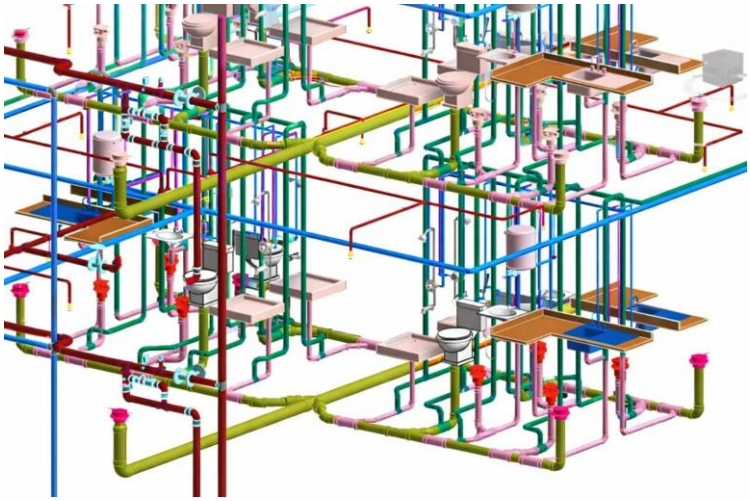


Figure 2. The process of detecting clashes between water supply and sewer pipelines in Revit MEP software.

3. Performing pressure and water flow calculations;
4. Detecting pipe clashes (clash detection);

This process increases the accuracy of the project and significantly reduces errors that may arise during the construction process.

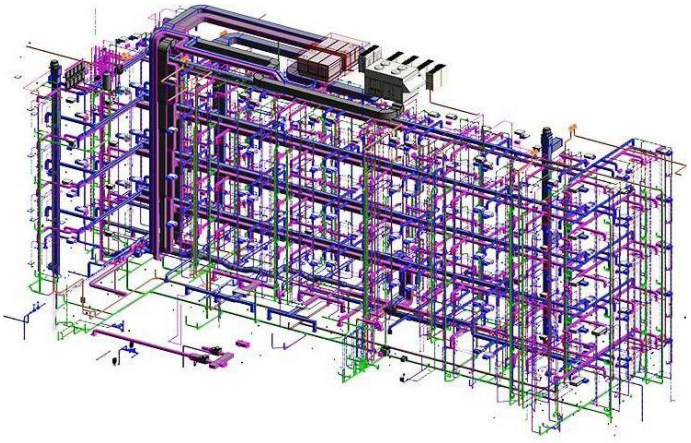
Application of BIM technologies in construction and operation stages

BIM technology is widely used not only in the design stage of water supply systems, but also during construction and operation. During the construction process:

the sequence of installation works is

determined;

1. material consumption is controlled;
2. the work schedule is optimized.
3. During the operation stage, using the BIM model:
4. emergencies are identified quickly;
5. maintenance works are planned;
6. system efficiency is monitored.



3-rasm. Revit MEP general model.

Advantages of BIM technologies

The application of BIM technologies in engineering communication systems provides the following advantages:

- ❖ increases design accuracy;
- ❖ reduces time and material costs;
- ❖ allows early detection of technical errors;
- ❖ ensures effective collaboration between project participants;
- ❖ enables rational use of water resources.

Conclusion:

In general, BIM technologies make it possible to design engineering communication systems in a complex and interconnected manner. Integrating water supply, gas supply, heat supply, ventilation, and air conditioning systems into a single digital model improves construction quality, reduces errors, and simplifies operational processes.

In conclusion, the use of BIM technologies in water supply systems is an integral part of modern construction. BIM-based design increases the reliability and efficiency of the system and enables digital management of construction and operation processes. In the future, the widespread implementation of this technology will play an important role in the development of water supply systems.

References

[1]. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. 2nd ed. — Hoboken: Wiley, 2018. — 688 p.
[2]. Xusainov M.A. Designing Engineering Systems Based on BIM Technologies. — Tashkent: [Publisher], 2022.
[3]. SHNQ 2.04.01-22. Internal water supply and drainage systems of buildings. — Tashkent: Ministry of Construction of the Republic of Uzbekistan, 2022.
[4]. SHNQ 2.04.07-22. Heating networks. — Tashkent: Ministry of Construction of the Republic of Uzbekistan, 2022.

QAYTA TIKLANUVCHI ENERGIYA MANBALARI ASOSIDA SUV RESURSLARINI BOSHQARISHNING AVTOMATLASHTIRILGAN VA INTELLEKTUAL TIZIMINI ISHLAB CHIQISH

tayanch doktorant J.X. Nusratullayev, A.Y.Raxmonov

Farg‘ona davlat texnika universiteti
+998911069288, nusratullayevjavokhirbek@gmail.com,
+998943930050, arakhmonov111@gmail.com
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Mazkur maqolada quyosh energiyasi asosida chuchuk suv olish jarayonlarini tashkil qilish va boshqarishning intellektual tizimini ishlab chiqish masalalari ko‘rib chiqilgan. Suvni chuchuklashtirish qurilmalarida energiya samaradorligini oshirish, avtomatlashtirilgan boshqaruv va raqamli monitoring texnologiyalaridan foydalanish usullari tahlil qilindi. Taklif etilgan tizim energiya sarfini kamaytirish va jarayon barqarorligini ta’minlash imkonini beradi.*

Kalit so‘zlar: *quyosh energiyasi, qayta tiklanuvchi energiya, suvni chuchuklashtirish, intellektual boshqaruv, avtomatlashtirilgan tizim, energiya samaradorligi, raqamli monitoring, sensorli nazorat, energiya boshqaruv tizimi, innovatsion texnologiyalar.*

Abstract: *This paper investigates the development of an intelligent control system for organizing and managing the process of freshwater production based on solar energy. Methods for improving energy efficiency, automated control, and the use of digital monitoring technologies in water desalination devices are analyzed. The proposed system makes it possible to reduce energy consumption and ensure stable operation of the process.*

Keywords: *solar energy, renewable energy, water desalination, intelligent control, automated system, energy efficiency, digital monitoring, sensor control, energy management system, innovative technologies.*

KIRISH

Hozirgi kunda chuchuk suv resurslarining kamayishi va energiya manbalarining cheklanganligi global muammolardan biri hisoblanadi. Aholi sonining ortishi, sanoatning rivojlanishi va iqlim o‘zgarishi natijasida ichimlik suviga bo‘lgan talab ortib bormoqda [1]. BMT ma’lumotlariga ko‘ra, suv tanqisligi kelajakda jiddiy iqtisodiy va ekologik muammolarni keltirib chiqarishi mumkin [2]. Shu sababli sho‘r suvni chuchuklashtirish texnologiyalarini energiya tejamkor usullar asosida rivojlantirish muhim ilmiy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi [3].

An’anaviy suvni chuchuklashtirish qurilmalari katta miqdorda energiya talab qiladi, bu esa ularning iqtisodiy samaradorligini kamaytiradi va atrof-muhitga salbiy ta’sir ko‘rsatadi [4]. Energiya resurslarining cheklanganligi sababli qayta tiklanuvchi energiya manbalari asosida chuchuklashtirish texnologiyalarini rivojlantirish muhim hisoblanadi [5]. Quyosh energiyasi ekologik toza va cheklanmagan manba bo‘lib, suvni chuchuklashtirish jarayonlarida samarali qo‘llanishi mumkin [6]. Quyosh issiqligi yordamida bug‘latish va kondensatsiya orqali chuchuk suv olish mumkin bo‘lib, bunday qurilmalar elektr tarmoqlaridan uzoq hududlarda ham ishlaydi [7]. So‘nggi yillarda quyosh kollektorlari va gibrid energiya tizimlari asosidagi chuchuklashtirish usullari keng tadqiq qilinmoqda [8].

Zamonaviy ilmiy tadqiqotlarda suvni chuchuklashtirish jarayonlarini avtomatlashtirish, sensorli nazorat va raqamli monitoring texnologiyalarini qo‘llashga katta e’tibor qaratilmoqda. Intellektual boshqaruv tizimlari energiya sarfini kamaytirish, qurilmaning barqaror ishlashini ta’minlash va tashqi muhit sharoitiga moslashuvchan boshqaruvni amalga oshirish imkonini beradi [9]. Sun’iy intellekt, mikroprotsessorli boshqaruv va IoT texnologiyalaridan foydalanish energiya hamda suv resurslarini boshqarish samaradorligini oshiradi [10]. Shu sababli qayta tiklanuvchi energiya manbalari asosida ishlovchi suvni chuchuklashtirish qurilmalarini yaratish va ularni intellektual boshqaruv tizimlari bilan takomillashtirish dolzarb masala hisoblanadi. Mazkur maqolaning maqsadi quyosh energiyasi asosida chuchuk suv olish jarayonlarini intellektual boshqarish tizimini ishlab chiqishdan iborat.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Quyosh energiyasi asosida chuchuk suv olish jarayoni issiqlik almashinuvi, bug‘lanish va kondensatsiya hodisalariga asoslangan bo‘lib, ushbu jarayonlarning samaradorligi quyosh nurlanishi intensivligi, issiqlik yo‘qotishlari hamda qurilmaning konstruktiv parametrlariga bog‘liq hisoblanadi. Suvni chuchuklashtirish qurilmalarida asosiy energiya manbai sifatida quyosh radiatsiyasidan foydalanish energiya sarfini kamaytirish va ekologik xavfsizlikni ta’minlash imkonini beradi [11].

Quyosh energiyasidan foydalanishda qurilmaga kelib tushadigan umumiy energiya miqdori quyosh nurlanishi intensivligi va qabul qiluvchi yuzaning maydoniga bog‘liq bo‘lib, quyidagi ifoda orqali aniqlanadi [12]:

$$Q = I * A * t \quad (1)$$

bu yerda

I– quyosh nurlanishi intensivligi (W/m²),
A–kollektordan foydalanilayotgan yuzaning maydoni (m²),
t–vaqt (s),
Q–olinadigan energiya miqdori (J).

Suvni bug‘latish jarayonida issiqlik energiyasi suv molekulalarini bug‘ fazasiga o‘tkazish uchun sarflanadi. Bug‘lanish jarayonida talab qilinadigan issiqlik miqdori quyidagi tenglama bilan aniqlanadi [13]:

$$Q = m * L \quad (2)$$

bu yerda
m – bug‘langan suv massasi (kg),
L–suvning solishtirma bug‘lanish issiqligi (J/kg)

Qurilmaning umumiy energiya samaradorligini aniqlash uchun foydali energiya miqdorining kirish energiyasiga nisbati olinadi [14]:

$$\eta = \frac{Q_f}{Q_k} \quad (3)$$

bu yerda
η–foydali ish koeffitsienti,
Q_f – foydali energiya,
Q_k – kirish energiyasi.

Issiqlik yo‘qotishlarini hisoblashda issiqlik uzatish qonunidan foydalanildi. Qurilma devorlari orqali yo‘qotiladigan issiqlik miqdori quyidagi formula orqali aniqlandi [15]:

$$Q_y = k * A * (T_1 - T_2) \quad (4)$$

Tizimning barqaror ishlashini ta’minlash uchun avtomatlashtirilgan boshqaruv usuli qo‘llanildi. Qurilmada harorat, quyosh nurlanishi, suv miqdori va bosim parametrlarini nazorat qilish uchun sensorlar o‘rnatildi. Olingan ma’lumotlar mikroprotsessorli boshqaruv blokiga uzatilib, optimal ish rejimi boshqaruv algoritmi asosida tanlandi [16].

Boshqaruv tizimi quyidagi umumiy funksional bog‘lanish orqali ifodalanadi:

$$Q_f = \eta * [I * A - kA * (T_1 - T_2)] * t - m * L$$

Intellektual boshqaruv tizimidan foydalanish orqali qurilmaning energiya samaradorligini oshirish, issiqlik yo‘qotishlarini kamaytirish hamda chuchuk suv olish jarayonini optimallashtirish mumkinligi nazariy jihatdan asoslab berildi [17–18].

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Tadqiqot davomida quyosh energiyasi asosida ishlovchi chuchuk suv olish qurilmasining energiya samaradorligi nazariy model asosida tahlil qilindi. Hisoblashlarda quyosh nurlanishi intensivligi 600–900 W/m² oralig‘ida deb qabul qilindi. Quyosh energiyasini qabul qiluvchi yuzaning maydoni 2 m² bo‘lgan holatda qurilmaga kelib tushadigan umumiy energiya miqdori 4–6 MJ oralig‘ida bo‘lishi aniqlandi. Issiqlik yo‘qotishlari va bug‘lanish jarayoniga sarflanadigan energiya hisobga olinganda foydali energiya miqdori 2.5–3.8 MJ ni tashkil etdi [19].

