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 № 8

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

Daliyev B.S. Abel integral tenglamasining telekommunikatsiya masalalariga tadbiqi 12
Латипова М.И. Bi_2Te_3–Sb_2Te_3 асосидаги термоэлектрик материалларнинг термоэлектрик хоссаларига кадмий (Cd) билан легирлаш ва тайёрлаш технологиясининг таъсирини тадқиқ этиш 15

МЕХАНИКА

Axunbayev A.A., Isomidinov A.S. Baraban aylanish chastotasining quritish jarayoniga ta’sirini parametriy-nazariy baholash 21
Калашников В.А. Ўзбекистон селекция уруғчилигида тухли пахта чигитини экиш аппарати параметрларини асослаш 24
Nizomov T.I. Paxtani xom ashyosini mayda iflosliklardan tozalashda yuqori samara beruvchi yangi konstruksiyali og‘ma qatorli qoziqli barabanning tahlili 29
Ulug‘xojayev R.S. Yangi texnalogik jarayonlarni tuzatishda diagnostika usullarini qo‘llash 33
Turg‘unov D.U., Sattorov N.M. Paxta g‘aramini buzish jarayonida ishchi qismlarning defarmatsiyalanuvchi jismlarga ta’siri nazariyasi 38
Oripov J.I., Valiyev G.N. Tabiiy ipak tanda iplarini ko‘p davrli deformatsiyaga chidamliligi tadqiqi 43
Mo‘minov M.R., Oripov J.I. Tola ajratish mashinalari kolosniklarining yedirilish darajasi va uning texnologik tirqishlariga ta’siri 47
Isomidinov A.S., Xasanova G.Sh. Chang konsentratsiyasining venturi–nasadkali skrubber ish rejimi va shlam hosil bo‘lishiga ta’siri 51
Soliyev X.X., Qosimov A.Sh. Shahar chorrahalarida transport oqimini sun’iy intellekt asosida adaptiv boshqarish modellari va algoritmlarini tahlil qilish 58
Шакиров Б.М., Сулаймонов О.Н., Абдухалилов О.А., Ўринов И.Ш., Нурматова М.Т. Суғориш насос станцияларининг иш режимини ошириш бўйича чора-тадбирларни ишлаб чиқиш 62
Xalimova Sh.R., Ergasheva Y.D. O’zbekiston hududida lyossimon gruntlarning kelib chiqishi 67
Ғайратов Ж.Ғ., Алойдинов М.Ғ., Джамолов Р.К. Таъминловчи барабаннинг тукли чигит оқимига таъсирини назарий таҳлили 70

ҚУРИЛИШ

Sattorov Z.M., Umirdinov I.O. Kompleks modifikatsiyalangan kimyoviy qo‘shimcha va sanoat chiqindisi asosida olinadigan yengil betonlarning fizik-mexanik xossalarini tadqiq qilish 76
Raxmanov B.K. Qurilishda ko'tarish moslamalariga ta'sir qiluvchi yuklar 84
Akbarov J.N. Ohak chiqindisining reologik xossalariga redispersible polymer powder kimyoviy qo‘shimchasining ta’siri 89
Murodilov X.T. Sug‘oriladigan qishloq xo’jaligi yerlari monitoringida sizot suvlari dinamikasini baholash: an’anaviy o’lchovlardan fazoviy raqamli modellargacha 94
Solijonov H.S., Sharipov I.Q. Plastik chiqindilar asosida polietilen tereftalat granula ishlab chiqarish texnologiyasida qo‘llaniladigan zamonaviy uskunalar 100
Nasriddinov X.Sh. Quruq issiq iqlim sharoitida suv purkash tizimi yordamida binolar mikroiqlimini yaxshilash va energiya samaradorligini oshirish 105
Mamatov V.Sh., Xoshimov S.N., Jetpisbaeva Sh.J. Ichimlik suvi tozalash inshootlarida radial tindirgichlarning ishlash tahlili 109
Umiriddinov I.O., Xoshimov S.N., Jetpisbaeva Sh.J. Radial tindirgichlarda oqiziq zarrachalarning cho‘kish jarayonini takomillashtirish tahlillari 114

МУНДАРИЖА

Abdukadirova M.A., Ergasheva M.M. Sug‘oriladigan yerlarning meliorativ holatini innovatsion texnologiyalar asosida agroekologik baholash 118

ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Xoliddinov I.X., Boxodirov I.A., Nabiyev Sh.M. Textil korxonasida energiya samaradorligini oshirishni solishtirma elektr energiya iste’moli asosida tahlil 123

Ibroximjonov A.B. Pelton turbina-generator tizimining energetik samaradorligini eksperimental tadqiq qilish 129

Mirzaliyev B.B., Axmedova X.N. Namlikni o‘lchash usullarining tahlili 133

Botiraliyev A.Ya., Xoliddinov I.X., To‘xtashev A.A., Maxammadjonov S.U. Elektr energetika tizimlarida achy ishga tushish xavfini yuklama prognozi asosida oldindan aniqlash 139

Abdullayeva M.A., Kamoldinov S.S. 0,4/6/10 kv li podstansiyalarda raqamli texnologiyalarni qo‘llash asosida samaradorlikni oshirish 149

Xoliddinov I.X., Oqmirzayev M.B., Latifjonov I.X. Energetik audit asosida energiya tejash texnologiyalarini joriy etish 153

Abdullayeva M.A., Ro‘ziboyev X.E. Sanoat korxonalarida energiya tejamkorligini ta’minlashda ventilyatsiya tizimlarining o‘rni 157

Abdullayeva M.A., Nabiyev Sh.M. Askue tizimlari asosida sanoat korxonalarida energiya samaradorligini oshirish va prognozlash 161

Urishev O.M., Sobirjonov I.S. Kamera asosida erta yong‘in aniqlashning algoritmlari 165

Mominov O.A., Maribjonov D.D., Mahammadjonov S.N. Qayta tiklanuvchi energiya manbalarining rivojlanishi va ularning milliy iqtisodiyotga ta’siri 171

ЭЛЕКТРОН ҚУРИЛМАЛАР ВА АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Охунов М.Х., Охунов Д.М. Рақамли иқтисодиётда корпоратив ахборот тизимларини кибер ҳужумлардан ҳимоя қилиш учун стенография технологиясидан фойдаланиш 176

Xasanjonov J.X. Abduraxmonov S.M. Zamonaviy avtomatlashtirilgan savdo shkafini loyihalash va ishlab chiqish 181

Tilavaldiev B.T., Umaraliyev N. Quyosh panellridan foydalanishda yuzaga keladigan nuqsonlarni aniqlash 187

Mamasodikova N.Yu., Tursunaliyeva G.X. Tibbiyotda reabilitatsiya jarayonida qo‘llash uchun mini ekzosklet 193

Rahmatullayev M.U., Abduraxmonov S.M. Qurilish materiallari ishlab chiqarishni avtomatlashtirishda suniy intelek va zamonaviy texnologiyalar 199

КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯ ВА ЭКОЛОГИЯ

Ибрагимов О.О., Домуладжанов И.Х., Домуладжанова Ш.И., Собиров С.А., Ибрагимов Б.И. Боғдорчиликда янги ислоҳотлар 205

Жонибоев С.А., Сайдалиев О.Т., Игамкулова Н.А., Менглиев Ш.Ш. Экспанзер газларини тозалашда маҳаллий хом ашёлар асосида олинган хемосорбентларнинг физик–кимёвий ва сорбцион хусусиятлари 212

Tojimamatova M.Y., Qosimov D.M. Vodorod ishlab chiqarishning asosiy usullari va global miqyosdagi joriy rivojlanish tendensiyalari 217

ИЖТИМОИЙ-ИҚТИСОДИЙ ФАНЛАР

Xamdamova S.O. Globallashuv sharoitida sun’iy intellekt va gender terminologiyasini o‘qitishning ahamiyati: muammolar, yechimlar va metodologiyalar 224

Zokirova Z.T. Zamonaviy ta’lim tizimida xorijiy til kompetensiyasini shakllantirishning metodologik asoslari 231

Rustamova M.M. To‘qimachilik korxonalarining iqtisodiy salohiyati asosida barqaror rivojlanishni shakllantirish va amalga oshirish mexanizmlari 236

Tashlanova N.Dj. Struktural va semantik o'xshashliklar va farqlar ranglar lug'ati sohasida 242

ҚИСҚА ХАБАРЛАР

Sultanov N.A., Nomanjonova D.B. SI(V) Dagi chuqur darajalar parametrlari 248

Mirzaxanov Yu.U. Tortish qurilmasi parametrlari va yassi temirli uzatmada qayishning siljishi paytida elastik elementlar bilan ta’sir tadqiq etish 251

Babaxanova X.A., Saodatov A.A., Ravshanzoda D.Ch. Tolali materiallarni qayta ishlashda silliqlash mashinalarining mustahkamlangan pichoq to'plamlarini ishlab chiqarish sinovlari 254

Tuychiyev I.I., Turg‘unov M.Z. Ikkilamchi tolali resurslar asosida samarador yigirilgan ip ishlab chiqarish texnologiyasi 257

Jumaniyazov Q., Djumabayev G‘.X., Matyaqubova J.B., Turg‘unov M.Z. Yigirish texnika va texnologiyasining takomillishtirilganlik holatining tahlili 259

Niyazaliyeva M.M. Xomashyodan samarali foydalanish bilan yangi tarkibdagi pishitilgan ipi ishlab ishlab chiqarish асортиментini kengaytirish 263

Ergashev S.F., Axmedova X.N. Maishiy foydalanish uchun fotoelektrik issiqlik qabul qilgichli (PV/T) quyosh parabolotsilindrik qurilmasi orqali issiqlik va elektr energiyasini kombinatsiyalangan holda olish 265

Ibrohimov J.M., Rasulova X.E. Korxonada ekologik boshqaruv tizimini baholash va ekologik xavflarni tahlil qilish (“GLOBAL TEXTIL” MCHJ misolida) 268

Mirzaliyev B.B. Sinxron dvigatellarni loyihalashda asosiy kattaliklarni hisoblashning soddalashtirilgan uslubiyoti 271

Nabiyev Sh.M., Boynazarov B.B. Energoaudit asosida issiqlik energiyasi iste’molini kamaytirishning nazariy asoslari 274

Nurdinova R.A., G‘aniyeva T.Z. Dorixona tashkilotlarida xizmat ko‘rsatish sifatini strategik boshqarishda servqual va kano modellarining joriy etish 277

Domuladjanov I.X., Teshaboyev A.M., Domuladjanova Sh.I. Elektr payvandlash ishlarini bajarishda xavfsizlik texnikasi 281

Шамсутдинова М.С., Шамсутдинова Л., Шамсутдинов Б.Ф. Chet tilini o‘rganishda motivatsiyani boshqarish 284

Abbasova N.B. Sun’iy intellekt tizimlarida matematik modellarning ahamiyati 287

Муаллифлар диққатига ! 290

СОДЕРЖАНИЕ

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ НАУКИ

Далиев Б.С. Применение интегрального уравнения абеля к задачам телекоммуникации 12
Латипова М.И. Исследование влияния легирования кадмием (Cd) и технологии изготовления на термоэлектрические свойства термоэлектрических материалов на основе Bi_2Te_3–Sb_2Te_3 15

МЕХАНИКА

Ахунбаев А.А., Исомидинов А.С. Параметрически-теоретическая оценка влияния частоты вращения барабана на процесс сушки 21
Калашников В.А. Обоснование параметров высевающего аппарата для опушенных семян хлопчатника в селекционном семеноводстве Узбекистана 24
Низомов Т.И. Анализ конструкции нового наклонного барабанного валика, который обеспечивает высокую эффективность очистки хлопкового сырья от мелких загрязнений ... 29
Улуходжаев Р.С. Применение методов диагностики при коррекции новых технологических процессов 33
Тургунов Д.У., Сатторов Н.М. Теория влияния рабочих частей на деформирующиеся тела в процессе разрушения хлопкоочистительной машины 38
Орипов Дж.И., Валиев Г.Н. Исследование стойкости натуральных шелковых нитей к многоцикловой деформации 43
Муминов М.Р., Орипов Я.И. Степень износа стержней волоконосепарационных машин и ее влияние на образование технологических трещин 47
Исомидинов А.С., Хасанова Г.Ш. Влияние концентрации пыли на режим работы скруббера с трубой Вентури и образование шлама 51
Солиев Х.Х., Косимов А.Ш. Анализ моделей и алгоритмов адаптивного управления транспортными потоками на основе искусственного интеллекта на городских перекрёстках 58
Шакиров Б.М., Сулаймонов О.Н., Абдухалилов О.А., Ўринов И.Ш., Нурматова М.Т. Разработка мероприятий по повышению режима работы оросительных насосных станций .. 62
Халимова Ш.Р., Ергашева Ё.Д. Происхождение лёссовидных грунтов на территории Узбекистана 67
Гайратов Ж.Г., Алойдинов М.Г., Джамолов Р.К. Теоретический анализ воздействия питающего барабана на поток опушённых семян хлопка 70

СТРОИТЕЛЬСТВО

Сатторов З.М., Умирдинов И.О. Исследование физическо-механических свойств легких бетонов полученных на основе комплексно- модифицированных химических добавок и промышленных отходов 76
Рахманов Б.К. Нагрузки воздействующие на грузозахватные приспособления в строительстве 84
Акбаров Ж.Н. Влияние химической добавки Redispersible Polymer Powder на реологические свойства отходов извести 89
Муродилов Х. Оценка динамики грунтовых вод при мониторинге орошаемых сельскохозяйственных земель: от традиционных измерений к пространственным цифровым моделям 94
Солижонов Х.С., Шарипов И.К. Современное оборудование, используемое в технологии производства полиэтиленовых терефталатных гранул на основе пластиковых отходов 100
Насриддинов Х.Ш. Улучшение микроклимата зданий и повышение энергоэффективности с помощью системы водопровода в условиях сухого жаркого климата 105
Маматов В.Ш., Хошимов С.Н., Жетписбаева Ш.Ж. Анализ работы радиальных отставителей на сооружениях очистки питьевой воды 109
Умириддинов И.О., Хошимов С.Н., Жетписбаева Ш.Ж. Анализы для улучшения процесса осединения частиц жидкости в радиальных разделениях 114

СОДЕРЖАНИЕ

Абдукадирова М.А., Эргашева М.М. Агроэкологическая оценка состояния восстановления орошаемых земель на основе инновационных технологий 118

ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Холиддинов И.Х., Боходиров И.А., Набиев Ш.М. Анализ повышения энергоэффективности на текстильном предприятии на основе удельного потребления электрической энергии 123

Иброхимжонов А.Б. Экспериментальное исследование энергетической эффективности системы турбина–генератор пелтона 129

Мирзалиев Б.Б., Ахмедова Х.Н. Анализ методов измерения влажности 133

Ботиралиев А.Я., Холиддинов И.Х., Тухташев А.А., Махаммаджонов С.Н. Прогнозирование риска отказа автоматической защиты от перегрузки по частоте в электроэнергетических системах на основе прогноза нагрузки 139

Абдуллаева М.А., Камолдинов С.С. Повышение эффективности подстанций 0,4/6/10 кВ на основе применения цифровых технологий 149

Холиддинов И.Х., Окмирзаев М.Б., Латифжонов И.Х. Внедрение энергосберегающих технологий на основе энергетического аудита 153

Абдуллаева М.А., Рузибоев Х.Э. Роль вентиляционных систем в обеспечении энергосбережения на промышленных предприятиях 157

Абдуллаева М.А., Набиев Ш.М. Повышение и прогнозирование энергоэффективности на промышленных предприятиях на основе систем АСКУЭ 161

Уришев О.М., Собиржонов И.С. Алгоритмы раннего обнаружения пожара на основе камер 165

Моминов О.А., Марибжонов Д.Д., Махаммаджонов С.Н. Развитие возобновляемых источников энергии и их влияние на национальную экономику 171

ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Охунов М.Х., Охунов Д.М. Использование технологии стенографии для защиты информационных систем предприятия от кибератак в условиях цифровой экономики 176

Хасанджонов Дж.Х., Абдурахмонов С.М. Проектирование и разработка современной автоматизированной торговой шкафы 181

Тилавалдиев Б.Т., Умаралиев Н. Определение дефектов возникающих при эксплуатации солнечных панелей 187

Мамасодикова Н.Ю., Турсуналиева Г.Х. Мини-экзоскелет для применения в процессе медицинской реабилитации 193

Рахматуллаев М.У., Абдурахмонов С.М. Искусственный интеллект и современные технологии в автоматизации производства строительных материалов 199

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

Ибрагимов О.О., Домуладжанов И.Х., Домуладжанова Ш.И., Собиров С.А., Ибрагимов Б.И. Новые начинания в садоводстве 205

Жонибоев С.А., Сайдалиев О.Т., Игамкулова Н.А., Менглиев Ш.Ш. Физико–химические и сорбционные свойства хемосорбентов, полученных на основе местного сырья, для очистки экспандерных газов 212

Тожимамтова М.Ё., Косимов Д.М. Основные методы производства водорода и текущие тенденции развития в глобальном масштабе 217

СОЦИАЛЬНО - ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Хамдамова С.О. Важность искусственного интеллекта и преподавания гендерной терминологии в условиях глобализации: вызовы, решения и методологии 224

Зокирова З.Т. Методологические основы формирования иноязычной компетенции в системе современного образования 231

Рустамова М.М. Механизмы формирования и реализации устойчивого развития текстильных предприятий на основе их экономического потенциала 236

Ташланова Н.Д. Структурно-семантические сходства и различия в области цветовой лексики 242

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Султанов Н.А., Номанжонова Д.Б. Параметры глубоких уровней в S I (V) 248
Мирзаханов Ю.У. Исследование параметров натяжного устройства и влияния с упругими элементами при сходе ремня в плоскоременной передаче 251
Бабаханова Х.А., Саодатов А.А., Равшанзода Д.Ч. Производственные испытания упрочненной ножевой гарнитуры размалывающих машин при обработке волокнистых материалов 254
Туйчиев И.И., Тургунов М.З. Технология производства высокоэффективной пряжи на основе вторичных волокон 257
Джуманиязов К., Джумабаев Г.Х., Матякубова Ж.Б., Тургунов М.З. Анализ усовершенствованного состояния техники и технологии прядения 259
Ниязалиева М.М. Расширение ассортимента продукции эффективным использованием сырья за счет производства крученной нитей новыми составами 263
Эргашев С.Ф., Ахмедова Х.Н. Солнечная параболоцилиндрическая установка бытового назначения с фотоэлектрическим теплоприемником (PV/T) для комбинированного получение тепловой и электрической энергии 265
Ибрхимов Ж.М., Расулова Х.Э. Оценка системы экологического менеджмента и анализ экологических рисков на предприятии (На примере ООО «GLOBAL TEXTIL») 268
Мирзалиев Б.Б. Упрощённый метод расчёта основных параметров при проектировании синхронных двигателей 271
Набиев Ш.М., Бойназаров Б.Б. Теоретические основы снижения потребления тепловой энергии на основе энергоаудита 274
Нурдинова Р.А., Ганиева Т.З. Внедрение моделей servqual и kano в стратегическом управлении качеством обслуживания в аптечных организациях 277
Домуладжанов И.Х., Тешабоев А.М., Домуладжанова Ш.И. Техника безопасности при проведении электросварочных работ 281
Шамсутдинова М.С., Шамсутдинова Л., Шамсутдинов Б.Ф. Управление мотивацией при изучении иностранного языка 284
Аббасова Н.Б. Значение математических моделей в системах искусственного интеллекта 287
К сведению авторов ! 291

CONTENTS

FUNDAMENTAL SCIENCES

Daliev B.S. Application of the abel integral equation to telecommunication problems 12
Latipova M.I. Investigation of the influence of cadmium (Cd) doping and fabrication technology on the thermoelectric properties of Bi_2Te_3–Sb_2Te_3 based thermoelectric materials 15

MECHANICS

Akhunbaev A.A., Isomidinov A.S. Parametric-theoretical assessment of the effect of drum rotational speed on the drying process 21
Kalashnikov V.A. Justification of the parameters of a seeding apparatus for fuzzy cotton seeds in breeding seed production of Uzbekistan 24
Nizomov T.I. Analysis of a new design of a drum with a curved row of pins, which is highly effective in cleaning cotton raw materials from small impurities 29
Ulukhodjaev R.S. The use of diagnostic methods in the correction of new technological processes 33
Turgunov D.U., Sattorov N.M. Theory of the influence of working parts on deforming bodies in the process of breaking cotton gin 38
Oripov J.I., Valiyev G.N. Study of the resistance of natural silk threads to multi-cycle deformation 43
Muminov M.R., Oripov J.I. The degree of wear of the bars of fiber separation machines and its influence on technological cracks 47
Isomidinov A.S., Khasanova G.Sh. Influence of dust concentration on the operating mode of a venturi-nozzle scrubber and sludge formation 51
Soliyev X.X., Qosimov A.Sh. Analysis of artificial intelligence-based adaptive traffic management models and algorithms at urban intersections 58
Shakirov B.M., Sulaymonov O.N., Abdukhalilov O.A., Urynov I.Sh., Nurmatova M.T. Development of measures to improve the operating режим of irrigation pumping stations 62
Xalimova Sh.R., Ergasheva Y.D. Origin of loess-like soils in Uzbekistan 67
G‘ayratov J.G‘., Aloyidinov M.G‘., Djamolov R.K. Theoretical analysis of the effect of the feeding drum on the flow of fuzzy cotton seeds 70

BUILDING

Sattorov Z.M., Umirdinov I.O. Study of physical and mechanical properties of lightweight concrete obtained based on complex-modified chemical additives and industrial waste 76
Rakhmanov B.K. Loads affecting loads on load-handling devices in construction 84
Akbarov J.N. Effect of Redispersible Polymer Powder chemical additive on the rheological properties of lime waste 89
Murodilov Kh.T. Assessing groundwater dynamics in the monitoring of irrigated agricultural lands: from traditional measurements to spatial digital models 94
Solijonov H.S., Sharipov I.Q. Modern equipment used in the production technology of polyethylene terephthalate granules based on plastic waste 100
Nasriddinov X.Sh. Improving the microclimate of buildings and increasing energy efficiency using water punction systems in arid hot climate conditions 105
Mamatov V.Sh., Khoshimov S.N., Zhetpisbaeva Sh.J. Analysis of the operation of radial distincers in drinkwater purification structures 109
Umiriddinov I.O., Khoshimov S.N., Zhetpisbaeva Sh.J. Analyses to improve the sediment process of fluid particles in radial detends 114

CONTENTS

Abdukadirova M.A., Ergasheva M.M. Agroecological assessment of the reclamation state of irrigated lands based on innovative technologies 118

ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING

Xoliddinov I.X., Boxodirov I.A., Nabiyev Sh.M. Analysis of improving energy efficiency in a textile enterprise based on specific electricity consumption 123

Ibrokhimjonov A.B. Experimental investigation of the energy efficiency of a pelton turbine-generator system 129

Mirzaliyev B.B., Akhmedova Kh.N. Analysis of humidity measurement methods 133

Botiraliyev A.Ya., Xoliddinov I.X., Tukhtashev A.A., Maxammadjonov S.N. Prediction of the risk of failure of automatic frequency unloading protection in electric power systems based on load forecast 139