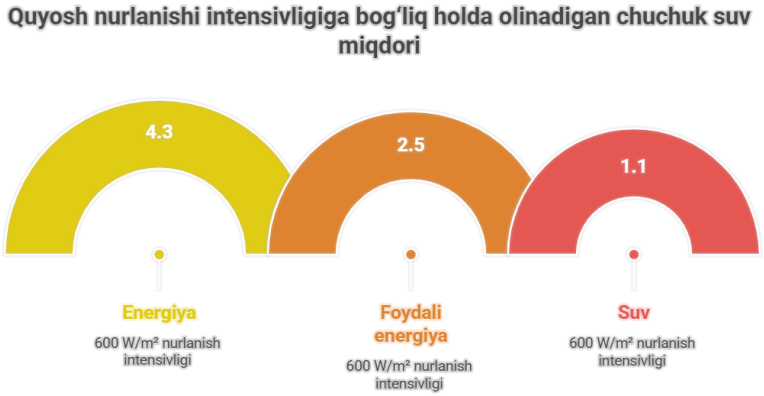
Hisoblash natijalariga ko‘ra qurilma yordamida 1 soat davomida o‘rtacha 1.1–1.7 kg chuchuk suv olish mumkinligi aniqlandi. Quyosh nurlanishi ortishi bilan bug‘lanish jarayoni tezlashdi va olinadigan suv miqdori ham ortib bordi. Avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimi qo‘llanilganda qurilmaning ishlash barqarorligi oshib, energiya yo‘qotishlari 10–15 % ga kamaydi [20].

Sensorli nazorat tizimi yordamida harorat, quyosh nurlanishi va suv miqdori doimiy ravishda kuzatildi. Boshqaruv blokida olingan ma’lumotlar asosida optimal ish rejimi tanlandi. Natijada qurilmaning foydali ish koeffitsienti 0.60–0.68 oralig‘ida bo‘lishi aniqlandi, bu esa an’anaviy suvni chuchuklashtirish qurilmalariga nisbatan yuqori ko‘rsatkich hisoblanadi [21].

Rasmdan ko‘rinadiki, quyosh nurlanishi intensivligi ortishi bilan olinadigan chuchuk suv miqdori ham ortib boradi. Bu esa qurilmaning samaradorligi asosan quyosh radiatsiyasi va issiqlik yo‘qotishlariga bog‘liq ekanligini ko‘rsatadi [22].

1-rasmda quyosh nurlanishi intensivligiga bog‘liq holda olinadigan chuchuk suv miqdorining o‘zgarish grafigi keltirilgan. Grafikdan ko‘rinadiki, nurlanish intensivligi ortishi bilan

suv ishlab chiqarish miqdori deyarli chiziqli qonuniyat bo‘yicha ortadi. Bu esa taklif etilgan tizimning barqaror ishlashini ko‘rsatadi [23].



1-rasm. Quyosh nurlanishi intensivligiga bog‘liq holda olinadigan chuchuk suv miqdorining o‘zgarish grafigi.

Taklif etilgan intellektual boshqaruv tizimi yordamida qurilmaning ish rejimini tashqi muhit sharoitiga mos holda avtomatik ravishda o‘zgartirish mumkin. Bu esa energiya sarfini kamaytirish, issiqlik yo‘qotishlarini kamaytirish hamda chuchuk suv olish jarayonining samaradorligini oshirish imkonini beradi.

XULOSA

Ushbu tadqiqotda quyosh energiyasi asosida ishlovchi chuchuk suv olish qurilmasining energiya samaradorligi nazariy jihatdan tahlil qilindi hamda uning intellektual boshqaruv tizimi ishlab chiqildi. Hisoblash natijalari qurilmaning samaradorligi asosan quyosh nurlanishi intensivligi, issiqlik yo‘qotishlari va bug‘lanish jarayoniga bog‘liq ekanligini ko‘rsatdi. Avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimini qo‘llash orqali qurilmaning barqaror ishlashi ta’minlandi va energiya sarfi kamaytirildi. Olingan natijalar quyosh energiyasi asosida ishlovchi chuchuk suv olish qurilmalarini elektr tarmog‘idan uzoq hududlarda, qishloq xo‘jaligida va issiqxona xo‘jaliklarida samarali qo‘llash mumkinligini ko‘rsatdi. Taklif etilgan intellektual boshqaruv tizimi energiya samaradorligini oshirish va suv resurslaridan oqilona foydalanish imkonini beradi.

Adabiyotlar

[1]. United Nations. (2023). World Water Development Report 2023: Partnerships and cooperation for water. UNESCO Publishing.
[2]. Gleick, P. H. (2018). The world's water: The biennial report on freshwater resources. Island Press.
[3]. Kalogirou, S. A. (2014). Solar energy engineering: Processes and systems (2nd ed.). Academic Press.
[4]. El-Dessouky, H. T., & Ettouney, H. M. (2002). Fundamentals of salt water desalination. Elsevier.
[5]. Mirodil, K., Mukhlisakhon, B., Jasur, U., Tukhtasinov, S. and Rakhmonov, A. (2025) Develop an on-load automatic voltage regulation system utilizing TRIACs for power transformers in the 6–10 kV range. In: 2025 14th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA). IEEE, pp. 830–834. https://doi.org/10.1109/ICRERAXXXXX
[6]. Avezova, N., Salomov, U., Rakhmatov, O., Rakhmonov, A. and Kholikov, A. (2025) Review of the building standard SHNK 2.04.15-23 “Photoelectric Stations” and recommendations for its expansion. Journal of Construction and Engineering Technology, 3(1), pp. 31–40. https://doi.org/10.XXXX/jcet.2025.31
[7]. Gude, V. G. (2017). Desalination and sustainability: A review. Water Research, 122, 520–537.
[8]. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.021
[9]. Sharon, H., & Reddy, K. S. (2015). Solar desalination technology: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 1080–1118. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.002
[10]. Wang, L. (2019) Intelligent control systems and optimization. Springer.
[11]. Incropera, F.P., DeWitt, D.P., Bergman, T.L. and Lavine, A.S. (2017) Fundamentals of heat and mass transfer. 8th ed. Wiley.
[12]. Kalogirou, S.A. (2009) Solar energy engineering: Processes and systems. Academic Press.
[13]. Duffie, J.A. and Beckman, W.A. (2013) Solar engineering of thermal processes. 4th ed. Wiley.
[14]. El-Dessouky, H.T. and Ettouney, H.M. (2002) Fundamentals of salt water desalination. Elsevier.
[15]. Çengel, Y.A. and Boles, M.A. (2015) Thermodynamics: An engineering approach. 8th ed. McGraw-Hill.
[16]. Gude, V.G. (2017) Desalination and sustainability – An appraisal and current perspective. Water Research, 122, pp.520–537. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.021
[17]. Ogata, K. (2010) Modern control engineering. 5th ed. Prentice Hall.
[18]. Wang, L. (2019) Intelligent control systems and optimization. Springer.
[19]. Twidell, J. and Weir, T. (2015) Renewable energy resources. 3rd ed. Routledge.
[20]. Tiwari, G.N. and Sahota, L. (2017) Advanced solar desalination systems. Springer.
[21]. Gude, V.G. (2016) Energy storage for desalination processes powered by renewable energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 57, pp.133–140. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.095

[22]. Bejan, A. (2013) Convection heat transfer. 4th ed. Wiley.
[23]. Kalogirou, S.A. (2013) Solar thermal collectors and applications. Progress in Energy and Combustion Science, 30(3), pp.231–295. https://doi.org/10.1016/j.pecs.2004.02.001
[24]. Dorf, R.C. and Bishop, R.H. (2017) Modern control systems. 13th ed. Pearson.

THE ROLE OF SPIRITUAL VALUES IN YOUTH EMPLOYMENT, PROFESSIONAL COMPETENCE AND ECONOMIC ACTIVITY

U.N. Abdukadirov

Fergana State Technical University,
e-mail: umidjon.abduqodirov@fstu.uz
Tel: +99897-590-74-00
(Received on April 16 th, 2026)

Annotation: *In the modern world, the development of youth is closely connected with economic activity, professional competence, and spiritual values. Globalization and technological progress create new opportunities for young people, but they also lead to moral challenges, unemployment, and a decline in social responsibility. Spiritual values such as honesty, responsibility, diligence, patriotism, and respect for others play an important role in shaping professionally competent and socially active youth. This article examines the influence of spiritual values on youth employment and economic participation. It also analyzes the importance of educational institutions, family upbringing, and social organizations in developing morally strong and professionally skilled young people. The study emphasizes that spiritual education contributes to increasing labor productivity, improving social stability, and supporting sustainable economic development.*

Keywords: *Youth spirituality, spiritual values, employment, professional competence, economic activity, globalization, education, moral development, youth policy, social responsibility.*

1. Introduction. Youth are considered the main driving force of social and economic development in every country. In the era of globalization, the requirements for young specialists are rapidly changing. Modern society expects young people not only to possess professional knowledge and technical skills but also to demonstrate strong moral qualities and spiritual maturity. Without spiritual values, professional success may lose its social significance and ethical direction.

Today many countries face problems such as youth unemployment, migration, lack of motivation, and the spread of harmful ideologies. These issues negatively affect economic stability and social harmony. Therefore, the formation of spiritual values among young people has become one of the important priorities of modern education and state policy.

The rapid development of information technologies and digital communication has significantly influenced the worldview and lifestyle of modern youth. On the one hand, globalization provides young people with broad educational and professional opportunities. On the other hand, it may weaken national identity, cultural traditions, and moral principles. As a result, some young individuals experience uncertainty in their social and professional lives, which may negatively influence their future development.

In this context, spiritual education becomes an essential factor in shaping responsible, competitive, and socially active youth. Spiritual values help young people develop self-discipline, respect for labor, patriotism, tolerance, and ethical behavior. These qualities are necessary not only for personal success but also for the sustainable development of society and the national economy.

Furthermore, professional competence in the modern labor market increasingly depends on communication skills, teamwork, leadership abilities, and professional ethics. Employers value specialists who can combine technical knowledge with honesty, responsibility, and creative thinking. Therefore, educational institutions should focus on the harmonious development of both intellectual and spiritual capacities of students.

This article analyzes the role of spiritual values in youth employment, professional competence, and economic activity. It also examines the influence of family, education, and social institutions on the formation of morally mature and professionally qualified young people.

The Importance of Spiritual Values in Youth Development

Spiritual values are moral principles and beliefs that guide human behavior. They include honesty, kindness, respect, responsibility, tolerance, patriotism, and devotion to work. These qualities help young people become active members of society and responsible professionals.

Young people with strong spiritual values usually show higher motivation in education and employment. They understand the importance of honest work, respect workplace ethics, and contribute positively to social relations. Such individuals are more likely to become successful leaders, entrepreneurs, teachers, engineers, and specialists in different fields.

In addition, spiritual development strengthens psychological stability and self-confidence. It helps youth resist negative social influences such as extremism, violence, drug addiction, and corruption. As a result, spiritually educated youth contribute to the creation of a healthy social environment.

Spirituality and Professional Competence

Professional competence is not limited to technical knowledge and practical skills. It also includes communication culture, ethical behavior, responsibility, teamwork, and leadership abilities. Spiritual values directly influence these qualities.

Modern employers increasingly value workers who are disciplined, honest, cooperative, and adaptable. Professional ethics and moral responsibility have become essential components of career success. A specialist with strong spiritual principles can make fair decisions, maintain professional integrity, and build positive relationships with colleagues and clients.

Educational institutions play an important role in combining professional education with spiritual upbringing. Universities and schools should organize educational programs that develop both intellectual and moral capacities of students. Teachers must serve as role models who inspire students through their behavior and attitudes.

The Role of Spiritual Values in Economic Activity

Economic activity reflects the participation of individuals in production, business, entrepreneurship, and labor relations. Spiritual values contribute significantly to economic development because they influence work culture and social responsibility.

For example, honesty and responsibility reduce corruption and increase trust in economic relations. Diligence and discipline improve labor productivity. Patriotism encourages young entrepreneurs to invest in national development and support local communities.

2. Discussion. In many developing countries, youth entrepreneurship has become an important factor in reducing unemployment. However, successful entrepreneurship requires not only financial resources but also ethical principles and social awareness. Spiritually mature entrepreneurs are more likely to create fair working conditions, respect environmental standards, and contribute to social welfare.

Digital technologies and globalization also require new forms of economic thinking. Young people must learn how to balance material success with moral responsibility. Economic growth without spiritual development may lead to inequality, selfishness, and social conflicts.

The Role of Family, Education and Society

The formation of spiritual values begins in the family. Parents influence children’s worldview, behavior, and attitudes toward work from an early age. Respect for labor, honesty, and responsibility should be taught through personal example. A healthy family environment helps children develop self-confidence, emotional stability, and moral principles that guide them throughout life. When young people grow up in an atmosphere of mutual respect and support, they are more likely to become socially responsible and professionally motivated individuals.

Educational institutions continue this process by integrating moral education into academic subjects and extracurricular activities. Schools and universities are not only places for acquiring knowledge but also important centers for character development. Teachers play a significant role in shaping students' ethical behavior, communication culture, and social responsibility. Cultural events, volunteer projects, debates, and social initiatives help students develop empathy, leadership, teamwork skills, and civic responsibility. In addition, modern educational systems should encourage critical thinking, tolerance, and respect for cultural diversity.

Social organizations, the mahalla institute, media, and state programs also play a significant role in supporting youth development. The mahalla institution, which has deep historical and cultural roots in Uzbek society, contributes to strengthening solidarity, social support, and moral education among young people. Community activities and public initiatives create opportunities for youth participation in social life and encourage a sense of belonging and responsibility.