Abdullayeva M.A., Kamoldinov S.S. Enhancing the efficiency of 0.4/6/10 kV substations based on the application of digital technologies 149

Kholiddinov I.Kh., Oqmirzayev M.B., Latifjonov I.Kh. Implementation of energy-saving technologies based on energy audit 153

Abdullayeva M.A., Ro‘ziboyev X.E. The role of ventilation systems in ensuring energy efficiency at industrial enterprises 157

Abdullayeva M.A., Nabiyev Sh.M. Improving and forecasting energy efficiency in industrial enterprises based on askue systems 161

Urishev O.M., SobirjonovI.S. Camera-based early fire detection algorithms 165

Mominov O.A., Maribjonov D.D., Makhammadjonov S.N. Development of renewable energy sources and their impact on the national economy 171

ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES

Okhunov M.H., Okhunov D.M. Using shorthand technology to protect enterprise information systems from cyber attacks in the digital economy 176

Xasanjonov J.Kh., Abdurakhmonov S.M. Design and development of a modern automated sales cabinet 181

Tilavaldiev B.T., Umaraliyev N. Determination of defects arising during the operation of solar panels 187

Mamasodikova N.Yu., Tursunaliyeva G.X. A Mini Exoskeleton for Medical Rehabilitation ... 193

Rahmatullayev M.U., Abdurakhmonov S.M. Artificial intelligence and modern technologies in the automation of construction materials production 199

CHEMICAL TECHNOLOGY AND ECOLOGY

Ibragimov O.O., Domuladjanov I.Kh., Domuladjanova Sh.I., Sobirov S.A., Ibragimov B.I. New reforms in horticulture 205

Joniboev S.A., Saydaliyev O.T., Igamkulova N.A., Mengliyev Sh.Sh. Physicochemical and sorption characteristics of chemisorbents derived from local raw materials for the purification of expander gas streams 212

Tojimamatova M.Y., Qosimov D.M. Main methods of hydrogen production and current global development trends 217

SOCIAL AND ECONOMIC SCIENCES

Khamdamova S.O. The importance of artificial intelligence and teaching gender terminology in conditions of globalization: challenges, solutions and methodologies 224

Zokirova Z.T. Methodological foundations of foreign language competence formation in the modern education system 231

Rustamova M.M. Mechanisms for forming and implementing sustainable development of textile enterprises based on their economic potential 236

Tashlanova N.D. Structural and semantic similarities and differences in the field of color vocabulary 242

SHORT MESSAGES

Sultanov N.A., Nomanjonova D.B. Parameters of deep levels in SI(V) 248
Mirzaxanov Yu.U. Study of the influence of the parameters of a tensioning device with elastic elements 251
Babakhanova Kh.A., Saodatov A.A., Ravshanzoda D.Ch. Production tests of reinforced knife sets of grinding machines in the processing of fibrous materials 254
Tuychiyev I.I., Turgunov M.Z. Technology of production of efficient spun yarn based on secondary fiber resources 257
Jumaniyazov Q., Djumabayev G‘.X., Matyaqubova J.B., Turg‘unov M.Z. Analysis of the improved state of spinning techniques and technologies 259
Niyazalieva M.M. Expanding the product range through the efficient use of raw materials by producing twisted yarns with new compositions 263
Ergashev S.F., Akhmedova Kh.N. Solar parabolic trough system for domestic use with a photovoltaic-thermal (PV/T) receiver for combined heat and power generation 265
Ibrohimov J.M., Rasulova X.E. Assessment of the environmental management system and analysis of environmental risks at the enterprise (Based on the example of “GLOBAL TEXTIL” LLC) 268
Mirzaliyev B.B. Simplified method of calculating basic parameters in designing synchronous motors 271
Nabiyev Sh.M., Boynazarov B.B. Theoretical foundations of reducing thermal energy consumption based on energy audit 274
Nurdinova R.A., Ganieva T.Z. Implementation of servqual and kano models in strategic management of service quality in pharmacy organizations 277
Domuladjanov I.Kh., Teshaboev A.M., Domuladjanova Sh.I. Safety precautions for electric welding operations 281
Shamsutdynova M.S. Shamsutdynova-Lebedyuk T. Shamsutdinov B.F. Motivation management in foreign language learning 284
Abbasova N.B. The importance of mathematical models in artificial intelligence systems .. 287
Information to the authors ! 292

УДК 519.642.7

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ АБЕЛЯ К ЗАДАЧАМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Б.С. Далиев

Ферганский государственный технический университет
Автор для корреспонденции, e-mail: bahtiyorjon@inbox.ru
(Получена 06.04.2026 г.)

Аннотация. *В данной статье рассматриваются возможности применения интегрального уравнения Абеля в задачах телекоммуникации и обработки сигналов. Исследуются математические основы интегрального уравнения Абеля, методы его решения и практическое использование при восстановлении сигналов, обработке данных и моделировании процессов передачи информации. Особое внимание уделяется задачам восстановления искажённых сигналов, фильтрации шумов и анализу каналов связи.*

Ключивые слова*: Интегральное уравнение Абеля, телекоммуникации, обработка сигналов, интегральные уравнения, восстановление сигнала, математическое моделирование.*

Annotatsiya. *Ushbu maqolada Abel integral tenglamasining telekommunikatsiya va signallarni qayta ishlashda qo'llanilishi mumkin bo'lgan imkoniyatlari ko'rib chiqiladi. Unda Abel integral tenglamasining matematik asoslari, uni yechish usullari va signallarni tiklash, ma'lumotlarni qayta ishlash va axborot uzatish jarayonlarini modellashtirishda amaliy qo'llanilishi o'rganiladi. Buzilgan signallarni tiklash, shovqinlarni filtrlash va aloqa kanallarini tahlil qilish muammolariga alohida e'tibor qaratilgan.*

Tayanch so‘zlar: *Abel integral tenglamasi, telekommunikatsiya, signallarni qayta ishlash, integral tenglamalar, signallarni tiklash, matematik modellashtirish.*

Abstract. *This article examines the potential applications of the Abel integral equation in telecommunications and signal processing. It explores the mathematical foundations of the Abel integral equation, its solution methods, and its practical application in signal recovery, data processing, and modeling of information transmission processes. Particular attention is given to the problems of restoring distorted signals, filtering noise, and analyzing communication channels.*

Keywords: *Abel integral equation, telecommunications, signal processing, integral equations, signal recovery, mathematical modeling.*

1. Введение. Современные телекоммуникационные системы требуют эффективных методов обработки и восстановления информации. При передаче сигналов по каналам связи возникают различные помехи, искажения и потери данных. Для описания подобных процессов широко применяются интегральные уравнения, позволяющие строить математические модели распространения и преобразования сигналов.

Одним из важных типов интегральных уравнений является уравнение Абеля, которое впервые было исследовано норвежским математиком Нильс Хенрик Абель. Данное уравнение активно используется в задачах математической физики, теории сигналов, радиолокации, оптики и телекоммуникации.

Классическое интегральное уравнение Абеля первого рода имеет вид:

$$\int_0^x \frac{\varphi(t)\,dt}{(x-t)^{\alpha}} = f(x), \tag{1}$$

где $0<\alpha<1$, называется уравнением Абеля. Уравнения (1) рассматривается на конечном отрезке $[0,\ 1]$.

Уравнение (1) решается следующим образом. Подменяя в (1) x на t, умножая обе части равенства (1) на $(x-t)^{\alpha-1}$ и проинтегрировав, получим

$$\int_0^x \frac{dt}{(x-t)^{1-\alpha}} \int_0^t \frac{\varphi(s)\,ds}{(t-s)^{\alpha}} = \int_0^x \frac{f(t)\,dt}{(x-t)^{1-\alpha}}. \tag{2}$$

Пользуясь частным случаем известной теоремы Фубини, т. е. равенством так называемой формулой Дирихле [1-4], в левой части равенство (2) получим

$$\int_0^x \frac{dt}{(x-t)^{1-\alpha}} \int_0^t \frac{\varphi(s)\,ds}{(t-s)^{\alpha}} = \int_0^x \varphi(s)\,ds \int_s^x \frac{dt}{(x-t)^{1-\alpha}(t-s)^{\alpha}} \tag{3}$$

Заменой $t = s + \tau(x-s)$ внутренней интеграл в правой части (3) приводим к виду

$$\int_s^x \frac{dt}{(x-t)^{1-\alpha}(t-s)^{\alpha}} = \int_0^1 \frac{d\tau}{\tau^{\alpha}(1-\tau)^{1-\alpha}}. \tag{4}$$

Видно, что правая часть (4) является Бета функцией Эйлера

$$\int_0^1 \frac{d\tau}{\tau^{\alpha}(1-\tau)^{1-\alpha}} = B(\alpha,\ 1-\alpha) = \frac{\pi}{\sin\alpha\pi}. \tag{5}$$

Тогда в силу (2), (3), (4) и (5) имеем

$$\int_0^x \varphi(s)\,ds = \frac{\sin\alpha\pi}{\pi} \int_0^x \frac{f(t)\,dt}{(x-t)^{1-\alpha}}. \tag{6}$$

Отсюда дифференцируя обе части (6), находим неизвестную функцию

$$\varphi(x) = \frac{\sin\alpha\pi}{\pi} \frac{d}{dx} \int_0^x \frac{f(t)dt}{(x-t)^{1-\alpha}} \tag{7}$$

Таким образом если уравнение (1) имеет решение, то это решение необходимо имеет вид (7) и, следовательно единственное. Следует отметить, что интеграл в правой части (6) называется интегралами дробного порядка α, а правая часть (7) называется дробной производной порядка α. Решение интегрального уравнение Абеля (1) можно написать и в другой форме. Для этого функцию $f(t)$ напишем в виде

$$f(t) = f(0) + \int_0^t f'(s)ds \tag{8}$$

Подставляя в (7) вместо $f(t)$ выражение (8) после некоторых упрощений, окончательно получаем

$$\varphi(x) = \frac{\sin\alpha\pi}{\pi} \left[\frac{f(0)}{x^{1-\alpha}} + \int_0^t \frac{f'(s)ds}{(t-s)^{1-\alpha}} \right] \tag{9}$$

Выражение (9) является аналитическим решением интегрального уравнения Абеля (1). В следующих разделах мы будем заниматься приближенным вычислением интеграла (9) и тем самим получаем приближенное аналитическое решение интегрального уравнения Абеля. Уравнение Абеля относится к сингулярным интегральным уравнениям, поскольку его ядро становится бесконечным при $t \to x$.

Если $\alpha = \frac{1}{2}$, тогда решение данного уравнения определяется формулой:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\pi} \frac{d}{dx} \int_0^x \frac{f(t)}{\sqrt{x-t}} dt.$$

Эта формула играет важную роль при восстановлении неизвестных сигналов в системах передачи данных.

В телекоммуникационных системах информация передаётся в виде электрических, оптических или радиоволн. Во время передачи сигнал подвергается затуханию, шумовым воздействиям, временным задержкам, интерференции и искажению спектра.

Для математического описания таких процессов используются интегральные модели. В частности, интегральное уравнение Абеля позволяет описывать процессы накопления и преобразования сигналов во времени. Например, сигнал на выходе канала связи может быть представлен как свёртка исходного сигнала и функции отклика канала:

$$y(t)=\int_0^t K(t-\tau)x(\tau)d\tau,$$

где $x(\tau)$ - входной сигнал, $K(t-\tau)$ - характеристика канала, $y(t)$ - выходной сигнал. При выборе специального ядра задача сводится к уравнению Абеля.

Во многих телекоммуникационных системах требуется восстановить исходный сигнал по данным, полученным после прохождения через канал связи. Если канал вызывает интегральное преобразование типа Абеля, задача восстановления сводится к решению обратной задачи.

Пусть принятый сигнал задаётся выражением:

$$r(t)=\int_0^t \frac{s(\tau)}{\sqrt{t-\tau}}d\tau+n(t),$$

где $s(\tau)$ — исходный сигнал, $n(t)$ — шум, $r(t)$ — наблюдаемый сигнал.

Тогда задача восстановления сигнала заключается в нахождении функции $s(t)$.

Интегральные модели используются при построении алгоритмов фильтрации шумов в цифровой связи. Уравнение Абеля помогает учитывать накопительный эффект шумовых процессов и разрабатывать методы регуляризации.

Основном на практике применяются метод Тихонова, квадратурные методы, оптимальные алгоритмы восстановления [5-8].

В волоконно-оптических системах интегральные преобразования используются для анализа распределения световых импульсов. Уравнение Абеля применяется при реконструкции профиля светового пучка, анализе интенсивности сигнала, обработке лазерных импульсов и диагностике оптоволоконных линий.

2. Численные методы решения. Для практического применения уравнения Абеля в телекоммуникациях аналитические решения часто оказываются недостаточными. Поэтому используются численные методы.

Рассмотрим квадратурную формулу

$$\int_0^t \frac{\varphi(\mathrm{x})\,\mathrm{dx}}{(\mathrm{t}-\mathrm{x})^{1-\alpha}} \cong \sum_{\beta=0}^{N} C[\beta]\varphi(\mathrm{h}\,\beta) \tag{10}$$

и соответственно ее функционал погрешности

$$\ell(\mathrm{x})=\varepsilon_{[0,t]}(\mathrm{x})(\mathrm{t}-\mathrm{x})^{\alpha-1}-\sum_{\beta=0}^{N} C[\beta]\delta(\mathrm{x}-\mathrm{h}\,\beta) \tag{11}$$

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 $h\beta\notin[0,t]$, $0<\alpha<1$.

Пространство Соболева $\mathrm{L}_2^{(\mathrm{m})}(0,\mathrm{t})$ - гильбертово пространство классов вещественных функций $\varphi(\mathrm{x})$, отличающихся друг от друга на полином степени $m-1$, квадратично интегрируемыми с производными (в смысле обобщенных функций) порядка m в интервале $(0,\mathrm{t})$ и скалярным произведением

$$\langle\varphi,\mathrm{g}\rangle=\int_0^t\left(\frac{d^m\varphi(\mathrm{x})}{dx^m}\right)\left(\frac{d^m g(\mathrm{x})}{dx^m}\right)dx\ .$$

Целью настоящей работы является минимизация нормы функционала погрешности (11) 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 (10) 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 $G_m[\beta] = \dfrac{|h\beta|^{2m-1}}{2*(2m-1)!}$, $G_m[x] = \dfrac{|x|^{2m-1}}{2*(2m-1)!}$.

Численные методы позволяют обрабатывать большие объёмы данных, моделировать реальные каналы связи, реализовывать алгоритмы в цифровых устройствах и повышать точность восстановления сигналов.

Особенно эффективными являются оптимальные квадратурные формулы, минимизирующие вычислительную погрешность.

Использование интегрального уравнения Абеля в телекоммуникациях обладает преимуществами как, возможность моделирования сложных процессов передачи сигнала, высокая точность восстановления информации, эффективность при обработке зашумлённых данных, универсальность применения в различных системах связи и возможность создания устойчивых алгоритмов цифровой обработки сигналов.

3. Заключение. Интегральное уравнение Абеля играет важную роль в современных задачах телекоммуникации и цифровой обработки сигналов. Благодаря своим математическим свойствам оно позволяет эффективно описывать процессы передачи информации, восстановления сигналов и фильтрации шумов.

Развитие вычислительных методов и цифровых технологий способствует дальнейшему расширению применения уравнений Абеля в радиосвязи, оптоволоконных системах и интеллектуальных телекоммуникационных сетях. Особенно перспективным направлением является разработка оптимальных квадратурных методов решения сингулярных интегральных уравнений для задач реального времени.

Список литературы

[1]. Шадиметов Х.М. Оптимальные решетчатые квадратурные и кубатурные формулы в пространствах Соболева. – Ташкент: Фан ва технология, 2019.

[2]. Далиев, Б. С. (2021). Оптимальный алгоритм решения линейных обобщенных интегральных уравнений Абеля. Проблемы вычислительной и прикладной математики, 5(35), 120-129.

[3]. 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.

[4]. Далиев, Б. С. (2022). О Численном Решении Линейных Обобщенных Интегральных Уравнений Абеля. Periodica Journal of Modern Philosophy, Social Sciences and Humanities, 13, 191-198.

[5]. Абель Н. Х. Исследование некоторых интегральных уравнений. — М.: Наука, 1970.

[6]. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. — М.: Наука, 1986.

[7]. Канторович Л. В., Крылов В. И. Приближённые методы высшего анализа. — М.: Физматлит, 1962.

[8]. Самарский А. А. Введение в численные методы. — М.: Наука, 1987.

Bi_2Te_3–Sb_2Te_3 АСОСИДАГИ ТЕРМОЭЛЕКТРИК МАТЕРИАЛЛАРНИНГ ТЕРМОЭЛЕКТРИК ХОССАЛАРИГА КАДМИЙ (Cd) БИЛАН ЛЕГИРЛАШ ВА ТАЙЁРЛАШ ТЕХНОЛОГИЯСИНИНГ ТАЪСИРИНИ ТАДҚИҚ ЭТИШ

М.И. Латипова

Фарғона давлат техника университети
e-mail: muxayyo.latipova@fstu.uz

(Қабул қилинди 06.04.2026 й.)

Аннотация. *Мазкур тадқиқот ишида Bi_2Te_3–Sb_2Te_3 асосидаги паст ҳароратли термоэлектрик материалларнинг термоэлектрик хоссаларига ишлаб чиқариш технологияси ва кадмий (Cd) билан легирлашнинг таъсири ўрганилган. Тадқиқот жараёнида қуйма ва кукун металлургияси усуллари асосида тайёрланган намуналарнинг электр ўтказувчанлик, термоЭЮК коэффициенти ва термоэлектрик самарадорлик параметрлари таҳлил қилинган. Намуналарни тайёрлашда вакуум муҳити, инерт газ босими, пресслаш ҳарорати ва босими каби технологик омилларнинг материал хусусиятларига таъсири аниқланган. Эксперимент натижаларига кўра, кадмий концентрациясининг ортиши билан электр ўтказувчанлик ортиши, термоЭЮК коэффициенти эса камайиши кузатилган. Тоблаш жараёнидан кейин эса термоЭЮК коэффициентининг ортиши ва электр ўтказувчанликнинг пасайиши қайд этилган. Ҳарорат таъсири таҳлили натижасида максимал термоэлектрик самарадорлик 293–373 К ҳарорат интервалида кузатилиши аниқланди. Тадқиқот натижаларига кўра, кадмийнинг 0,25 мол.% концентрацияси термоэлектрик параметрларнинг энг оптимал қийматини таъминлаши белгиланди. Шунингдек, кукун металлургияси усулида тайёрланган намуналар юқори бир хиллик ва барқарор хусусиятларга эга эканлиги аниқланди. Олинган натижалар термоэлектрик генераторлар самарадорлигини ошириш, чиқинди иссиқлик энергиясидан самарали фойдаланиш ва энергия тежовчи технологияларни ривожлантиришда муҳим илмий-амалий аҳамиятга эга.*

Калит сўзлар: *паст ҳароратли термоэлектрик материаллар, кукун металлургияси, пресслаш, қуйма намуналар, легирлаш, пресслаш*

Аннотация. *В данной работе исследовано влияние технологии изготовления и легирования кадмием (Cd) на термоэлектрические свойства низкотемпературных термоэлектрических материалов на основе Bi_2Te_3–Sb_2Te_3. В ходе исследования были проанализированы параметры электропроводности, коэффициента термоЭДС и термоэлектрической эффективности образцов, изготовленных методами литья и порошковой металлургии. Установлено влияние таких технологических факторов, как вакуумная среда, давление инертного газа, температура и давление прессования, на свойства материала. Экспериментальные результаты показали, что с увеличением концентрации кадмия электропроводность возрастает, а коэффициент термоЭДС уменьшается. После процесса отжига наблюдалось увеличение коэффициента термоЭДС и снижение электропроводности. Анализ температурной зависимости показал, что максимальная термоэлектрическая эффективность достигается в интервале температур 293–373 К. По результатам исследования установлено, что концентрация кадмия 0,25 мол.% обеспечивает оптимальные значения термоэлектрических параметров. Также выявлено, что образцы, полученные методом порошковой металлургии, обладают высокой однородностью и стабильностью свойств. Полученные результаты имеют важное научно-практическое значение для повышения эффективности термоэлектрических генераторов, рационального использования тепловых отходов и развития энергосберегающих технологий.*

Ключевые слова: *низкотемпературные термоэлектрические материалы, порошковая металлургия, прессование, литые образцы, легирование, термоЭДС.*

Abstract. *This study investigates the influence of fabrication technology and cadmium (Cd) doping on the thermoelectric properties of low-temperature thermoelectric materials based on Bi_2Te_3–Sb_2Te_3. The electrical conductivity, Seebeck coefficient, and thermoelectric efficiency parameters of samples fabricated by casting and powder metallurgy methods were analyzed. The effects of technological factors such as vacuum environment, inert gas pressure, pressing temperature, and pressing pressure on material properties were determined. Experimental results showed that with increasing cadmium concentration, electrical conductivity increased while the Seebeck coefficient decreased. After the annealing process, an increase in the Seebeck coefficient and a decrease in electrical conductivity were observed. Temperature dependence analysis revealed that the maximum thermoelectric efficiency was achieved within the temperature range of 293–373 K. The study established that a cadmium concentration of 0.25 mol.% provides the optimal thermoelectric parameters. In addition, samples prepared by powder metallurgy demonstrated high structural homogeneity and stable properties. The obtained results are of significant scientific and practical importance for improving the efficiency of thermoelectric generators, efficient utilization of waste heat energy, and the development of energy-saving technologies.*

Keywords: *low-temperature thermoelectric materials, powder metallurgy, pressing, cast samples, doping, Seebeck coefficient.*

Кириш. Термоэлектрик материаллар замонавий энергетика тизимларида энергияни самарали қайта ишлаш имконини берувчи муҳим функционал материаллар қаторига киради.

Ушбу материаллар иссиқлик энергиясини бевосита электр энергиясига айлантириш қобилиятига эга бўлиб, уларнинг қўлланилиши саноат чиқинди иссиқлигидан фойдаланиш, автоном энергия таъминоти, космик технологиялар ва қайта тикланувчи энергия манбалари соҳаларида кенг тарқалган. Термоэлектрик материалларнинг самарадорлиги асосан уларнинг асосий параметрлари – термоЭЮК коэффициенти (α), электр ўтказувчанлик (σ) ва иссиқлик ўтказувчанлик (χ) билан белгиланади. Ушбу параметрлардан келиб чиқиб, материалнинг умумий самарадорлик коэффициенти Z орқали баҳоланади. Шу сабабли, юқори самарадорликка эга термоэлектрик материаллар яратиш учун ушбу параметрларнинг оптимал нисбатини таъминлаш муҳим ҳисобланади [1-3].