Mass media and digital platforms also strongly influence the worldview of modern youth. Positive media content can promote educational values, patriotism, healthy lifestyles, and professional motivation. However, harmful information and destructive ideologies spread through the internet may negatively affect young people's behavior and moral consciousness. Therefore, society must pay special attention to developing media literacy and critical thinking among youth.

National traditions, cultural heritage, and historical values strengthen young people's identity and social engagement. Respect for cultural traditions and national history helps preserve spiritual continuity between generations. At the same time, it encourages young people to contribute actively to the development of their country while maintaining openness to global cooperation and innovation.

3. Conclusion. Spiritual values are an essential foundation for youth employment, professional competence, and economic activity. In the conditions of globalization and rapid technological development, modern society needs not only educated but also morally responsible young specialists. Spiritual education helps young people become socially active, professionally competent, and economically productive members of society.

The cooperation of family, educational institutions, and social organizations is necessary for the successful formation of youth spirituality. Strengthening moral education among young people contributes to social stability, economic growth, and the sustainable development of society.

In addition, the integration of spiritual and professional education creates favorable conditions for preparing competitive specialists who are capable of adapting to modern economic and social challenges. Young people who possess both professional skills and strong moral principles are more likely to contribute positively to their workplaces, communities, and national development. They demonstrate responsibility, creativity, leadership, and respect for ethical standards in their professional activities.

Modern society must therefore pay special attention to supporting youth initiatives, improving educational quality, and preserving national and cultural values. State institutions, educators, families, and community organizations should work together to create an environment that encourages personal growth, social responsibility, and active citizenship among young people.

Ultimately, the future development of every nation depends on its youth. Investing in the spiritual and professional development of young generations is not only a social necessity but also a strategic factor for ensuring long-term economic prosperity, social harmony, and sustainable progress.

References

[1]. Lakoff, G., & Johnson, M. Metaphors We Live By. Chicago: University of Chicago Press, 1980.
[2]. Kövecses, Z. Metaphor: A Practical Introduction. Oxford University Press, 2010.
[3]. Leech, G. Principles of Pragmatics. London: Longman, 1983.
[4]. Wierzbicka, A. Semantics, Culture and Cognition. Oxford University Press, 1992.
[5]. Karimov, I. High Spirituality is an Invincible Force. Tashkent: Ma'naviyat Publishing House, 2008.
[6]. Mirziyoyev, Sh. The Strategy of New Uzbekistan. Tashkent, 2021.
[7]. Yusuf, S. Spiritual Education and Youth Development. Tashkent: Uzbekistan Publishing House, 2019.

DEVELOPMENT OF YOUTH SPIRITUALITY BASED ON DIGITAL TRANSFORMATION AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE EDUCATIONAL PROCESS

G.D. Khodjaeva

Fergana State Technical University,
Email: guzal.xodjayeva@fstu.uz
(Received on April 16 th, 2026)

Annotation: *Digital transformation has significantly changed modern education and influenced the spiritual development of young people. Innovative technologies provide broad opportunities for improving educational quality, developing professional skills, and expanding access to information. At the same time, rapid technological progress creates new moral and social challenges related to communication culture, ethical behavior, and the preservation of national values. This article examines the role of digital technologies in the development of youth spirituality within the educational process. It analyzes the positive and negative effects of digitalization on young people's worldview, social behavior, and moral consciousness. The study also highlights the importance of combining technological innovation with spiritual and moral education in order to prepare socially responsible and professionally competent youth.*

Keywords: *Youth spirituality, digital transformation, innovative technologies, education, moral development, globalization, digital education, information technologies, professional competence, social responsibility.*

1. Introduction. The twenty-first century is characterized by rapid technological development and the active integration of digital technologies into all spheres of life. Education has become one of the main areas affected by digital transformation. Online learning platforms, artificial intelligence, multimedia resources, and virtual communication tools have changed traditional teaching methods and created new educational opportunities for young people.

Digital technologies allow students to access global information resources, improve independent learning skills, and develop professional competencies required by the modern labor market. However, alongside these advantages, digitalization also creates serious challenges connected with moral education, communication ethics, and spiritual development. Excessive dependence on social media, exposure to harmful information, cyberbullying, and the weakening of interpersonal communication may negatively influence the worldview and behavior of young people.

In the conditions of globalization, preserving spiritual values and national identity has become especially important. Modern education should therefore focus not only on technological progress but also on the moral and spiritual upbringing of students. Young people need guidance in developing responsibility, critical thinking, tolerance, patriotism, and ethical behavior in the digital environment.

This article explores the role of digital transformation and innovative technologies in shaping youth spirituality and examines the importance of integrating moral education into the modern educational process.

The Impact of Digital Technologies on Youth Development

Digital technologies have transformed the lifestyle, communication patterns, and learning habits of modern youth. The internet and social networks provide access to unlimited educational resources and opportunities for self-development. Students can participate in online courses, international conferences, and virtual educational communities regardless of geographical boundaries. This accessibility allows young people to broaden their knowledge, improve language skills, and become more competitive in the global educational environment.

Innovative technologies also increase educational effectiveness by making lessons more interactive and engaging. Multimedia presentations, virtual laboratories, and artificial intelligence tools help students better understand complex concepts and develop creative thinking. Digital platforms encourage independent learning and improve problem-solving abilities. As a result, digital

transformation contributes to improving professional competence and competitiveness among young people.

Furthermore, technology creates opportunities for collaboration and communication between students and teachers from different countries and cultural backgrounds. Such interaction promotes tolerance, intercultural understanding, and the exchange of ideas. Modern digital tools also support inclusive education by providing learning opportunities for students with disabilities and those living in remote areas.

At the same time, the digital environment may negatively affect psychological and moral development if not used responsibly. Some young people spend excessive time online, reducing face-to-face communication and social interaction. As a consequence, they may experience emotional isolation, stress, or decreased social skills. Excessive dependence on gadgets and social media can also reduce concentration and negatively affect academic performance.

Exposure to violent content, misinformation, cyberbullying, and harmful ideologies can influence behavior and weaken moral values. In some cases, uncontrolled internet use leads to aggression, intolerance, or the imitation of destructive behavior. Therefore, digital literacy and ethical internet use have become essential elements of modern education. Young people should learn how to critically evaluate online information, protect personal data, and communicate respectfully in digital spaces.

Educational institutions and families must cooperate to ensure the safe and balanced use of technology. Teachers and parents should guide young people toward productive digital activities that support intellectual, professional, and spiritual growth. By combining technological innovation with moral education, society can help youth benefit from digital progress while preserving ethical values and social responsibility.

Spiritual Education in the Digital Era

Spiritual education plays an important role in helping young people adapt to technological changes while preserving moral principles and cultural identity. Educational institutions should integrate spiritual and ethical topics into digital learning programs. Students need to understand not only how to use technology effectively but also how to behave responsibly in the online environment. In the modern world, where information spreads rapidly, moral awareness and ethical behavior have become necessary skills for every young person.

Teachers have an important mission in guiding students toward ethical decision-making and critical evaluation of information. They should encourage respectful communication, tolerance, honesty, and social responsibility both in traditional classrooms and online platforms. Modern educators must also serve as positive role models who demonstrate balanced and ethical use of technology. By promoting respectful dialogue and critical thinking, teachers help students resist misinformation, online manipulation, and harmful digital influences.

Furthermore, spiritual education contributes to the development of emotional intelligence and interpersonal communication skills. Young people who possess strong moral values are more likely to build healthy relationships, resolve conflicts peacefully, and participate actively in community life. Ethical education also strengthens self-discipline and responsibility, which are essential qualities for academic and professional success.

In addition, national traditions and cultural heritage should remain an important part of educational content. Digital technologies can be used to promote literature, history, art, and cultural values among young people. Virtual museums, online cultural projects, and educational media resources help preserve national identity while supporting global integration. Such initiatives allow students to appreciate their cultural roots while remaining open to international cooperation and innovation.

2. Discussion. At the same time, educational systems should create balanced learning environments where technology supports human interaction rather than replacing it completely. Face-to-face communication, teamwork activities, and participation in cultural events remain essential for the spiritual and social development of youth. Therefore, digital education should complement, not weaken, traditional human values and interpersonal relationships.

The Role of Family and Society

The development of youth spirituality in the digital age requires cooperation between family, educational institutions, and society. Parents should monitor children's online activities and teach them responsible internet behavior from an early age. Open communication within the family helps young people develop emotional stability and resistance to negative online influences. When parents show personal responsibility and ethical behavior in using technology, children are more likely to follow positive examples.

Families also play an important role in preserving cultural traditions, moral principles, and national identity. Conversations about respect, honesty, responsibility, and patriotism help young people develop a strong moral foundation. Supportive family relationships create a sense of security and encourage youth to make responsible decisions both online and offline.

Social organizations, media institutions, and government programs also contribute to promoting positive digital culture. Public initiatives focused on cyber ethics, media literacy, and youth education can help create a healthy informational environment. Educational campaigns and social projects encourage young people to use digital technologies productively for learning, creativity, and social participation.

In particular, the mahalla institute and community organizations can organize educational projects aimed at strengthening moral values among young people. Community events, volunteer activities, and cultural programs encourage social responsibility and civic engagement. Such initiatives help youth feel connected to society and motivate them to contribute positively to national development.

Mass media also has a strong influence on the worldview and behavior of young people. Responsible media content can promote healthy lifestyles, educational achievement, patriotism, and cultural awareness. Therefore, cooperation between educators, families, media institutions, and social organizations is necessary to support the spiritual and moral development of youth in the digital era.

Conclusion. Digital transformation and innovative technologies have created new opportunities for education and youth development. Modern technologies improve access to knowledge, support professional growth, and encourage creativity and innovation. However, rapid digitalization also creates moral and social challenges that require serious attention from educators, families, and society.

The successful development of youth spirituality in the digital era depends on the integration of technological education with moral and ethical upbringing. Educational institutions should prepare young people not only for professional success but also for responsible participation in social life. Spiritual values such as honesty, responsibility, tolerance, and patriotism remain essential for maintaining social harmony and sustainable development in the modern world.

The cooperation of family, schools, universities, and social organizations is necessary to create a balanced educational environment where technological progress supports both intellectual and spiritual growth. Investing in the moral and professional development of youth will contribute to the formation of a healthy, educated, and socially active generation capable of meeting the challenges of the future.

References

[1]. Castells, M. The Rise of the Network Society. Oxford: Blackwell Publishers, 2010.
[2]. Tapscott, D. Grown Up Digital: How the Net Generation is Changing Your World. New York: McGraw-Hill, 2009.
[3]. Prensky, M. "Digital Natives, Digital Immigrants." On the Horizon, Vol. 9, No. 5, 2001.
[4]. Karimov, I. High Spirituality is an Invincible Force. Tashkent: Ma'naviyat Publishing House, 2008.
[5]. Mirziyoyev, Sh. The Strategy of New Uzbekistan. Tashkent, 2021.
[6]. UNESCO. Education in a Digital World. Paris: UNESCO Publishing, 2020.
[7]. Yusuf, S. Spiritual Education and Youth Development. Tashkent: Uzbekistan Publishing House, 2019.

BO‘LAJAK TASVIRIY SAN’AT O‘QITUVCHILARINING KASBIY KOMPETENSIYALARINI RIVOJLANTIRISHDA AMALIY SAN’AT TA’LIMINING PEDAGOGIK AHAMIYATI

A.A. Mamurov[1], F.A. Anvarov[2]

[1]*Farg‘ona davlat universiteti*
abdusalommamurov6@gmail.com
[2]*Kamoliddin Behzod nomidagi milliy rassomlik va dizayn instituti*
fazliddinanvarov36@gmail.com

Annotatsiya. *Mazkur maqolada bo‘lajak tasviriy san’at o‘qituvchilarining kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirishda amaliy san’at ta’limining pedagogik ahamiyati keng yoritilgan. Amaliy san’at fanlarini o‘qitish jarayonida talabalarda kasbiy bilimlar, amaliy ko‘nikmalar, ijodiy fikrlash qobiliyati, estetik did hamda pedagogik mahoratni shakllantirishning nazariy va amaliy asoslari tahlil qilingan. Shuningdek, amaliy san’at mashg‘ulotlari orqali bo‘lajak o‘qituvchilarning mustaqil faoliyat yuritish, ijodiy muammolarni hal etish, milliy va umuminsoniy qadriyatlarni anglash hamda ularni yosh avlodga yetkazish kompetensiyalarini rivojlantirish imkoniyatlari ko‘rib chiqilgan. Maqolada amaliy san’at ta’limining kompetensiyaviy yondashuv asosida tashkil etilishi, zamonaviy pedagogik texnologiyalar va interfaol metodlardan foydalanishning afzalliklari ochib berilgan. Talabalarning nazariy bilimlarini amaliy faoliyat bilan uyg‘unlashtirish, ularni kasbiy faoliyatga tayyorlash hamda ijodiy salohiyatini rivojlantirishda amaliy san’atning o‘rni asoslab berilgan.*

Kalit so‘zlar: *amaliy san’at, kasbiy kompetensiya, tasviriy san’at o‘qituvchisi, pedagogik ahamiyat, kulolchilik, hunarmandchilik, ijodiy faoliyat, kompetensiyaviy yondashuv.*

Kirish

Bugungi kunda ta’lim tizimini modernizatsiya qilish, bo‘lajak mutaxassislarning kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirish hamda ta’lim sifatini oshirish dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, tasviriy san’at o‘qituvchilarini tayyorlash jarayonida nazariy bilimlar bilan bir qatorda amaliy faoliyatga asoslangan ta’limni tashkil etish muhim ahamiyat kasb etadi. Shu nuqtai nazardan amaliy san’at fanlari bo‘lajak tasviriy san’at o‘qituvchilarining kasbiy tayyorgarligini takomillashtirishda muhim vosita sifatida xizmat qiladi.