Паст ҳароратли термоэлектрик материаллар орасида Bi_2Te_3–Sb_2Te_3 асосидаги қотишмалар энг самарали материаллардан бири сифатида кенг ўрганилган. Ушбу материаллар хона ҳароратига яқин диапазонда юқори термоэлектрик самарадорликка эга бўлиб, совитиш тизимлари, автоном энергия манбалари ва чиқинди иссиқликни қайта ишлаш қурилмаларида кенг қўлланилади. Шу билан бирга, уларнинг термоэлектрик хоссалари материалнинг микроструктураси, доналар ўлчами, легирловчи қўшимчалар тури ва концентрацияси ҳамда тайёрлаш технологиясига кучли даражада боғлиқ бўлади.

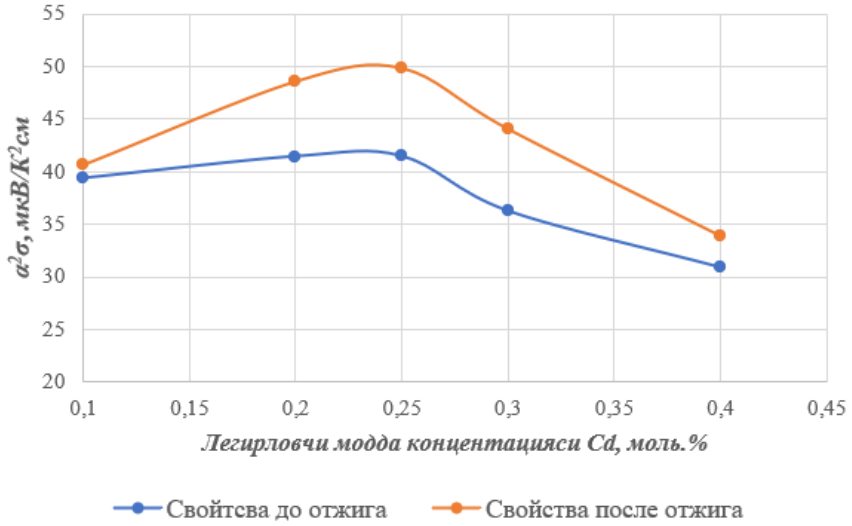
Маълумки, термоэлектрик материалларнинг хоссалари нафақат уларнинг кимёвий таркибига, балки ишлаб чиқариш технологиясига ҳам кучли даражада боғлиқ бўлади. Хусусан, монокристалл, йўналтирилган поликристалл ва прессланган намуналар турлича микроструктурага эга бўлиб, бу эса уларнинг термоэлектрик параметрларида сезиларли фарқларга олиб келади. Қуйма намуналар назарий жиҳатдан юқори самарадорликка эга бўлиши мумкин, аммо уларда ликвацион нотенглик (компонентларнинг ажралиб кетиши) сабабли бир хиллик таъминланмайди ва параметрлар тарқалиши катта бўлади. Бу ҳолат амалиётда барқарор ишлашни таъминлашни қийинлаштиради. Шунинг учун, бир хил ва барқарор хусусиятларга эга материаллар олиш учун альтернатив технологиялар, хусусан порошок металлургияси усули катта қизиқиш уйғотади.

Методология. Тадқиқот жараёнида Bi_2Te_3–Sb_2Te_3 асосидаги термоэлектрик материаллар танланди, чунки ушбу бирикмалар паст ҳароратли термоэлектрик қурилмаларда энг самарали материаллардан ҳисобланади. Намуналарни тайёрлаш жараёни бир нечта босқичларни ўз ичига олди. Аввало, турли тозаликдаги компонентлар кварц тигелга жойлаштирилди ва вакуум муҳити (10^{-2} мм сим. уст.) ҳосил қилинди. Кейин эса тигелга аргон гази 152 кПа босимда киритилди. Ушбу инерт муҳитда компонентлар 1023 К ҳароратда эритилди ва 30 дақиқа давомида ушлаб турилди. Бу жараёнда материал аргон босими остида бўлиб, унинг қиймати юқори ҳароратда 405–406 кПа гача етди. Белгиланган вақт тугагач, печь ўчирилди ва тигелдан тайёр қотишма олиб чиқилди. Қотишманинг конус шаклли тигелда жойлаштирилиши уни осон ажратиб олиш имконини берди [4-7].

Кукунли металлургия усулида эса материаллар аввал кукун ҳолатига келтирилди ва кейин прессланиб, юқори ҳароратда тоблаш орқали мустаҳкамланди. Бу усул орқали олинган намуналар микроскопик жиҳатдан анча бир хил структурага эга бўлиб, уларнинг механик хусусиятлари ҳам яхшироқ эканлиги аниқланди. Пресслаш жараёнида босим (2,5–11 т/см²), ҳарорат (573–673 К) ва ушлаб туриш вақти каби параметрлар кенг диапазонда ўзгартирилди. Кейинчалик намуналар 663 К ҳароратда 17 соат давомида тобланди. Ушбу жараёнлар материалнинг зичлиги, доналар ўлчами ва дефектлар сонига таъсир кўрсатиб, термоэлектрик хоссаларни шакллантиришда муҳим рол ўйнайди.

Натижалар. Легирланган материални олиш учун бошланғич компонентлар таркиби пропорция усули асосида аниқланди ва $70\ \text{оғир.\%}Sb_2Te_3 - 30\ \text{оғир.\%}Bi_2Te_3$ нисбатга мос ҳолда танланди. Ҳисоблаш натижаларига кўра, компонентларнинг массавий улушлари қуйидагича бўлди: висмут (Bi) – 15,67 оғир.%, теллур (Te) – 57,18 оғир.% ва сурьма (Sb) – 27,15 оғир.%. Легирловчи қўшимча сифатида кадмий (Cd) қўлланилди (1-расм) [4-7]. Маълум бўлишича, легирлаш орқали заряд ташувчилар концентрациясини бошқариш мумкин бўлиб, бу эса материалнинг электр ва термоэлектрик хоссаларини оптималлаштириш имконини беради. Тадқиқот натижалари шуни кўрсатдики, кадмий концентрацияси ортиши

билан электр ўтказувчанлик ортиб боради, чунки заряд ташувчилар сони кўпайди. Бироқ, бу билан бир вақтда термоЭЮК коэффициенти камаяди, чунки юқори концентрацияли ташувчилар потенциал фарқни камайтиради. Демак, ушбу икки параметр ўртасида муайян компромисс мавжуд бўлиб, оптимал концентрацияни танлаш муҳим аҳамиятга эга.

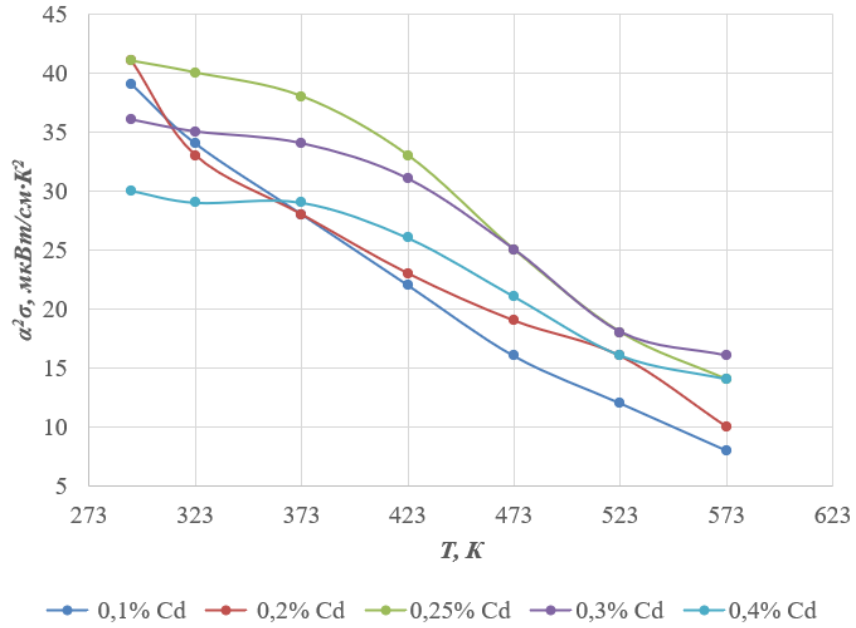


1-расм. $\alpha^2\sigma$ қийматларининг Cd (кадмий) концентрацияси (мол. %) га боғлиқлик графиги.

Тоблаш жараёнининг таъсири ҳам алоҳида ўрганилди. Натижалар шуни кўрсатдики, тоблашдан кейин материалдаги дефектлар сони камаяди ва структура тартибга келади. Бу эса электр ўтказувчанликнинг пасайиши ва термоЭЮК коэффициентининг ошишига олиб келади. Шу билан бирга, легирлаш концентрациясига боғлиқ тенденция сақланиб қолади, яъни концентрация ошиши билан σ ортади ва α камаяди.

Ҳароратнинг таъсири таҳлили натижасида термоэлектрик параметрларнинг ўзгариш қонуниятлари аниқланди. Бошланғич ҳароратларда ҳарорат ошиши билан электр ўтказувчанлик камаяди, чунки электронлар тарқалиши кучаяди. Шу билан бирга, термоЭДС коэффициенти ортиб боради, чунки ҳарорат градиенти таъсири кучаяди. Кейинчалик маълум бир ҳароратда α максимал қийматга етади ва ундан кейин камая бошлайди. Электр ўтказувчанлик эса ҳарорат ошиши билан мунтазам камайиб боради.

Тадқиқот натижаларига кўра, термоэлектрик самарадорликнинг энг юқори қиймати кадмийнинг 0,25 мол.% концентрациясида кузатилди. Бу ҳолатда самарадорлик коэффициенти 293–373 К ҳарорат интервалида максимал қийматга эришди. Ушбу натижа материалнинг оптимал легирлаш даражаси мавжуд эканлигини кўрсатади. Шунингдек, легирлаш концентрацияси ошиши билан термоЭЮК максимуми юқори ҳароратлар томон силжиши аниқланди, бу эса материалнинг ишлаш ҳарорат диапазонини кенгайтириш имконини беради [7-13].



2-расм. Кадмий легирловчи қўшимчаси концентрациясига боғлиқ ҳолда ҳарорат ўзгариши таъсирида $\alpha^2\sigma$ қийматининг ўзгариши. Эгри чизиқлар: 1 – 0,1% Cd, 2 – 0,2% Cd, 3 – 0,25% Cd, 4 – 0,3% Cd, 5 – 0,4% Cd.

2-расмдан кўриниб турибдики, киритилаётган легирловчи қўшимча концентрацияси ортиши билан тобланмаган ярим элементларда солиштирма электр ўтказувчанлик ортиб боради, термоЭЮК

коэффициенти эса камаяди. Ярим элементларга тоблаш жараёни қўлланилгандан сўнг, тобланмаган намуналарга нисбатан уларнинг солиштирма электр ўтказувчанлиги пасаяди, термоЭЮК коэффициенти эса ортади. Бироқ, тобланган ва тобланмаган ярим элементларда легирловчи қўшимча концентрацияси ўзгариши билан хусусиятларнинг ўзгариш қонунияти сақланиб қолади, яъни легирловчи қўшимча концентрацияси ортиши билан солиштирма электр ўтказувчанлик ортади, термоЭЮК коэффициенти эса камаяди.

Ҳароратнинг янада ортиши натижасида термоЭЮК коэффициенти максимал қийматга етади, кейин эса камая бошлайди, солиштирма электр ўтказувчанлик эса пасайишда давом этади. Технологик жараёнларни таҳлил қилиш натижасида маълум бўлдики, қотишмалар тайёрлашда махсус аралаштириш амалга оширилмаган ҳолда ҳам, компонентларнинг тигелда тўғри жойлаштирилиши ҳисобига табиий аралашиш таъминланади. Олинган қотишма 200 г массали бўлиб, у 20 г дан бўлакларга бўлинди ва ҳар бир қисмдан алоҳида намуна тайёрланди. Ўлчаш натижалари шуни кўрсатдики, намуналар бўйлаб термоэлектрик параметрлар тарқалиши 3% дан ошмайди. Бу эса материалнинг юқори бир хиллигини ва амалиёт талабларига жавоб беришини кўрсатади.

Хулоса. Олинган натижаларга кўра, термоэлектрик материалларнинг самарадорлигига бир қатор омиллар таъсир кўрсатиши маълум, яъни ишлаб чиқариш технологияси, легирлаш даражаси, ҳарорат режими ва бошланғич компонентларнинг тозалиги. Кукун металлургияси усули юқори бир хиллик ва барқарор хусусиятларга эга материаллар олиш имконини берса, оптимал легирлаш даражаси эса максимал термоэлектрик самарадорликка эришишни таъминлайди. Шу билан бирга, ҳарорат режими материалнинг ишлаш самарадорлигида ҳал қилувчи аҳамиятга эга. Термоэлектрик материалларнинг хоссаларини оптималлаштиришда технология ва легирлаш параметрларини тўғри танлаш муҳим эканлигини кўрсатди. Кадмий билан легирлашнинг энг мақбул қиймати 0,25 мол.% эканлиги ва максимал самарадорлик 293–373 К ҳарорат интервалида кузатилиши аниқланди. Легирланган қотишманинг энг юқори термоэлектрик самарадорлик коэффициенти $Z=2.1\times10^{-3}$ K^{-1} қиймати 293–373 К ҳарорат интервалида кузатилди. Ушбу натижалар термоэлектрик генераторлар самарадорлигини ошириш, саноат чиқинди иссиқлигидан фойдаланиш ва энергияни тежаш технологияларини ривожлантиришда муҳим илмий-амалий аҳамиятга эга. Кадмий (Cd) билан легирланган Bi_2Te_3–Sb_2Te_3 асосидаги термоэлектрик материалларнинг ҳароратга боғлиқ хусусиятлари тадқиқ қилиниши натижасида уларнинг термоэлектрик параметрлари ҳарорат таъсирида сезиларли даражада ўзгариши аниқланди. Ушбу натижа мазкур ҳарорат диапазони термоэлектрик материалнинг энг самарали ишлатиш мумкинлигини кўрсатади. Шу билан бирга, кадмий билан оптимал легирлаш термоэлектрик материалларнинг энергия самарадорлигини ошириш ва термоэлектрик генераторларда қўллаш имкониятларини кенгайтиришда муҳим аҳамиятга эга.

Адабиетлар

[1]. Snyder J. and Toberer E. Complex Thermoelectric Materials//Nature Materials. 2008. Vol. 7.P. 105–114.

[2]. Гольцман, Б. М. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе Bi2Te3 / Б. М. Гольцман, В. А. Кудинов, И. А. Смирнов. М.: Наука, 1972. 320 с.

[3]. М.И.Латипова, Я.Усмонов, М.Б.Набиев. Технология получения низкотемпературных термоэлектрических материалов на основе BiTeSe-BiSbTe под давлением инертного газа // Universum: технические науки. 2020. №10-3 (79) С.63-66.

[4]. «Расчет стехиометрического состава низкотемпературных полупроводниковых термоэлектрических материалов тройного сплава BiTeSe-BiSbTe» Свидетельство об официальной регистрации программы для электронных-вычислительных машин, DGU №22168, 25.01.2023 г.

[5]. А.М.Касимахунова, Я.Усманов, М.И.Латипова. Bi_2Te_3 асосидаги термоэлектрик материалларни олиш технологияси // Монография. Изд-во «Классик», Фергана. 2022, С.100.

[6]. M.Diuldin, A.Kasimaxunova, A.Cheremisin, M.Latipova, V.Tseiko, S.Rud, L.Tseiko, N.Vatin, V.Krasnoshchekov, V.Rud, N.Semenova. Features of bismuth telluride based ternary alloys for thermoelectric applications // E3S Web of Conferences. 2023, Volume 458, pp.1-10

[7]. А.М.Касимахунова, М.Б.Набиев, Я.Усманов, М.И.Латипова, З.М.Хамиджонов. Исследование термоэлектрических полупроводниковых материалов для высоко эффективных термоэлектрогенераторов // НамМТИ илмий-техника журнали. Наманган, 2020, Том 5, №1. С.125-130. (05.00.00; №33).

[8]. M.I.Latipova. Manufacturing of half-elements by deep alloying and the method of pressing powders by selecting the optimal pressing mode // Web of Scientist: International Scientific Research Journal. 2023, Volume 4, Issue 6, pp.345-34

[9]. M.I.Latipova. Selection of thermoelectric materials and production technologies for highly efficient thermoelectric generators // Mashinasozlik. Andijon. 2023, Том 1, №1, С.54-62

[10]. Я.Усмонов, М.Набиев, Т.Ахмедов, Н.Набиева, И.И.Юлдашева. Способ получения полупроводниковых материалов для термопреобразователей // Актуальные вопросы высшего профессионального образования, сборник научных трудов Международной научно-методической конференции. 2017, С.108-112.

[11]. Nabiev M.B., Khomidzhonov Z.M., Latipova M.I., Abdullaev A.A., Obtaining and researching of thermoelectric semiconductor materials for high-efficienting thermoelectric generators with an increased efficiency coefficient, Проблемы современной науки и образования, 2019, №12 (145). Часть 2, Научно-методический журнал, с. 77-81

[12]. Латипова М.И. Исследование эффективного метода сплавления с последующим легированием низкотемпературных термоэлектрических материалов на основе Bi2Te3-Bi2Se3, Scientific-technical journal (STJ FerPI, ФарПИ ИТЖ, НТЖ ФерПИ, 2022, спец выпуск №2, стр.188-191.

[13]. Latipova M.I. (2022). Termoelektrik o‘zgartirgichlar uchun vismut telluridi asosidagi yarimo‘tkazgichli materiallarni olish texnologiyasi. Involta Scientific Journal, 1(6), 129–134.

УДК 66.047.3:66.011

BARABAN AYLANISH CHASTOTASINING QURITISH JARAYONIGA TA'SIRINI PARAMETRIY-NAZARIY BAHOLASH

A.A. Axunbayev, A.S. Isomidinov

Farg'ona davlat texnika universiteti
webmail: adil.axunboyev@fstu.uz; azizjon.isomidinov@fstu.uz
(Qabul qilindi 18.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada uch qismli takomillashgan nasadka билан жиҳозланган barabanli quritgich aylanish chastotasining suglinok va superfosfatni quritish jarayoniga ta'siri parametrik-nazariy baholanган. Тадқиқотларда aylanish chastotasi $N_{a.ч.}$=5–20 ayl/min oraliqda o'zgartirilib, uning қуритилган материалдаги qoldiq namlik W_2, материалдан bug'langan namlik G_{bug}, материалнинг қуритгичда bo'lish vaqti τ va kompleks samaradorlik K_{kom} ga ta'siri tahlil qilinган. Natijalar past chastotada material pardasi yetarli shakllanmasligini, yuqori chastotada esa kontakt vaqti qisqarishini ko'rsatdi. Suglinok uchun $N_{a.ч.}$=10–15 ayl/min, superfosfat uchun $N_{a.ч.}$=9–13 ayl/min maqbul diapazon deb asoslanган.*

Kalit so'zlar: *barabanli quritgich, aylanish chastotasi, uch qismli nasadka, suglinok, superfosfat, qoldiq namlik, bug'langan namlik, bo'lish vaqti, kompleks ko'rsatkich.*

Abstract. *This article presents a parametric-theoretical assessment of the influence of the rotational speed of a drum dryer equipped with a three-section improved lifter on the drying process of loam and superphosphate. In the study, the rotational speed was varied within the range of $N_{r.f.}$=5–20 rpm, and its effect on the residual moisture content of the dried material W_2, the evaporated moisture from the material G_{ev}, the residence time of the material in the dryer τ\tauτ, and the complex efficiency index K_{com} was analyzed. The results showed that at low rotational speeds, the material curtain is not formed sufficiently, while at high rotational speeds, the contact time decreases. The optimal range was substantiated as $N_{r.f.}$=10–15 rpm for loam and $N_{r.f.}$=9–13 rpm for superphosphate.*

Keywords: *drum dryer, rotational speed, three-section lifter, loam, superphosphate, residual moisture, evaporated moisture, residence time, complex index.*

Аннотация. *В данной статье выполнена параметрически-теоретическая оценка влияния частоты вращения барабанной сушилки, оснащённой трёхсекционной усовершенствованной насадкой, на процесс сушки суглинка и суперфосфата. В исследованиях частота вращения изменялась в диапазоне $N_{ч.в.}$=5–20 об/мин, и анализировалось её влияние на остаточную влажность высушенного материала W_2, количество испарённой из материала влаги $G_{исп}$, время пребывания материала в сушилке τ и комплексный показатель эффективности $K_{ком}$. Результаты показали, что при низкой частоте вращения материальная завеса формируется недостаточно, а при высокой частоте сокращается время контакта материала с сушильным агентом. Для суглинка оптимальный диапазон обоснован как $N_{ч.в.}$=10–15 об/мин, для суперфосфата $N_{ч.в.}$=9–13 об/мин.*

Ключевые слова: *барабанная сушилка, частота вращения, трёхсекционная насадка, суглинок, суперфосфат, остаточная влажность, испарённая влага, время пребывания, комплексный показатель.*

Kirish.

Dispers materiallarni barabanli quritgichlarda quritish jarayonida quritish agenti harorati, gaz tezligi, material sarfi va nasadkalar soni bilan bir qatorda baraban aylanish chastotasi ham muhim texnologik parametr hisoblanadi. Aylanish chastotasi materialning baraban ichida ko'tarilishi, nasadkalar orqali qayta taqsimlanishi, issiq gaz oqimiga tushish trayektoriyasi va material pardasining barqarorligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

Amaldagi barabanli quritgichlarda aylanish chastotasi juda past bo'lsa, material pastki qatlamda ko'proq ushlanib qoladi, nasadkalarning to'lish darajasi kamayadi va zarrachalar issiq gaz oqimiga yetarli darajada sochilmaydi. Aksincha, aylanish chastotasi haddan tashqari oshirilganda material markazdan qochma kuch ta'sirida baraban devoriga yaqin harakatlanadi, nasadkadan tushish vaqti qisqaradi hamda gaz oqimi bilan foydali kontakt yetarli darajada amalga oshmaydi.

Таклиф этилаётган uch qismli takomillashtirilgan nasadka qo'llanilgan barabanli quritgichda aylanish chastotasining ta'siri yanada muhim ahamiyat kasb etadi. Chunki ushbu

nasadka materialni uch bosqichda: pastki qatlamdan ko’tarish, baraban kesimi bo’yicha qayta taqsimlash va issiq gaz oqimiga mayda oqimlar ko’rinishida sochish vazifalarini bajaradi.

Suglinok mayda dispers va nisbatan yopishqoq xususiyatga ega bo’lgan material sifatida baraban ichida ko’tarilish va tushish jarayonida superfosfat granulalaridan farq qiladi. Superfosfat esa donador tuzilishga ega bo’lib, issiq gaz oqimi bilan kontaktlashuvi va namlik ajratish jarayoni boshqa qonuniyat asosida kechadi.

Mazkur maqolada baraban aylanish chastotasining $N_{a.ч.}$=5–20 ayl/min oralig’ida suglinok va superfosfatni quritish ko’rsatkichlariga ta’siri parametrik-nazariy baholandi. Asosiy e’tibor qoldiq namlik W_2, bug’langan namlik miqdori G_{bug}, materialning barabanda bo’lish vaqti τ hamda kompleks samaradorlik ko’rsatkichi Kkomp ning aylanish chastotasiga bog’liqligini aniqlashga qaratildi.