Amaliy san’at asrlar davomida xalqimizning moddiy va ma’naviy madaniyatini aks ettirib kelayotgan san’at turi hisoblanadi. Kulolchilik, naqqoshlik, yog‘och o‘ymakorligi, kashtachilik, zargarlik kabi yo‘nalishlar yosh avlodni estetik tarbiyalash, ijodiy fikrlashga o‘rgatish va kasbiy mahoratini shakllantirishda muhim omil hisoblanadi. Shu sababli amaliy san’at ta’limining pedagogik imkoniyatlarini o‘rganish ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Tadqiqot metodologiyasi. Tadqiqot jarayonida pedagogik kuzatish, ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish, qiyosiy taqqoslash, umumlashtirish hamda kompetensiyaviy yondashuv metodlaridan foydalanildi. Shuningdek, amaliy san’atni o‘qitish metodikasi bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar va me’yoriy-huquqiy hujjatlar tahlil qilindi.

Natijalar va muhokama. Kasbiy kompetensiya mutaxassisning nazariy bilim, amaliy ko‘nikma va shaxsiy sifatlarni birlashtirgan holda kasbiy faoliyatni samarali amalga oshirish qobiliyatidir. Bo‘lajak tasviriy san’at o‘qituvchilarida mazkur kompetensiyalarni shakllantirishda amaliy san’at fanlari alohida o‘rin tutadi.

Amaliy san’at mashg‘ulotlari davomida talabalar turli materiallar bilan ishlash, kompozitsiya yaratish, rang tanlash, bezak elementlarini loyihalash hamda badiiy buyumlar tayyorlash bo‘yicha amaliy tajriba orttiradilar. Bu esa ularda kasbiy mahoratning shakllanishiga xizmat qiladi.

Shuningdek, amaliy san’at bilan shug‘ullanish talabalarning estetik didini rivojlantiradi, ijodiy tafakkurini kengaytiradi va mustaqil qaror qabul qilish ko‘nikmalarini shakllantiradi. Natijada ular kelajakdagi pedagogik faoliyatida o‘quvchilar bilan samarali ishlash imkoniyatiga ega bo‘ladilar.

Amaliy san’at ta’limining pedagogik ahamiyati. Amaliy san’at ta’limining pedagogik ahamiyati bir necha jihatlarda namoyon bo‘ladi:

- talabalarda amaliy faoliyatga asoslangan bilimlarni shakllantiradi;
- nazariya va amaliyot uyg‘unligini ta’minlaydi;

- ijodiy fikrlash va innovatsion yondashuvlarni rivojlantiradi;
- estetik tarbiya vositasi sifatida xizmat qiladi;
- milliy qadriyatlar va madaniy merosga hurmat tuyg‘usini shakllantiradi.

Pedagogik nuqtai nazardan amaliy san’at mashg‘ulotlari talabalarning faolligini oshiradi, ularni mustaqil izlanishga undaydi hamda ta’lim jarayonida subyekt-subyekt munosabatlarini rivojlantiradi. Bunda o‘qituvchi ko‘proq yo‘naltiruvchi va maslahatchi vazifasini bajaradi.

Kompetensiyaviy yondashuv asosida amaliy san’atni o‘qitish. Hozirgi kunda ta’lim tizimida kompetensiyaviy yondashuv ustuvor ahamiyat kasb etmoqda. Ushbu yondashuv bo‘lajak mutaxassislarning bilimlarni amaliyotda qo‘llash qobiliyatini rivojlantirishga qaratilgan.

Amaliy san’at fanlarini kompetensiyaviy yondashuv asosida tashkil etish quyidagi natijalarga olib keladi:

Kompetensiya turi	**Shakllanish imkoniyati**
Kasbiy kompetensiya	Badiiy buyumlar yaratish va texnologiyalarni o‘zlashtirish
Pedagogik kompetensiya	Dars tashkil etish va metodik faoliyatni amalga oshirish
Kommunikativ kompetensiya	Jamoada ishlash va muloqot madaniyatini rivojlantirish
Kreativ kompetensiya	Yangi g‘oyalar ishlab chiqish va ijodiy loyihalar yaratish
Axborot kompetensiyasi	Raqamli texnologiyalar va elektron resurslardan foydalanish

Mazkur kompetensiyalar bo‘lajak tasviriy san’at o‘qituvchilarining kasbiy tayyorgarligini takomillashtirishga xizmat qiladi.

Amaliy san’at ta’limini takomillashtirish yo‘llari. Amaliy san’at ta’limining samaradorligini oshirish uchun quyidagi chora-tadbirlarni amalga oshirish maqsadga muvofiq:

- zamonaviy pedagogik texnologiyalarni joriy etish;
- raqamli ta’lim vositalaridan foydalanishni kengaytirish;
- amaliy mashg‘ulotlar hajmini oshirish;
- xalq ustalari va hunarmandlar bilan hamkorlikni rivojlantirish;
- talabalarning ijodiy loyihalarini qo‘llab-quvvatlash;
- ko‘rgazma va tanlovlar tashkil etish;
- STEAM ta’lim elementlarini amaliy san’at bilan integratsiyalash.

Ushbu tadbirlar bo‘lajak o‘qituvchilarning kasbiy tayyorgarligini yangi bosqichga olib chiqadi.

Xulosa

Bo‘lajak tasviriy san’at o‘qituvchilarining kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirishda amaliy san’at ta’limi muhim pedagogik ahamiyatga ega. U talabalarning nazariy bilimlarini amaliy faoliyat bilan uyg‘unlashtiradi, ijodiy fikrlashini rivojlantiradi va kasbiy mahoratini oshiradi. Shuningdek, amaliy san’at ta’limi milliy madaniy merosni asrash, estetik tarbiyani takomillashtirish va zamonaviy ta’lim talablariga mos mutaxassislarni tayyorlashda muhim omil hisoblanadi. Kelgusida amaliy san’at fanlarini innovatsion pedagogik texnologiyalar asosida rivojlantirish ta’lim sifatini yanada oshirishga xizmat qiladi.

Adabiyotlar

[1]. Mirziyoyev Sh.M. Yangi O‘zbekiston strategiyasi. – Toshkent: O‘zbekiston, 2021.
[2]. Bulatov S.S. O‘zbek xalq amaliy bezak san’ati. – Toshkent: Fan, 2010.
[3]. Hasanov R.H. Tasviriy san’at asoslari. – Toshkent: G‘afur G‘ulom nomidagi nashriyot, 2009.

[4]. Abdirasilov S.F. Tasviriy san'atni o'qitish metodikasi. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2012.
[5]. Musurmonova O. Pedagogik kompetentlik va innovatsion faoliyat. – Toshkent: Fan, 2018.
[6]. Yuldashev J.G'., Usmonov S.A. Pedagogik texnologiya asoslari. – Toshkent: O'qituvchi, 2014.
[7]. Qodirov B.R. Hunarmandchilik va xalq amaliy san'ati. – Toshkent: Tafakkur, 2019.
[8]. UNESCO. Creative Economy Outlook. – Paris, 2022.
[9]. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining ta'lim va madaniyat sohasiga oid farmon va qarorlari.
[10]. Karimov U.U. Kreativ iqtisodiyot va madaniy industriya rivojlanishi. – Toshkent, 2023.

THE ROLE OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN TEACHING THEORETICAL PHYSICS

I.R. Fozilov

Fergana State Technical University,
Fozilxon58@gmail.com
(Received on April 16 th, 2026)

Abstract. *The article is devoted to some urgent and unresolved issues of the role of modern digital technologies in teaching theoretical physics.*
Keywords: *digital technologies, pedagogy, innovation, relativity, gravitational effects, quantum, energy.*

Some problems of theoretical physics cannot be simply verified experimentally. Another part - questions related to experiments. According to theoretical physicist Lee Smolin in his 2006 talk "The Disruption of Physics: The Rise of the Theory of Defeat, the Fall of Science, and What's Next," there are "five big problems in theoretical physics." Some urgent problems of modern theoretical physics are: 1. The problem of quantum gravity: the unification of general relativity and quantum theory into a single theory that can be called a complete theory of nature. 2. Fundamental Problems of Quantum Mechanics: Solve fundamental problems of quantum mechanics, either by assuming the theory or by logically discovering a new theory. 3. Unification of Particles and Forces: Determine whether the various particles and forces can be unified in a theory that explains them as manifestations of a single, fundamental entity. 4. Correction problems: Explain how the values of the free freedoms in the Standard Model of particle physics are chosen naturally. 5. Problems of cosmological mysteries: Explain dark matter and dark energy. Or, if they do not exist, explain how and why gravity is modified on large scales. Then, more generally, explain the reasons why the Standard Model of cosmology, for example, has its values.
1. The problem of quantum gravity Quantum gravity is an attempt in theoretical physics to create a theory that includes general relativity and the Standard Model of particle physics. Currently, these two theories describe different scales of nature, and they attempt to study the scale at which the results of the results, such as the force of gravity (or the curvature of space), become consistent with each other. 2. Fundamental problems of quantum mechanics One issue related to the concept of quantum physics is the fundamental physical mechanism. There are many interpretations of quantum physics—the classical Copenhagen interpretation, Hugh Everett II's controversial many-worlds interpretation, and the more controversial anthropic principle of the participants. The question that arises in these interpretations is actually why quantum wave collapse occurs. Most modern physicists working with quantum field theory no longer consider these interpretations to be relevant. The decoherence principle is the explanation for many—that interaction with the environment leads to quantum collapse. More importantly, physicists have been able to solve the equations without asking what exactly happens at the fundamental level. able to solve, experiment, and do physics practice. Unification of particles and forces There are four fundamental forces of physics, and the Standard Model of particle physics includes only three (electromagnetic, strong nuclear, and weak nuclear forces). Gravity is outside the Standard Model. Trying to create a theory that unifies these four forces into a unified field theory is a major goal of theoretical physics. Since the Standard Model of particle physics is a quantum field theory, any unification of it must include

gravity as a quantum field theory, which means that it is related to solving the problem of unification. In addition, the Standard Model of particle physics describes a large number of particles - 18 fundamental particles. Many physicists believe that a fundamental theory of nature must have some way of unifying these particles, so that they are described in a more fundamental way. For example, string theory, the best-defined of these approaches, assumes that all particles are different modes of vibration of fundamental filaments or strings of energy. 4. The problem of correction A theoretical physical model is a mathematical framework that requires certain parameters to be set in order to make predictions. In the Standard Model of particle physics, the parameters are represented by the 18 particles predicted by the theory, that is, the parameters are measured by observation. Some physicists believe that the fundamental physical principles of the theory should determine these parameters independently of the measurements. This has led to much of the interest in unified field theory in the past, and has prompted Einstein's famous question, "Did God have a choice when he created the universe?" Do the properties of the universe actually shape the shape of the universe, because those properties wouldn't work if the shape were different? The answer seems to be that there is not just one universe that could be created, but rather a variety of different fundamental theories (or different versions of the same theory, based on different physical parameters, energy states, etc.), and our universe is just one of these possible universes. In that case, our question is whether our universe ends up with properties that seem too fragile to allow life to exist. This problem is called the fine-tuning problem, and it has prompted some physicists to turn to the anthropic principle to explain it, and it shows that our universe has properties, because it has different properties, the question is. (The main purpose of Smolin's book is to criticize this view as an explanation of properties.) 5. The problem of cosmological mysteries There are still a number of mysteries in the universe, but the most elusive physical mysteries are darkness and dark energy. These types of matter and energy are determined by gravitational effects, but they cannot be directly observed, so physicists are still trying to figure out what they are. Nevertheless, some physicists have proposed alternative explanations for these gravitational effects, which are the does not require new forms, but these alternatives are not acceptable to most physicists.

DISCUSSION AND RESULTS Pedagogical software is a didactic tool designed to partially or completely automate the educational process using computer technologies. They are considered one of the promising forms of increasing the efficiency of the educational process and are used as a teaching tool of modern technologies. Pedagogical software includes: a software product (a set of programs) aimed at achieving specific didactic goals in the subject of study, technical and methodological support, additional and auxiliary tools. Pedagogical software can be divided into the following: educational programs - aimed at mastering new knowledge based on the level of knowledge and interests of students; test programs - used to verify or evaluate the acquired knowledge, skills and abilities; exercisers - serve to repeat and consolidate previously mastered educational material; programs that form a virtual learning environment with the participation of a teacher.