Tadqiqot metodikasi.

Tadqiqotda uch qismli nasadka билан жиҳозланган barabanli quritgichda suglinok va superfosfatni quritish jarayoni parametrik-nazariy baholash asosida o’rganildi. Asosiy o’zgaruvchi sifatida baraban aylanish chastotasi n qabul qilindi. Umumiy tadqiqot diapazoni $N_{a.ч.}$ =5–20 ayl/min oralig’ida belgilandi.

Baholash jarayonida aylanish chastotasi bo’yicha қуйидаги to’rtta asosiy funksional bog’lanish белгиланди;

$$W_2=f(N_{a.ч.}),\ \%; \quad (1)$$

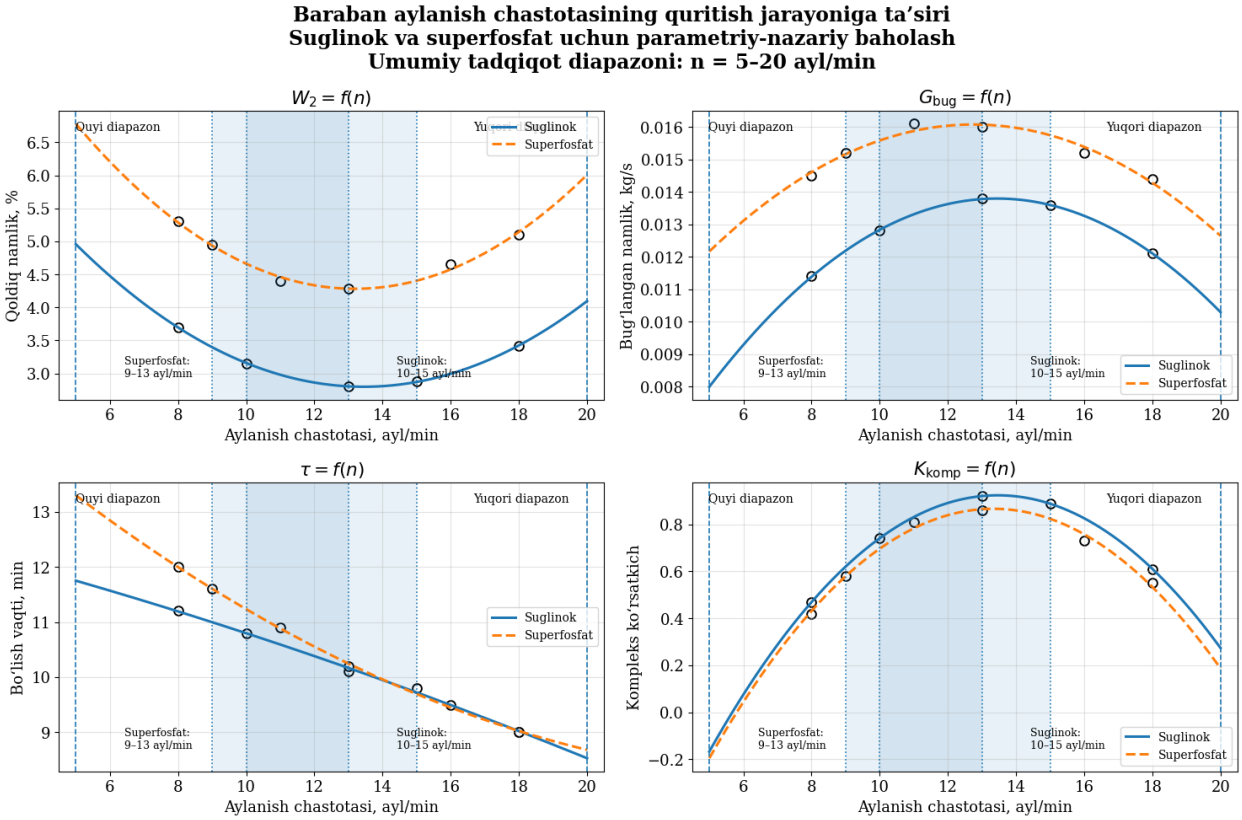
$$G_{bug}=f(N_{a.ч.}),\ \text{kg/s}; \quad (2)$$

$$\tau=f(N_{a.ч.}),\ \text{min}; \quad (3)$$

$$K_{kom}=f(N_{a.ч.}). \quad (4)$$

bunda W_2 — materialning quritishdan keyingi qoldiq namligi, G_{bug} — bug’langan namlik miqdori, τ — materialning barabanda bo’lish vaqti, K_{kom} — quritish samaradorligini umumlashtiruvchi kompleks ko’rsatkich sifatida qabul qilindi.

Grafik bog’lanishlar nazariy polinomial aproksimatsiya va hisobiy nuqtalarni taqqoslash asosida tahlil qilindi. Har bir grafikda quyi va yuqori texnologik diapazonlar, shuningdek suglinok va superfosfat uchun tavsiya etiladigan ishchi oraliqlar alohida ajratildi. 1-расмда (1), (2), (3) ва (4) функционал боғланиш формулалари бўйича боғланиш графиклари келтирилган.



1-rasm. Baraban aylanish chastotasining suglinok va superfosfatni quritish jarayoni ko’rsatkichlariga ta’siri.

Natijalar.

1-rasmda baraban aylanish chastotasining qoldiq namlik, bug'langan namlik miqdori, materialning barabanda bo'lish vaqti hamda kompleks samaradorlik ko'rsatkichiga ta'siri keltirilgan. Grafiklardan ko'rinadiki, aylanish chastotasi quritish jarayoniga chiziqli emas, balki ma'lum optimal nuqtaga ega bo'lgan egri bog'lanish orqali ta'sir qiladi.

Qoldiq namlik $W_2=f(N_{a.ч.})$ grafigi shuni ko'rsatadiki, aylanish chastotasi 5 ayl/min dan 13 ayl/min atrofidagi qiymatlargacha oshirilganda har ikki materialda qoldiq namlik kamayadi. Suglinokda W_2 qiymati taxminan 4,9 % dan 2,8–3,0 % atrofidagi minimal qiymatlargacha pasayadi. Superfosfatda esa qoldiq namlik yuqoriroq bo'lib, $N_{a.ч.}$=12–13 ayl/min oralig'ida 4,3–4,4 % gacha kamayadi.

Bug'langan namlik miqdori $G_{bug}=f(N_{a.ч.})$ grafigi parabola ko'rinishidagi o'zgarishni namoyon qiladi. Suglinokda aylanish chastotasi 5 ayl/min dan 13–14 ayl/min gacha oshirilganda bug'langan namlik miqdori taxminan 0,008 kg/s dan 0,0138 kg/s gacha ortadi. Superfosfatda ushbu ko'rsatkich 0,012 kg/s dan 0,016 kg/s atrofidagi maksimal qiymatlargacha ko'tariladi.

Materialning barabanda bo'lish vaqti $\tau=f(N_{a.ч.})$ grafigida aylanish chastotasi ortishi bilan τ ning kamayishi kuzatiladi. Suglinokda τ taxminan 11,8 min dan 8,5 min gacha, superfosfatda esa 13,3 min atrofidagi qiymatdan 8,7 min gacha pasayadi. Bo'lish vaqtining kamayishi quritgich ish unumdorligini oshirishga xizmat qilsa-da, juda yuqori chastotalarda materialning yetarli darajada qurib ulgurmasligiga sabab bo'lishi mumkin.

Kompleks samaradorlik $K_{kom}=f(N_{a.ч.})$ grafigi aylanish chastotasining optimal oralig'ini aniqroq ko'rsatadi. Suglinok uchun K_{kom} qiymati $N_{a.ч.}$=13–14 ayl/min atrofida eng yuqori qiymatga yaqinlashadi va taxminan 0,90–0,92 oralig'ida bo'ladi. Superfosfatda esa maksimal kompleks ko'rsatkich 0,84–0,86 atrofida shakllanadi.

Muhokama.

Olingan grafik bog'lanishlar baraban aylanish chastotasini tanlashda faqat materialning barabanda bo'lish vaqtiga tayanish yetarli emasligini ko'rsatadi. Aylanish chastotasi oshganda τ kamayadi, bu esa quritgichning ish unumdorligini oshirish imkonini beradi. Biroq bu holat ma'lum chegaragacha ijobiy natija beradi.

Suglinok uchun tavsiya etilgan $N_{a.ч.}$=10–15 ayl/min oralig'i materialning mayda dispers va nisbatan yopishuvchan xususiyatlarini hisobga oladi. Ushbu diapazonda uch qismli nasadka materialni pastki qatlamdan yetarli balandlikka ko'taradi, baraban kesimi bo'yicha qayta taqsimlaydi va issiq gaz oqimiga nisbatan barqaror material pardasini hosil qiladi.

Superfosfat uchun maqbul $N_{a.ч.}$=9–13 ayl/min oralig'i belgilandi. Superfosfat granulalari suglinokka nisbatan yirikroq va harakatchanroq bo'lganligi sababli, yuqoriroq aylanish chastotalarida materialning baraban ichidagi tushish trayektoriyasi tezlashadi. Shu bois superfosfat uchun yuqori chegarani $N_{a.ч.}$=13 ayl/min atrofida cheklash maqsadga muvofiq.

Kompleks ko'rsatkich grafigi barcha alohida ko'rsatkichlarni umumlashtirib baholash imkonini beradi. W_2 ning kamayishi, Gbug ning ortishi, τ ning texnologik jihatdan maqbul bo'lishi va jarayon barqarorligining saqlanishi Kkomp orqali birgalikda ifodalanadi.

Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, uch qismli nasadka билан жиҳозланган barabanli quritgichda aylanish chastotasini material turiga mos tanlash quritish samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega. Suglinok uchun $N_{a.ч.}$=10–15 ayl/min, superfosfat uchun $N_{a.ч.}$=9–13 ayl/min oralig'i texnologik barqarorlik va issiqlik-massa almashinuvi samaradorligi nuqtai nazaridan maqbul deb baholandi.

Xulosa.

Baraban aylanish chastotasi uch qismli nasadkali quritgichda suglinok va superfosfatni quritish jarayonining asosiy boshqariluvchi parametrlaridan biri hisoblanadi. Aylanish chastotasining past qiymatlarida material yetarli darajada ko'tarilmaydi va material pardasi uzluksiz shakllanmaydi. Juda yuqori qiymatlarda esa materialning barabanda bo'lish vaqti qisqarib, gaz oqimi bilan foydali kontakt kamayadi.

Parametrik-nazariy baholash natijalariga ko'ra, suglinok uchun $N_{a.ч.}$=10–15 ayl/min, superfosfat uchun esa n=9–13 ayl/min oralig'i maqbul ishchi diapazon sifatida tavsiya etildi. Ushbu

diapazonlarda qoldiq namlik kamayadi, bug'langan namlik miqdori maksimal qiymatlarga yaqin saqlanadi va kompleks samaradorlik ko'rsatkichi yuqori bo'ladi.