CONCLUSION

In conclusion, in our century, when the role of digital technologies in teaching theoretical physics is constantly developing as a result of scientific and technological progress, we need to create innovations. In this regard, there is a need to significantly increase the level of the educational process, in teaching young people the science of digital technologies, it is aimed at ensuring that students master the basics of science, forming in them such qualities as faith in their profession, diligence, moral purity, love for our Motherland and education in the spirit of a perfect person who is ready to contribute to its future, and at the same time convey to students the role of the subject in human life.

References

[1]. O.D.Raximov,O.M.Turg'unov,Q.O.Mustafayev,H.J.Ro'ziyev,Zamonaviyta'limtexnologiyalari.Toshkent.2012

[2]. B.R.Batirova Fizika-matematika jurnal Toshkent.2022(6) y 96-143 betlar

[3]. Маматкулов, Б. Х. (2020). Использование оборудования учебных мастерских при преподавании теоретической механики. Общество, (1), 81- 84.

[4]. Akhmedov, E. R. (2020). Interactive methods for improving students'motivation to study the basis of electrical engineering and electronics. Scientific Bulletin of Namangan State University, 2(8), 309-313.
[5]. Akhmedov, E. R. (2019). Use Of Interactive Electronic Educational Resources In Professional Training Of Students Of Vocational Education. European Journal of Research and Reflection in Educational Sciences, 12.

OLIY TA’LIM MUASSASALARIDA AMALIY SAN’ATNI O‘QITISHNING IJTIMOIY-IQTISODIY SAMARADORLIGI

A.A. Mamurov

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
abdusalommamurov6@gmail.com
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Mazkur maqolada oliy ta’lim muassasalarida amaliy san’atni o‘qitishning ijtimoiy-iqtisodiy samaradorligi ilmiy-pedagogik nuqtai nazardan tahlil qilinadi. Amaliy san’at fanlarining talabalarda kasbiy kompetensiyalarni shakllantirish, ijodiy va tanqidiy fikrlash ko‘nikmalarini rivojlantirish, mustaqil faoliyat yuritish hamda innovatsion g‘oyalarni amaliyotga tatbiq etishdagi ahamiyati yoritilgan. Shuningdek, amaliy san’at ta’limi orqali yosh avlodni milliy madaniy merosga hurmat ruhida tarbiyalash, xalq amaliy san’ati an’analarini asrab-avaylash va ularni zamonaviy talablarga mos ravishda rivojlantirish masalalari ko‘rib chiqilgan. Maqolada amaliy san’atning iqtisodiy jihatlari ham tahlil qilinib, talabalarning hunarmandchilik va dizayn faoliyati orqali qo‘shimcha daromad manbalarini yaratish, kichik biznes va tadbirkorlik faoliyatiga jalb etish imkoniyatlari ochib berilgan.*

Kalit so‘zlar: *amaliy san’at, oliy ta’lim, ijtimoiy samaradorlik, iqtisodiy samaradorlik, kompetensiya, kulolchilik, hunarmandchilik, kreativ iqtisodiyot, tadbirkorlik.*

Kirish

Mamlakatimizda ta’lim tizimini modernizatsiya qilish, milliy madaniy merosni asrab-avaylash va yoshlarning ijodiy salohiyatini rivojlantirish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Bu borada amaliy san’at ta’limi muhim ahamiyat kasb etadi. Amaliy san’at nafaqat estetik tarbiya vositasi, balki iqtisodiy jihatdan daromad manbai yaratish, hunarmandchilikni rivojlantirish va yoshlarning bandligini ta’minlashga xizmat qiluvchi soha sifatida ham e’tirof etilmoqda.

Oliy ta’lim muassasalarida amaliy san’at fanlarini o‘qitish talabalarning nazariy bilimlarini amaliy faoliyat bilan uyg‘unlashtirishga imkon beradi. Natijada bo‘lajak mutaxassislarning kasbiy mahorati, ijodiy fikrlashi va tadbirkorlik qobiliyatlari rivojlanadi. Shu sababli amaliy san’at ta’limining ijtimoiy-iqtisodiy samaradorligini o‘rganish dolzarb ilmiy masala hisoblanadi.

Tadqiqot metodologiyasi: Maqolani tayyorlash jarayonida ilmiy-pedagogik adabiyotlarni tahlil qilish, qiyosiy taqqoslash, kuzatish va umumlashtirish metodlaridan foydalanildi. Shuningdek, amaliy san’at ta’limi bo‘yicha mavjud ilmiy tadqiqotlar, normativ-huquqiy hujjatlar va oliy ta’lim amaliyoti o‘rganildi.

Natijalar va muhokama: Amaliy san’at ta’limining ijtimoiy samaradorligi. Amaliy san’atni o‘qitishning ijtimoiy samaradorligi avvalo shaxsning ma’naviy, estetik va madaniy rivojlanishida namoyon bo‘ladi. Talabalar milliy qadriyatlar, an’anaviy hunarmandchilik maktablari va xalq san’ati namunalarini o‘rganish orqali o‘z milliy o‘zligini chuqurroq anglaydilar.

Amaliy san’at mashg‘ulotlari yoshlarning ijodiy tafakkurini rivojlantirib, ularda mustaqil qaror qabul qilish, muammolarni hal etish va yangicha g‘oyalar yaratish ko‘nikmalarini shakllantiradi. Bu esa zamonaviy jamiyatda talab etilayotgan kreativ fikrlash kompetensiyalarining rivojlanishiga xizmat qiladi.

Shuningdek, amaliy san’at ta’limi yoshlar o‘rtasida mehnatsevarlik, sabr-toqat, mas’uliyat va kasbga hurmat kabi fazilatlarni shakllantiradi. Ayniqsa, kulolchilik, yog‘och o‘ymakorligi, kashtachilik va zargarlik kabi yo‘nalishlarda olib boriladigan amaliy mashg‘ulotlar talabalarning mehnat madaniyatini rivojlantirishga ijobiy ta’sir ko‘rsatadi.

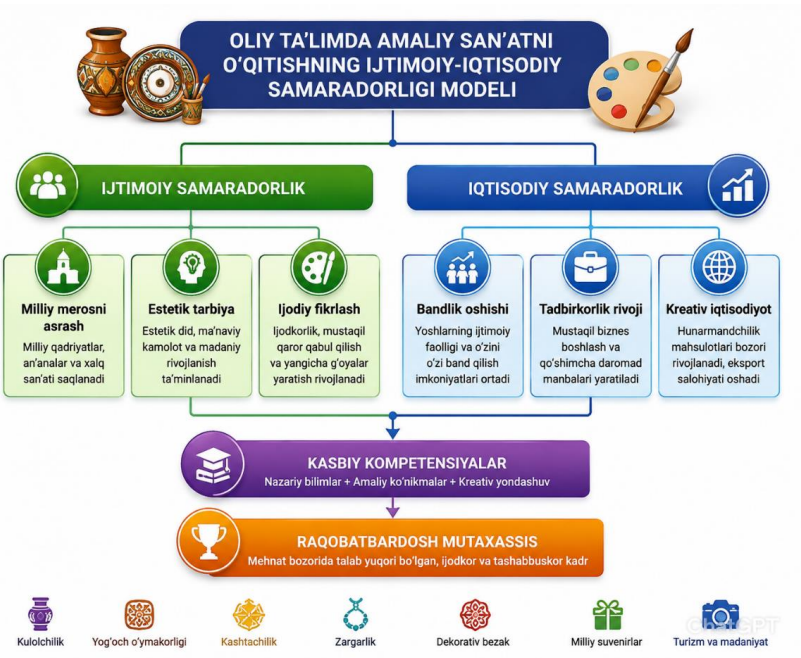
Amaliy san’at ta’limining iqtisodiy samaradorligi: Bugungi kunda kreativ iqtisodiyot jahon iqtisodiyotining muhim tarkibiy qismiga aylanib bormoqda. Amaliy san’at ham kreativ iqtisodiyotning asosiy yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Oliy ta’lim muassasalarida amaliy san’at fanlarini o‘qitish orqali talabalar nafaqat pedagogik faoliyatga, balki mustaqil tadbirkorlik faoliyatiga ham tayyorlanadi.

Talabalar tomonidan yaratilgan kulolchilik buyumlari, dekorativ bezaklar, milliy suvenirlar va boshqa amaliy mahsulotlar bozor talabiga ega bo‘lib, qo‘shimcha daromad manbai yaratishi mumkin. Bu esa yoshlarning iqtisodiy faolligini oshirish va o‘zini o‘zi band qilish imkoniyatlarini kengaytiradi.

Bundan tashqari, amaliy san’atning rivojlanishi turizm sohasi bilan ham chambarchas bog‘liqdir. Milliy hunarmandchilik mahsulotlariga bo‘lgan talabning ortishi hududlarning iqtisodiy rivojlanishiga, yangi ish o‘rinlarining yaratilishiga va mahalliy budjet daromadlarining oshishiga xizmat qiladi.

Amaliy san’at ta’limining ijtimoiy-iqtisodiy samaradorlik ko‘rsatkichlari

Yo‘nalish	Ijtimoiy samaradorlik	Iqtisodiy samaradorlik
Shaxs rivojlanishi	Estetik did, ijodkorlik va ma’naviy kamolot shakllanadi	Kasbiy faoliyat uchun zarur ko‘nikmalar rivojlanadi
Milliy merosni asrash	Milliy qadriyatlar va an’analar saqlanadi	Hunarmandchilik mahsulotlari ishlab chiqarilishi ortadi
Bandlikni ta’minlash	Yoshlarning ijtimoiy faolligi oshadi	O‘zini o‘zi band qilish imkoniyati yaratiladi
Tadbirkorlik faoliyati	Mustaqil fikrlash va tashabbuskorlik rivojlanadi	Qo‘shimcha daromad manbalari shakllanadi
Turizm rivoji	Madaniy meros targ‘ib qilinadi	Mahalliy iqtisodiyot va eksport salohiyati oshadi



Kasbiy kompetensiyalarni shakllantirishdagi ahamiyati: Amaliy san’at fanlarini o‘qitish talabalarda kasbiy kompetensiyalarni shakllantirishning samarali vositasi hisoblanadi. Talabalar nazariy bilimlarni amaliy faoliyatda qo‘llash, loyiha yaratish, materiallar bilan ishlash va badiiy kompozitsiyalar tuzish bo‘yicha zarur ko‘nikmalarga ega bo‘ladilar.

Bo‘lajak tasviriy san’at o‘qituvchilari uchun amaliy san’at fanlari metodik tayyorgarlikning muhim qismi hisoblanadi. Ular kelgusida o‘quvchilarga amaliy san’at asoslarini o‘rgatish, to‘garaklar tashkil etish va ijodiy faoliyatni boshqarish kompetensiyalarini egallaydilar.

Samaradorlikni oshirish yo‘llari: Oliy ta’lim muassasalarida amaliy san’atni o‘qitish samaradorligini oshirish uchun quyidagi chora-tadbirlarni amalga oshirish maqsadga muvofiq:

- zamonaviy pedagogik texnologiyalarni joriy etish;
- raqamli ta’lim vositalaridan samarali foydalanish;
- amaliy mashg‘ulotlar ulushini oshirish;

- hunarmand ustalar bilan hamkorlikni kuchaytirish;
- talabalarni startap va biznes loyihalariga jalb etish;
- amaliy san’at mahsulotlarini elektron savdo platformalarida targ‘ib qilish.

Mazkur chora-tadbirlar amaliy san’at ta’limining ijtimoiy va iqtisodiy natijalarini yanada oshirishga xizmat qiladi.

Xulosa

Oliy ta’lim muassasalarida amaliy san’atni o‘qitish muhim ijtimoiy-iqtisodiy ahamiyatga ega. U talabalarning ma’naviy-estetik dunyoqarashini rivojlantirish, milliy madaniy merosni asrash, kasbiy kompetensiyalarni shakllantirish va tadbirkorlik faoliyatiga tayyorlashda samarali vosita hisoblanadi. Shu bilan birga, amaliy san’at ta’limi kreativ iqtisodiyotning rivojlanishi, yoshlar bandligini ta’minlash va hunarmandchilik sohasini qo‘llab-quvvatlashga xizmat qiladi. Kelgusida amaliy san’at ta’limini zamonaviy pedagogik va raqamli texnologiyalar asosida takomillashtirish uning samaradorligini yanada oshirish imkonini beradi.

Adabiyotlar

[1]. Mirziyoyev Sh.M. Yangi O‘zbekiston strategiyasi. – Toshkent: O‘zbekiston, 2021.
[2]. Bulatov S.S. O‘zbek xalq amaliy bezak san’ati. – Toshkent: Fan, 2010.
[3]. Hasanov R.H. Tasviriy san’at asoslari. – Toshkent: G‘afur G‘ulom nomidagi nashriyot, 2009.
[4]. Abdirasilov S.F. Tasviriy san’atni o‘qitish metodikasi. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2012.
[5]. Yuldashev J.G‘., Usmonov S.A. Pedagogik texnologiya asoslari. – Toshkent: O‘qituvchi, 2014.
[6]. Musurmonova O. Pedagogik kompetentlik va innovatsion faoliyat. – Toshkent: Fan, 2018.
[7]. Qodirov B.R. Hunarmandchilik va xalq amaliy san’ati. – Toshkent: Tafakkur, 2019.
[8]. UNESCO. Creative Economy Outlook. – Paris, 2022.
[9]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining ta’lim va madaniyat sohalarini rivojlantirishga oid farmon va qarorlari.
[10]. Karimov U.U. Kreativ iqtisodiyot va madaniy industriya rivojlanishi. – Toshkent, 2023.

JISMONIY MASHQLAR: MUNTAZAM JISMONIY MASHQLARNING 6TA FOYDASI

A.A. Yusupov

Farg‘ona davlat texnika univarsiteti
akmaljon.yusupov.@ferpi.uz
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Annotatsiya:maqolada jismoniy mashqlarning inson salomatligi va hayot sifatiga ko‘rsatadigan ijobiy ta’siri yoritilgan. Xususan muntazam jismoniy mashqlar yurak-qon tomir tizimini mustaxkamlashi, mushak va suyaklarni rivojlantirishi, ortiqcha vaznning oldini olishi, immunitetni ko‘tarishi,ruhiy holatni yaxshilashi haqida ma’lumot berilgan. Shuningdek sog‘lom turmush tarzini shakllantirishda jismoniy faollikning ahamiyati taxlil qilingan.*

Kalit so’zlar. *Jismoniy mashqlar, salomatlik, jismoniy faollik, sog‘lom turmush tarzi, yurak-qon tomiri tizimi, ruhiy salomatlik.*

Muntazam jismoniy mashqlar va jismoniy mashqlarning sog'liq uchun foydalarini e'tiborsiz qoldirish qiyin. Yoshi, jinsi yoki jismoniy qobiliyatidan qat'i nazar, har bir kishi jismoniy mashqlardan foyda ko'radi.

Jismoniy mashqlar insonlarni baxtliroq va sog'lomroq qilishga olib kelishi mumkin bo'lgan ushbu yetti usulni ko'rib chiqamiz. .

1. Jismoniy mashqlar vaznni nazorat qiladi

Jismoniy mashqlar ortiqcha vazn ortishining oldini olishga yoki vazn yo'qotishdan saqlanishga yordam beradi. Jismoniy mashqlar bilan shug'ullanilganda, kaloriyalar yoqiladi. Faoliyat qanchalik qizg'in bo'lsa, shuncha ko'p kaloriya yoqiladi.

Sport zaliga muntazam ravishda borish juda yaxshi, lekin har kuni mashq qilish uchun ko'p vaqt topa olmaslik mumkin. Har qanday miqdordagi faollik yo'qdan yaxshiroqdir. Jismoniy

mashqlarning afzalliklaridan foydalanish uchun kun davomida faolroq bo'lish kerak. Masalan, lift o'rniga zinapoyadan chiqish yoki uy ishlarini kuchaytirish. Muntazamlik muhim.

2. Jismoniy mashqlar sog'liq muammolari va kasalliklariga qarshi kurashadi

Yurak kasalliklari, yuqori qon bosimining oldini olishda yordam beradi. Hozirgi vazningiz qanday bo'lishidan qat'i nazar, faol bo'lish yuqori zichlikdagi lipoprotein (HDL) xolesterin, "yaxshi" xolesterin miqdorini oshiradi va nosog'lom triglitseridlarni kamaytiradi. Bu bir-ikki zarba qoning uzluksiz oqishini ta'minlaydi, bu esa yurak va qon tomirlari, ya'ni yurak-qon tomir kasalliklari xavfini kamaytiradi.

Muntazam jismoniy mashqlar ko'plab sog'liq muammolari va tashvishlarining oldini olishga yoki ularni boshqarishga yordam beradi, jumladan:

Insult.
Metabolik sindrom.
Yuqori qon bosimi.
2-toifa diabet.
Depressiya.
Xavotir.
Ko'p saraton turlari.
Artrit.
Yiqilish.

Bu shuningdek, kognitiv funktsiyani yaxshilashga yordam beradi va barcha sabablarga ko'ra o'lim xavfini kamaytirishga yordam beradi.

3. Jismoniy mashqlar kayfiyatni yaxshilaydi

Hissiy ko'tarilish, stressli kundan, keyin stressni kamaytirishda sport zalida mashq qilish yoki tez yurish yordam berishi mumkin. Jismoniy faollik miyadagi ko'plab kimyoviy moddalarni rag'batlantiradi, bu baxtliroq, xotirjamroq va kamroq xavotirli his qilishga yordam beradi.

Shuningdek, muntazam ravishda mashq qilish, tashqi ko'rinish va o'ziga bo'lgan ishonchni oshiradi.

4. Jismoniy mashqlar energiyani oshiradi

Oziq-ovqat xarid qilish yoki uy ishlari bilan bandlik muntazam jismoniy faollik mushaklarini kuchini oshirishi va chidamlilikni oshirishi mumkin.

Jismoniy mashqlar to'qimalarga kislorod va ozuqa moddalarini yuboradi va yurak-qon tomir tizimingiz samaraliroq ishlashiga yordam beradi. Yurak va o'pkani salomatligi yaxshilanganda, kundalik ishlarni bajarish uchun ko'proq energiyaga ega bo'ladi

5. Jismoniy mashqlar yaxshiroq uyquga yordam beradi

Uyquga ketishga qiynalayotgan insonlarga muntazam jismoniy faollik tezroq uxlab qolishga, yaxshiroq uxlashga va uyquni chuqurlashtirishga yordam beradi. Faqat yotish vaqtiga juda yaqin mashq qilmaslik kerak, aks holda uxlashga juda ko'p energiya sarflanishi mumkin.

6. Jismoniy mashqlar qiziqarli va ijtimoiy bo'lishi mumkin!

Jismoniy mashqlar va jismoniy faollik qiziqarli bo'lishi mumkin. Ular dam olish, ochiq havoda dam olish yoki shunchaki xursand qiladigan mashg'ulotlar bilan shug'ullanish imkoniyatini beradi.

Adabiyotlar

[1]. AskMayoExpert. Physical activity (adult). Mayo Clinic; 2021.
[2]. Physical Activity Guidelines for Americans. 2nd ed. U.S. Department of Health and Human Services. https://health.gov/our-work/physical-activity/current-guidelines. Accessed June 25, 2021.
[3]. Peterson DM. The benefits and risk of aerobic exercise. https://www.uptodate.com/contents/search. Accessed June 24, 2021.
[4]. Maseroli E, et al. Physical activity and female sexual dysfunction: A lot helps, but not too much. The Journal of Sexual Medicine. 2021; doi:10.1016/j.jsxm.2021.04.004.
[5]. Allen MS. Physical activity as an adjunct treatment for erectile dysfunction. Nature Reviews: Urology. 2019; doi:10.1038/s41585-019-0210-6.
[6]. Tips for starting physical activity. National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. https://www.niddk.nih.gov/health-information/weight-management/tips-get-active/tips-starting-physical-activity. Accessed June 25, 2021.
[7]. Medical review (expert opinion). Mayo Clinic. June 16, 2021.

YENGIL ATLETIKA. YADRO ULOQTIRISH TEXNIKASINI O'RGATISHNI ZAMONAVIY USULLARI

A.E. Eminov

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
E-mail:eminovanvar68@gmail.com
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Bu maqolada, yengil atletika sohasida yadro uloqtirish texnikasini o'rganishni zamonaviy usullarini ko'rib chiqamiz. Maqola, yengil atletikaning, muhim zamonaviy usullar – kompyuterizatsiya, sensormonitoring muhimligi va yadro uloqtirish texnikasining roli haqida tushuncha beradi. Keyinchalikda, biomehanika tahlili, virtual realiti, biomehanik modellash, tashqi qurilishlar, neuroplastika va ma'lumotlar tahlili kabi – to'g'risida gaplar paydo bo'ladi. Har bir usulning yengil atletika rivojlanishida o'ziga xos ahamiyati va afzalliklari ta'riflanadi.*

Kalit so‘z: *yengil atletika, zamonaviy, biomehanika, yadro, kuchlar, kompyuterizatsiya, sensormonitoring, usullar, tahlil, baholash,kuzatish, nazorat, monitoring, uloqtirish.*

Kirish. Yengil atletika sportning eng qadimiy va keng tarqalgan turlaridan biri bo‘lib, u insonning jismoniy imkoniyatlarini maksimal darajada namoyon etishga xizmat qiladi. Yadro uloqtirish esa kuch, tezlik va texnik mahoratni o‘zida mujassam etgan murakkab sport turi hisoblanadi. Zamonaviy sportda yuqori natijalarga erishish uchun faqat an’anaviy mashg‘ulotlar yetarli bo‘lmay, ilmiy asoslangan va texnologiyalarga tayangan yondashuvlar zarur bo‘lmoqda.Bugungi kunda sport mashg‘ulotlarida innovatsion texnologiyalarni qo‘llash orqali sportchilar harakatini chuqur tahlil qilish, individual yondashuvni kuchaytirish va mashg‘ulot samaradorligini oshirish imkoniyati mavjud. Shu sababli yadro uloqtirish texnikasini o‘rgatishda zamonaviy usullarni o‘rganish dolzarb masala hisoblanadi.

Asosiy qism. Yadro uloqtirish texnikasining ahamiyati. Yadro uloqtirish texnikasi sport natijasiga bevosita ta’sir etuvchi asosiy omillardan biridir. Texnikaning to‘g‘ri bajarilishi quyidagi jihatlarni ta’minlaydi:

- maksimal kuchni to‘g‘ri yo‘naltirish;
- tana muvozanatini saqlash;
- harakatlar ketma-ketligini optimal bajarish;
- energiyani samarali taqsimlash.

Texnik xatolar esa natijaning pasayishiga va jarohatlar xavfining oshishiga olib keladi.Yadro uloqtirishning yengil atletika uchun zamonaviy usullari juda muhimdir. Bu usullar sportchi va menejerlar uchun yadro kuchini oshirish, atletning qobiliyatlarini yaxshilash va sportchi tomonidan yarim orqali bajariladigan harakatlarini yaxshilash uchun yordam beradi. Quyidagi zamonaviy usullar, yengil atletikalarni yaxshilashda muhim ahamiyatga ega:

Komputerizatsiya va Sensormonitoring: Atletning harakatlarini, kuchini, tajribalarini va qulayliklarini nazorat qilish uchun kompyuter va sensorlar foydalanish.Kompyuterizatsiya va sensormonitoring yengil atletika uchun juda muhim bo'lgan zamonaviy usullardan biridir. Bu usul, atletning harakatlarini va faoliyatlarini avtomatik ravishda nazorat qilish uchun kompyuterlar, sensorlar va ma'lumotlar tizimlaridan foydalanishni o'z ichiga oladi. Quyidagi qismlarda bu usulning ahamiyatini ko'rib chiqamiz:

Harakatlar va kuchlar tahlili: Kompyuterlar va sensorlar atletning harakatlarini va kuchlarini aniq ravishda monitoring qilishga yordam beradi. Bu, atletning tekshirilishi, harakatlari ustida ishlash va ularga yo'naltirishda juda foydali bo'ladi. Harakatlar va kuchlar tahlili, yengil atletikaning asosiy qismlaridan biridir va atletlar va menejerlar uchun juda muhim ma'lumotlar ta'minlashda katta ahamiyatga ega. Bu tahlil, atletning harakatlarini va uning kuchlarini aniq ravishda o'rganishga va nazorat qilishga imkon beradi. Quyidagi qismlarda harakatlar va kuchlar tahlilining ahamiyatini ko'rib chiqamiz:

Atletning harakatlari ustida nazorat: Harakatlar va kuchlar tahlili, atletning harakatlarini avtomatik ravishda nazorat qiladi. Bu, atletlar uchun mo'ljallangan harakatlarini to'liq bajarishlarini ta'minlashga yordam beradi. Atletning harakatlari ustida nazorat, yengil atletika uchun juda muhim bir jarayondir. Bu nazorat, atletlar va menejerlar uchun atletning harakatlarini kuzatish, baholash va ularga yo'naltirishda muhim ma'lumotlar ta'minlash imkonini beradi. Quyidagi qismlarda atletning harakatlari ustida nazoratning ahamiyatini ko'rib chiqamiz:

Tekshirish va baholash: Harakatlar ustida nazorat, atletning bajarilgan harakatlarini tekshirish va baholashda yordam beradi. Bu, atletlar uchun harakatlarni to'g'ri bajarishda yordam beradi va ularga yangi qo'llab-quvvatlash vositalari keltirilishi mumkin.

Yengil atletika qoidalariga rioya: Harakatlar ustida nazorat, atletlar va menejerlar uchun yengi latletika qoidalariga rioya qilishda yordam beradi. Bu, atletlarga ozroq ishonch qilish va harakatlarni to'g'ri bajarishda ko'rsatuv beradi.

Kuzatish va monitoring: Harakatlar ustida nazorat, atletning harakatlarini va faoliyatlarini kuzatish va monitoring qilishga imkon beradi. Bu, atletlarning rivojlanishini kuzatish va ularga yo'naltirishda yordam beradi.

Risklar va xavf-havolalar: Atletning harakatlari ustida nazorat, yengilatletika jarayonlari orqali harakatlarning baholash va risklarni tushuntirishda muhim rol o'ynaydi. Bu, atletlar uchun yaralanganliklardan, ta'sirchan xavf-havolalardan va boshqa rivojlanishni ta'sir etuvchi omillardan ogohlantiradi.

Menejerlik qarorlarini olish: Harakatlar ustida nazorat, menejerlar uchun atletning rivojlanishini nazorat qilish va ularning faoliyatlarini o'zgartirish uchun kritik ma'lumotlar ta'minlashda juda muhimdir.

Harakatlar ustida nazorat, yengilatletika faoliyatining muhim bir qismidir va atletlar va menejerlar uchun atletning rivojlanishi va faoliyatlarini nazorat qilishda muhim bir vosita sifatida xizmat qiladi.

Kuchlar va kuch kuchayishlarini aniqlash: Bu tahlil, atletning tashqi va ichki kuchlarini nazorat qiladi va uni kuch kuchayishlarini aniqlashga yordam beradi. Bu, atletning qobiliyatlari va rivojlanishi haqida ma'lumot olishda muhimdir.

Tekshirish: Harakatlar va kuchlar tahlili, atletlar uchun harakatlari ustida tekshirish jarayonlarini osonlashtiradi. Bu, atletlar va menejerlar uchun qulaylik yaratadi va xatoliklarni aniqlash va to'g'ri qilish imkoniyatlarini oshiradi.

O'zlashtirilgan dasturlash: Harakatlar va kuchlar tahlili, atletning o'zlashtirilgan dasturlash va ilova qo'llab-quvvatlash jarayonlarida ham foydalaniladi. Bu, atletlar uchun maxsus dasturlar yaratishda yordam beradi va ularning harakatlarini kuchliroq qilishga yordam beradi.

Yaxshi yengil atletika uchun tavsiyalar: Bu tahlil, atletlarga yaxshi yengil atletika uchun tavsiyalar beradi. Masalan, harakatlarni to'g'ri bajarish, o'zlashtirishni oshirish va kuchni rivojlantirish uchun maslahatlar keltiriladi.

Harakatlar va kuchlar tahlili, yengil atletika faoliyatining barcha asosiy jihatlari uchun kritik ahamiyatga ega va atletlar va menejerlar uchun ma'lumotlarni olish va harakatlarini nazorat qilishda muhim bir vosita sifatida xizmat qiladi.

Harakatlar va tekshirish avtomatlashtirish: protsesslarini Kompyuterlar va sensorlar avtomatik ravishda atletning harakatlarini nazorat qiladi va tekshirish jarayonlarini avtomatiklashtiradi. Bu, atletning o'z vaqtida ko'plab harakatlarini tekshirishni osonlashtiradi va menejerlar uchun ma'lumotlar to'plashni osonlashtiradi.

Tizimlarni nazorat qilish: Kompyuterizatsiya va sensor monitoring tizimlari yengil atletikaning boshqaruvini osonlashtiradi. Bu-tizimlar menejerlarga atletning holatiga duch kelish va qaror qabul qilishda yordam beradi. Ma'lumotlarni tahlil qilish: Komyuterlar va sensorlar orqali olingan ma'lumotlar, atletning faoliyatlarini tahlil qilishda foydali bo'ladi. Bu ma'lumotlar atletning o'zining kuchini, ko'rsatkichlarini va rivojlanishini tushunishga yordam beradi.

Xulosa. Yadro uloqtirish texnikasini o‘rgatishda zamonaviy usullarni qo‘llash sport natijalarini sezilarli darajada oshiradi. Kompyuterizatsiya, sensormonitoring, biomekanik tahlil, virtual realiti va boshqa innovatsion yondashuvlar sportchining texnik, jismoniy va psixologik tayyorgarligini kompleks rivojlantiradi.

Zamonaviy texnologiyalarni sport amaliyotiga keng joriy etish orqali:

- mashg‘ulot samaradorligi oshadi;
- texnik xatolar kamayadi;
- sportchining individual rivojlanishi ta’minlanadi.

Shu sababli, yengil atletika tizimida innovatsion yondashuvlardan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi.

Adabiyotlar

[1]. Karimov A.K. Yengil atletika nazariyasi va metodikasi. – Toshkent, 2020.
[2]. Matveyev L.P. Sport mashg‘ulotlari nazariyasi. – Moskva, 2018.
[3]. Zatsiorsky V.M. Biomechanics of Strength Training. – USA, 2019.
[4]. Bompa T. Periodization Training for Sports. – Human Kinetics, 2017.
[5]. McGinnis P. Biomechanics of Sport and Exercise. – USA, 2021.
[6]. O‘zbekiston Respublikasi Sport vazirligi materiallari, 2022.
[7]. Platonov V.N. Sport tayyorgarligi nazariyasi. – Kiev, 2015. 2020.

XV ASRNING BIRINCHI YARMIDAGI TEMURIYLAR DAVRI ARXITEKTURASI

X.X. Hasanboev, B.R. Toshpo‘latova

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
(Qabul qilindi 16.04.2026 y.)

Annotatsiya: *XV-asrning birinchi yarmidan Temuriylar va Mirzo Ulug‘bek davri yirik va ko‘rkam shaxarlar qurilishi davlatning asasiy vazifalaridan biri bo‘lgan. Amir Temur va uning vorislari saltanat shaharlarini rivojlantirishga va dunyoda ularning mavqelarini ko‘tarishga juda katta e’tibor berishgan. Temuriylar davrida asosiy arxitektura imoratlarini tashqi va ichki bezaklarsiz tasavvur qilish qiyin bo‘lgan. Bu davrda O‘rta Sharqda koshinkoriy bezaklar yuksak darajada rivojlangan. Temuriylar davrida rangli koshin bezaklarining turli xillari izlanilgan va yaratilgan.*

Kalit so‘zlar: *arxitektura, naqshinkor, o‘ymakor, minora, naqsh, xonaqoh, rasadxona, me’mor.*

Kirish: Barchamizga ma’lumki XIV asr oxiri - XV asrning 1-yarmida Amir Temur va Mirzo Ulug‘bek davri yirik va ko‘rkam shaharlar qurilishi davlatning asosiy vazifalariga kirgan. Amir Temur va uning vorislari saltanat shaharlarini rivojlantirishga va dunyoda ularning mavqelarini ko‘tarishga juda katta e’tibor berishgan. Temuriylar davrida Samarqand, Shahrisabz, Buxoro, Hirot va boshqa shaharlarning burj va darvozalari bo‘lib, mustahkam mudofaa devorlari bilan o‘ralgan. Shaharlar ark va hisordan iborat bo‘lib, uning markaziy qismi, ko‘chalar kesishgan joyda yopiq savdo inshootlari-chorsular bilan ajralgan. Juma masjidlari va shahar bozori markazni tashkil etgan, bosh madrasa oldidagi maydonlar esa shaharning ikkinchi markazini ifodalagan. Hunarmandchilik kasb-koriga ko‘ra aholining tabaqalariga bo‘linishi mahalla, daha singari shahar qismlarini keltirib chiqargan. Bosh ko‘chalar hunarmandchilik va savdo rastalaridan iborat bo‘lgan. Keng bo‘lmagan ko‘chalar maydon va hovuzlar bilan aholi yurish, to‘xtash joylarini tashkil etgan. Temuriylar davri shaharsozligida Buxoro, Hirot, Marv va Shahrisabz shaharlarining to‘g‘ri to‘rtburchak tarzda shakllanganligi O‘rta Osiyo ko‘p asrlik me’moriy an’analarining davom ettirilganligi natijasidir.

XV asrning 1-yarmida Samarqand, Buxoro va G‘ijduvonda ilmiy inshootlar arxitekturasi va ularning rivoji. Amir Temur qurdirgan ko‘p sonli saroylar, maqbaralar, islom va musulmonchilikka oid inshootlar sulolaviy xarakterga ega bo‘lsa, Mirzo Ulug‘bek ham shunga kamroq qamrovda itoat etgan holda ta‘lim-tarbiya va ilm-fan maskanlari qurilishiga urg‘u bergan. Chunki ular Mirzo Ulug‘bekning ilm-fanga bo‘lgan qiziqishiga to‘liq javob bergan. Bu yerlarda teologik fanlar bilan birga falsafa, matematika, falakiyotshunoslik va boshqa dunyoviy fanlar bo‘yicha ma‘ruzalar o‘qilgan. XV asrning 1-yarmida yuqori darajadagi ilm maskanlari-madrasalar va madrasayi-oliyalar

muhim ahamiyat kasb etgan. Jumladan, Mirzo Ulug‘bekning uch: Samarqand, Buxoro va G‘ijduvon madrasalari, shuningdek rasadxonasi o‘sha davrlarda me’morchilik san‘atining va ma‘naviyatning yuksak pog‘onaga ko‘tarilganligidan darak beradi. X asrda Narshaxiy tomonidan aytib o‘tilgan Forjak va XI asrda Samarqandda qurilgan Qoraxoniy Timg‘och Bog‘raxon madrasalari bizgacha yetib kelmaganligi bois temuriylargacha bo‘lgan madrasalarning qanday rivojlanganligi hozircha noma‘lum. Bugungi kungacha mavjud Mirzo Ulug‘bek madrasalarida to‘liq mukammal arxitekturaviy uslubni ko‘rishimiz mumkin. Undan keyingi davr qurilishlarida asosan Mirzo Ulug‘bek yaratgan arxitekturaviy shakllar qaytarilgan. Bu davr madrasalari ichki hovlili yopiq to‘rtburchak binodan iborat bo‘lib, atrofida talabalar yashaydigan hujralar, burchaklarida esa keng darsxonalar joylashgan.

Professor A.S.O‘rolov bu davr arxitekturasini quyidagicha ta‘riflaydi: “Mirzo Ulug‘bek o‘zining bunyodkorlik faoliyatini shaharsozlik, me’morchilik, bog‘-istirohatchiligi, qayta tiklash va ta‘mir ishlari, tasviriy san‘at va naqqoshlik kabi sohalarda keng ko‘lamda olib bordi. Shunisi muhimki, u bu ishlarni nafaqat poytaxt Samarqandda, balki Shahrisabz, Buxoro, G‘ijduvon, Yassa, Marv, Zangi ota kabi shaharlar va kasabalarda olib borib, ayni paytda el-yurt ma‘murchiligi va farovonligiga avj berdi. Samarqandda amalga oshirilgan bunyodkorlik ishlarining mavqei va unda qo‘lga kiritilgan yutuqlar bu yerda o‘ziga xos me’moriy maktab yaratilganligining dalilidir”. Ma’lumki, Mirzo Ulug‘bek tomonidan yaratilgan uch madrasaning hajmiy jihatdan bir-biriga o‘xshamasligi, ular o‘sha joy aholisi soni inobatga olingani holda qurilganidir. Shuningdek, madrasalarning hajmiga qarab ularning tuzilishi ham o‘zgargan. Bu uchala madrasa va madrasayi-oliyada peshtoq qismining sezilarli darajada rivojlanganligini, boyiganini ko‘ramiz. Shuningdek, peshtoqning juda bezakdorligi, kirish qismining ikki yonida auditoriya yoki masjid vazifasini o‘tovchi ikki katta gumbazli xonalar mavjudligi, murabba tarhli hovli, hovlini o‘rab turgan bir yoki ikki qavatli ravoqlar va ular ortida joylashgan hujralar asosiy uslubni belgilab bergan. Barcha uch madrasaning tarhlari simmetrik tarzda loyihalangan. Samarqanddagi Mirzo Ulug‘bek rasadxonasi - butun jahonga mashhur bo‘lgan o‘rta asrlar astronomiyasi va arxitekturasi yodgorligidir. O‘sha davrda Samarqand rasadxonasidek yirik, tuzilishi mukammal va murakkab inshootlar qurishga jazm qilmoq uchun nafaqat ilmi hay‘at va riyoziyot, balki muhandislik bilimlarini ham chuqur bilmoq kerak edi.

Tarixdan ma’lumki, Amir Temur va Mirzo Ulug‘bek davri (XIV asr oxiri - XV asrning 1-yarmi) da yirik va ko‘rkam shaharlar qurilishi davlatning asosiy vazifalariga kirgan. Temuriylar davrida Samarqand, Shahrisabz, Buxoro va boshqa shaharlarning burj va darvozalari bo‘lib, mustahkam mudofaa devorlari bilan o‘ralgan. Shaharlar ark va hisordan iborat bo‘lib, uning markaziy qismi, ko‘chalar kesishgan joyda yopiq savdo inshootlari – chorsular bilan ajralgan. Juma masjidlari va shahar bozori markazni tashkil etgan, bosh madrasa oldidagi maydonlar esa shaharning ikkinchi markazini ifodalagan. Hunarmandchilik kasb-koriga ko‘ra aholining tabaqalariga bo‘linishi mahalla, daha singari shahar qismlarini keltirib chiqargan. Bosh ko‘chalar hunarmandchilik va savdo rastalaridan iborat bo‘lgan. Keng bo‘lmagan ko‘chalar maydon va hovuzlar bilan aholi yurish, to‘xtash joylarini tashkil etgan.

Adabiyotlar

[1]. Пугаченкова Г.А. Зодчество Центральной Азии XV век. Ведущие тенденции и черты. -Т.: 1976

[2]. Ўролов А., Хожихонов М. Улуғбек яратган маънавият -Т.: 1994

[3]. Madaniy meros obyektlarini muhofaza qilish va ulardan foydalanish to‘g‘risidagi Qonuni//269-II 30.08.2001.,lex.uz

[4]. Nodirjon Ibragimovich Otaboyev, Abbosjon Sharofidin Ogli Qosimov, & Xudoyberdi Xasanboy Ogli Xoldorov (2022). Avtopoezd tormozlanish jarayonini o`rganish uchun avtopoezd turini tanlash. Scientific progress, 3 (5), 87-92.

МУАЛЛИФЛАР ДИҚҚАТИГА !

1. “Илмий – техника журнали” (“Научно – технический журнал”, “Scientific – Technical Journal”) саҳифаларида фундаментал ва техника фанлари соҳасида янги илмий натижаларга эга бўлган ва 50 % дан ортиқ қисми илгари эълон қилинмаган ўзбек, рус, инглиз тилларида тайёрланган мақола ва қисқа хабарлар қуйидаги бўлимлар бўйича чоп этилади: **физика-математика фанлари; механика; қурилиш; энергетика, электротехника; электрон қурилмалар ва ахборот технологиялари; кимёвий технология ва экология; ижтимоий-иқтисодий фанлар; қисқа хабарлар.**

2. Мақола стандарт А4 ўлчамдаги оқ қоғознинг бир томонида чапдан 30 мм, ўнгдан 15 мм, юқоридан ва пастдан 20 мм кенгликда жой қолдириб, **Times New Roman** шрифтида, **12 pt** ўлчамда, қаторлар ораси **бир оралиқ** билан ёзилади ва икки нусхада тақдим қилинади. Мақолалар ҳажми чизмаларсиз **саккиз саҳифа**дан, қисқа хабарлар эса **уч саҳифа**дан ошмаслиги ва иккинчи нусхасида барча муаллифлар фамилияси, исми ва шарифларини кўрсатиб имзо чекишлари лозим.

3. Мақолага қуйидагилар илова қилинади: иш бажарилган **ташкилот йўлланмаси;** ўзбекча, русча ва инглизча **аннотациялар** (бир хил мазмунда ва 5-6 қатордан ошмаслиги зарур), **таянч сўзлар, мақола номлари**; **эксперт хулосаси; муаллифлар тўғрисида маълумот** (иш жойи, лавозими, телефони, e-mail). Муаллифлар орасида фан доктори бўлмаган тақдирда, шу соҳа ихтисослиги бўйича **фан докторининг тавсияси** тақдим этилади.

4. Формулалар компьютерда Word формулалар муҳаррирининг Math Type версиясида ёзилади. Чизмалар ва диаграммалар стандарт қоидаларга риоя қилинган ҳолда 10×10 см дан катта бўлмаган ўлчамда тайёрланиши, ёзувлар имкони борича сонлар ёки ҳарфлар кўринишида берилиши ва улар мақола саҳифасида ёки чизмага иловада тушунтирилиши лозим. Мақолада чизмалар сони **4 та**гача, қисқа хабарларда эса **2 та**гача рухсат этилади.

5. Мурожаат қилинган адабиётлар рўйхати мақола охирида қуйидаги тартибда келтирилади: муаллифнинг фамилияси, исми, шарифи, китоб (журнал)нинг номи, нашриёт (китоблар учун) йили, журнал номери, саҳифа (журнал учун). Мақола саҳифаларида адабиётларга илова рақам билан тартибли равишда квадрат қавс ичида (масалан [7] кўринишида) берилади.

6. Мақолани тайёрлашга ўта синчковлик ва ўткир диққат билан ёндошиш тавсия этилади. У илмий ва грамматик жиҳатдан юқори даражада талабчанлик билан илмий мақола мақомида таҳрирланган бўлиши лозим: саёз мазмундаги, ғализ ва узундан-узоқ жумлаларни ишлатмаслик; мақоланинг илмий йўналишига, шу куннинг ечилмаган ва долзарб муаммоларига баҳо берилиши; ишнинг асосий мақсади, қўйиладиган масалалар ва уларни ечиш услублари, олинган янги илмий натижалар ва уларнинг таҳлили ҳамда аниқ хулосалар қатъий кетма-кетликда равон тилда баён қилиниши лозим.

7. Таҳририят зарурат бўлганда тақдим этилган мақола ва қисқа хабарларни таҳрир қилиш ҳуқуқига эга. Улар сўзсиз таҳририят аъзоларига ёки бошқа тегишли мутахассисларга тақризга берилади.

8. Агар мақола муаллифга қайта ишлаш учун қайтарилса, мақоланинг охирги кўриниши олинган кундан бошлаб мақола таҳририятга тушган ҳисобланади.

Журнални чоп этишда doc. MS Word 97 (2003) таҳририда ишловчи дастурлардан фойдаланилади.

Мақолаларини ўз вақтида чоп этилишини истаган муаллифлар таҳририятга ана шу дастурдан фойдаланган ҳолда компьютерда терилган электрон вариантини тақдим этишлари мақсадга мувофиқдир.

9. ***Журналнинг электрон вариантларини ФДТУ веб-сайти http://www.fstu.uz (faoliyat→ilmiy faoliyat→ilmiy jurnal) дан топиш мумкин.***

Кўрсатилган қоидалар асосида тайёрланмаган мақолалар таҳририят томонидан қабул қилинмайди.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ !

1. На страницах «Научно-технического журнала» публикуются статьи и краткие сообщения в области фундаментальных и технических наук, содержащие новые или более 50 % ранее не опубликованные научные результаты, на узбекском, русском или английском языках по следующим разделам: **фундаментальные науки; механика; строительство; энергетика, электротехника; электронные устройства и информационные технологии; химическая технология и экология; социально-экономические науки; краткие сообщения.**

2. Статья представляется в двух экземплярах на белой бумаге стандартного формата А4 с полями: слева 30 мм, вверху и внизу по 20 мм, справа 1,5 мм; шрифт Times New Roman 12 pt, междустрочное расстояние один интервал. Общий объем статьи не должен превышать восьми страниц, не считая рисунков, кратких сообщений же не более трёх страниц. Второй экземпляр статьи представляется с подписями всех авторов.

3. К статье прилагаются: **направление учреждения**, в котором выполнена работа; **экспертное заключение** (для авторов из Республики Узбекистан); на узбекском, русском и английском языках **аннотация** (из 5-6 строк одинакового содержания), **ключевые слова**, **название статьи**; **сведения об авторах** (место работы, должность, телефон, e-mail). В случае отсутствия среди авторов доктора наук представляется рекомендация доктора наук в области этой специальности.

4. Для написания формул в тексте необходимо пользоваться редактором Word Math Type. Формулы нумеруются в сквозном порядке. Для обозначения физических, математических и химических величин, включая индексы, применяются исключительно латинские и греческие буквы. Нельзя обозначать различные величины одной и той же буквой. Подготовленные рисунки и диаграммы должны соответствовать стандартным требованиям и не превышать размеры более чем 10х10 см, надписи, индексы или буквенные обозначения, желательно указать и пояснить на страницах статьи или в приложениях к рисункам.

5. Список литературы представляется в конце статьи в следующем порядке: Ф.И.О. авторов, название книги (журнала), год издания (для книг), номер журнала, страницы (для журналов). На страницах статьи ссылки на цитируемую литературу представляются в порядке упоминания арабской цифрой в квадратных скобках, например: [1].

6. Внимательно относитесь к стилю своей статьи, который должен отвечать требованиям высокой степени редактирования, как в отношении научности, так и грамматики. Избегайте длинных фраз поверхностного содержания. Для лучшего восприятия большой статьи читателями рекомендуется разбить текст на разделы: например, 1. Введение, 2. Методика эксперимента, 3. Экспериментальные результаты, 4. Заключение. Следует обязательно указать основную цель работы, постановку задач, актуальность и современность проблемы, методы и способы решения, полученные новые научные результаты и их анализ, а также конкретные выводы.

7. Представленные в редакцию статьи направляются для рецензирования членам редакции или другим соответствующим специалистам. Определяются, соответствует ли статья тематике журнала, есть ли в ней четко сформулированные новые научные результаты, достаточно ли надёжно обоснованы выводы, понятно ли изложен материал. При необходимости статья может быть отредактирована.

8. В случае возврата статьи авторам для доработки срок её поступления в редакцию, считается со дня поступления последнего её варианта.

При печати материалов журнала применяется текстовый редактор doc.MS Word 97 (2003). Для своевременного опубликования статьи, авторам необходимо представить электронный вариант статьи, набранный на компьютере с использованием указанной программы.

9. Электронные версии журнала доступны на веб-сайте ФГТУ http://www.fstu.uz (faoliyat→ilmiy faoliyat→ilmiy jurnal).

Статьи, не оформленные согласно вышеуказанным правилам, редакцией не принимаются.

INFORMATION TO THE AUTHORS !

1. On pages “Scientific – Technical Journal” are published articles and short messages in the field of the fundamental and technical science, containing new or more than 50% earlier not published scientific results, in Uzbek, Russian or English languages according to the following sections: fundamental sciences; mechanics; construction; power, electrical equipment; electronic devices and information technologies; chemical technology and ecology; social and economic sciences; short messages.

2. Article is submitted in duplicate on white paper of the standard A4 format with fields: at the left 30 mm, above and below on 20 mm, on the right 1,5 mm; Times New Roman 12 pt font, interlinear distance one interval. The total amount of article shouldn't exceed eight pages, apart from drawings, the short messages, no more than three pages. The second copy of article is submitted with signatures of all authors.

3. To article are applied: the direction of establishment in which work is performed; the expert opinion (for authors from the Republic of Uzbekistan); in Uzbek, Russian and English languages the summary (from 5-6 lines of the identical contents), key words, article name; data on authors (work place, position, phone, e-mail). In case of absence among authors of the doctor of science the recommendation of the doctor of science in the field of this specialty is submitted.

4. For writing of formulas in the text the Word Math Type editors need to use. Formulas are numbered in a through order. For designation of physical, mathematical and chemical quantities, including indexes, exclusively Latin and Greek letters are applied. It is impossible to designate various sizes the same letter the Prepared drawings and charts have to conform to standard requirements and not exceed the sizes more than 10x10 cm, inscriptions, indexes or alphabetic references, it is desirable to specify and explain on pages of article or in annexes to drawings.

5. The list of references is submitted at the end of article in the following order: First name, middle initial, last name authors, the name of the book (journal), year of the edition (for books), the issue of the journal, pages (for Journal). On pages of article of the link to quoted literature are represented as a mention in the Arab figure in square brackets, for example: [1].

6. Consider to the style of the article attentively which has to meet the requirements of high extent of editing as concerning scientific character, and grammar. Avoid long phrases of the superficial contents. For the best perception of big article readers recommend to break the text into sections: for example, 1. Introduction, 2. Experiment technique, 3. Experimental results, 4. Conclusion. It is necessary to specify surely a main objective of work, statement of tasks, relevance and the present of a problem, methods and ways of the decision, the received new scientific results and their analysis, and also concrete conclusions.

7. Articles presented to edition go for reviewing to members of edition or other corresponding experts. Are defined, whether there corresponds article to journal subject, whether there are accurately formulated according to new scientific results in it, whether it is enough reliably valid conclusions, whether the material is clearly stated. If necessary article can be edited.

8. In case of article return to authors for completion, the term of its receipt in edition, is considered from the date of receipt of its last option.

At the press of materials of the journal the text editor of doc.MS Word 97 (2003) is applied. For timely publication of article, authors need to present the electronic version of article gathered on the computer with use of the specified program.

9. The electronic version of the journal is available on the FSTU website, http://www.fstu.uz (faoliyat→ilmiy faoliyat→ilmiy jurnal).

Articles that are not prepared based on the specified rules will not be accepted by the editorial office.

ИЛМИЙ-ТЕХНИКА ЖУРНАЛИ
ТАҲРИРИЯТИ:

Масъул муҳаррир	Н.Х. Юлдашев
Мусаҳҳиҳ	А.Ш. Нигматуллина
Мусаҳҳиҳ	Д.Х. Мамажонова
Компьютерда саҳифаловчи	С.Э. Йўлдашева

Таҳририят манзили:
150107. Фарғона шаҳри, Фарғона кўчаси, 86 уй.
Телефон: 241-13-54.
Факс: 241-12-06.
Бизнинг сайт: http://www.fstu.uz
E-mail: jurnalfstu@mail.ru

Ўзбекистон Республикаси Президенти администрацияси ҳузуридаги
Ахборот ва оммавий коммуникациялар агентлиги томонидан
Оммавий ахборот воситаси сифатида давлат рўйхатидан ўтказилиб,
2020 йил 6 августда № 1081 рақамли гувоҳнома олинди.

Босишга рухсат этилди: 25.05.2026 й.
Бичими: А4. Гарнитура Times New Roman.
Босма табоғи:15,25. Адади 10 нусха. Буюртма № 3.
Баҳоси шартнома асосида.
УП «FDTU ALPHA PRINT» босмахонасида чоп этилди.
Фарғона шаҳар, Фарғона кўчаси 86 -уй.