Barqaror quritish jarayonini tashkil etish uchun baraban aylanish chastotasi material sarfi, gaz tezligi, quritish agenti harorati va nasadkalar soni bilan o'zaro muvozanatda tanlanishi lozim. Olingan natijalar uch qismli nasadka билан жиҳозланган barabanli quritgichda suglinok va superfosfatni quritish bo'yicha keyingi tajribaviy tadqiqotlarni rejalashtirish hamda sanoat sharoitida ratsional rejimlarni tanlash uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar

[1]. Mujumdar A.S. Handbook of Industrial Drying. — Boca Raton: CRC Press, 2014.
[2]. Strumillo C., Kudra T. Drying: Principles, Applications and Design. — New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986.
[3]. Perry R.H., Green D.W. Perry's Chemical Engineers' Handbook. — New York: McGraw-Hill, 2008.
[4]. Keey R.B. Drying: Principles and Practice. — Oxford: Pergamon Press, 1972.
[5]. Van Puyvelde D.R. Modelling the hold up of lifters in rotary dryers // Chemical Engineering Research and Design. — 2009. — Vol. 87. — P. 226–232.
[6]. Revol D., Briens C.L., Chabagno J.M. The design of flights in rotary dryers // Powder Technology. — 2001. — Vol. 121. — № 2–3. — P. 230–238.
[7]. Lominé F., Hellou M., Roques Y. An analysis of optimal segmented flight design in a rotary dryer // Powder Technology. — 2022. — Vol. 407. — Article 117594.
[8]. Zhu X., Xie L., Xu S., Zhang W. DEM simulation of a rotary drum with inclined flights using response surface methodology // Processes. — 2023. — Vol. 11. — № 5. — Article 1363.
[9]. O'zbekiston Respublikasi sanoat korxonalarida mineral xom ashyolarni quritish texnologiyalari bo'yicha me'yoriy-uslubiy materiallar. —Toshkent, 2024.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА ДЛЯ ОПУШЕННЫХ СЕМЯН ХЛОПЧАТНИКА В СЕЛЕКЦИОННОМ СЕМЕНОВОДСТВЕ УЗБЕКИСТАНА

В.А. Калашников

Андижанский государственный технический институт

(Получена 06.04.2026 г.)

Аннотация. *Обоснованы конструктивно-режимные параметры высевающего аппарата для опушенных семян хлопчатника в селекционном семеноводстве. Экспериментально подтверждено соответствие агротехническим требованиям по равномерности высева и времени очистки. Результаты рекомендованы для создания селекционных сеялок.*

Ключевые слова: *хлопчатник, опушенные семена, селекционная сеялка, высевающий аппарат, ворошитель, вибрация бункера, равномерность высева, селекционное семеноводство.*

Аннотация. *Мақолада селекция уруғчилигида тухли пахта чигитини экиш аппаратининг конструктив-режим параметрлари асосланган. Экспериментал равишда экиш текислиги ва тозалаш вақти бўйича агротехник талабларга мувофиқлиги тасдиқланган. Олинган натижалар селекция сеялкаларини яратиш учун тавсия этилган.*

Калит сўзлар: *пахта, тухли чигит, селекция сеялкаси, экиш аппарати, аралаштиргич, бункер тебраниши, экиш текислиги, селекция уруғчилиги.*

Abstract. *The design and operational parameters of a seeding apparatus for fuzzy cotton seeds in breeding seed production have been justified. Experimental confirmation of compliance with agrotechnical requirements for seeding uniformity and cleaning time is provided. The obtained results are recommended for the development of breeding seed drills.*

Keywords: *cotton, fuzzy seeds, breeding seed drill, seeding apparatus, agitator, hopper vibration, seeding uniformity, breeding seed production.*

Введение. Хлопководство является стратегической отраслью сельского хозяйства Республики Узбекистан. Страна занимает ведущие позиции в первой десятке хлопкосеющих

государств по площади хлопковых полей и объёмам производства, а по интеллектуальному потенциалу в области селекции и качеству волокна входит в пятёрку лидеров. Мировым признанием достижений узбекских селекционеров стала золотая медаль Ливерпульской хлопковой биржи, присуждённая сорту «Бухара-6», волокно которого принято в качестве эталона.

В настоящее время в республике созданы и внедряются новые скороспелые сорта: «Гулистан», «Порлок-3», «Андижан-37», «Хоразм-150», а также сорт «Жаркурган» с длиной волокна 34–35 мм и выходом волокна 37–39%. Селекционные программы на современном этапе направлены на сочетание скороспелости, высокой продуктивности, улучшенного качества волокна с устойчивостью к засолению, болезням, вредителям и дефициту влаги [1].

Однако успешная селекционная работа невозможна без высокоточного высева семенного материала малых образцов (30–50 г) на короткие делянки (5–20 м). Специфической проблемой является высев опушенных (с остаточной волокнистостью до 13,1%) и предварительно замоченных семян хлопчатника, которые характеризуются низкой сыпучестью, склонностью к сводообразованию и зависанию на стенках бункера. Стандартные высевающие аппараты зерновых и хлопковых сеялок (например, СТЦ-52) для таких условий непригодны [2].

Узбекистан является одной из самых северных зон промышленного возделывания хлопчатника в мире. Годовая продолжительность солнечного сияния составляет 2500–3000 часов. Испаряемость варьирует от 900 мм/год на севере (Республика Каракалпакстан, Хорезмская область) до 1500 мм/год на юге (Сурхандарьинская, Кашкадарьинская области). Относительная влажность воздуха низкая [1-3].

Для селекционного высева критически важна опушенность семян – остаточная волокнистость может достигать 13,1% от массы семени. Кроме того, применяется предпосевная замочка в проточной воде в течение 24 часов, что дополнительно снижает сыпучесть и увеличивает адгезию [4].

Теоретическое обоснование параметров высевающего аппарата.

Выбор типа аппарата. Анализ конструкций существующих высевающих аппаратов показал, что для высева несыпучих материалов наиболее приемлем катушечный аппарат с горизонтальной осью вращения ворошителя. В качестве базового элемента выбрана зубовая катушка диаметром D=106 мм, выступающая над дном на h=7 мм. Радиальный зазор между кромкой высевного окна и катушкой принят Δ=5 мм [5-6].

Геометрия бункера. Бункер выполнен в форме усечённой пирамиды с прямоугольным питающим отверстием в нижней части. Угол наклона стенок к горизонтали (α) должен превышать угол трения покоя опушенных семян по стали, который составляет 65°. Принято α=65° для боковых стенок; для передней и задней стенок в расчётах использовано α_1=75° для обеспечения компактности лопасти ворошителя.

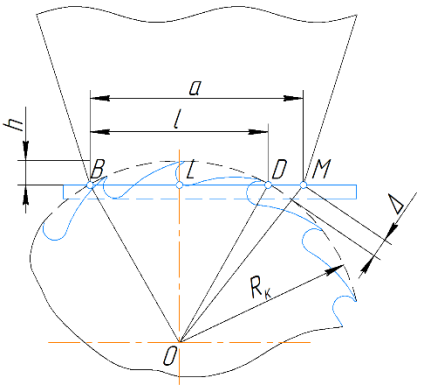


Рис. 1. Определение наибольшего размера дна бункера.

Длина питающего отверстия α (по направлению движения катушки) определена из геометрического построения (рис. 1). Учтены следующие параметры: R=53 мм (радиус катушки), h=7 мм (выступание зуба), Δ=5 мм (зазор) [7].

Формула для расчёта:

$$\alpha = \sqrt{R^2 - (R-h)^2} + \sqrt{(R+\Delta)^2 - (R-h)^2} \quad (1)$$

Подстановка значений даёт α=60 мм.

Ширина питающего отверстия b определяется как:

$$b = S_к + 2 \cdot S_б \quad (2)$$

где $S_к$ – ширина зуба катушки, $S_б$ – боковой зазор. Условие: $S_б \geq b_c$, где b_c – средняя ширина

опушенного семени (5–6 мм). При $S_к$=6 мм и $S_б$=9 мм получено b=24 мм.

Параметры лопастного ворошителя.

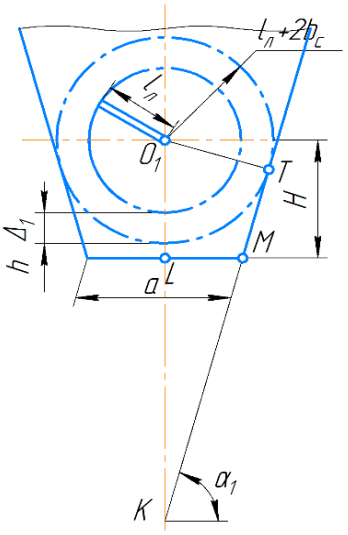


Рис. 2. Схема к определению длины лопасти ворошителя.

Длина лопасти. Условие свободного прохода ворошителя через высевную щель при подъёме бункера (для очистки): $l_л \le \alpha/2$=30 мм. Зазор между лопастью и стенкой бункера для исключения дробления семян принят $\Delta_1=2b_c \approx 11$ мм.

Из кинематической схемы выведена формула (рис. 2):

$$l_л = \frac{0,5\alpha \sin\alpha_1 + (h+\Delta_1)\cos\alpha_1 - \Delta_1}{1-\cos\alpha_1} \quad (3)$$

При α_1=75°, α=60 мм, h=7 мм, Δ_1=11 мм расчёт даёт $l_л$=28 мм.

Число лопастей. Анализ работы ворошителя по квадрантам вращения показывает (рис. 3), что однолопастный ворошитель обеспечивает подачу семян к катушке только в течение половины оборота (I и II квадранты). Минимальное условие непрерывности подачи – две лопасти. Увеличение числа лопастей свыше трёх нецелесообразно из-за возрастания времени очистки и риска зависания семян в межлопастном пространстве.

Угловая скорость ворошителя. Из условия предотвращения выброса семян из бункера получено ограничение $\omega_в \le 19,5$ рад/с. Соотношение угловых скоростей ворошителя и катушки определяется выражением:

$$\omega_в = \left(\frac{m_к}{m_в}\right) \cdot \omega_к \quad (4)$$

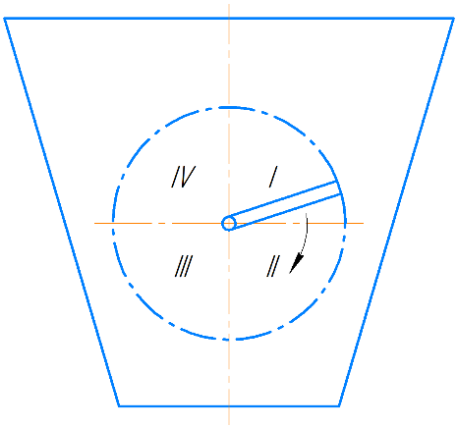


Рис. 3. Определение числа лопастей ворошителя.

где $m_к$ – количество семян, высеваемое за один оборот катушки; $m_в$ – количество семян, подаваемое за один оборот ворошителем.

Вибрационный механизм. Для разрушения устойчивых сводов семян в бункере (вне зоны действия ворошителя) применён вибрационный механизм зубчатого типа: на валу установлен ролик с 8 зубьями высотой 3 мм, упорная пластина закреплена на бункере. При вращении ролика пластина поднимается и затем падает, создавая импульс.

Кинематический расчёт (построение планов скоростей и ускорений) показывает, что тангенциальное ускорение упорной пластины a_t определяется угловой скоростью ролика $\omega_р$ (рис. 4). Условие отсутствия отрыва пластины от зуба: $a_t \le g$=9,8 м/с^2 [8-9].

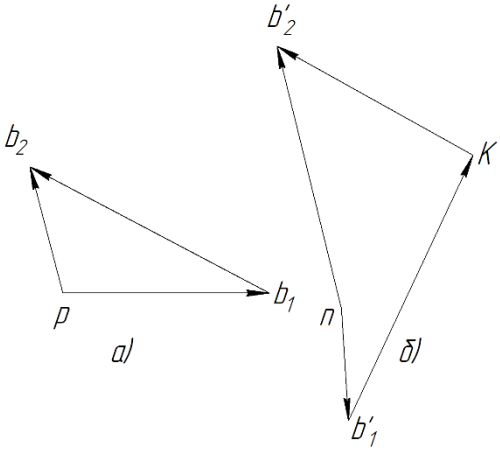


Рис. 4. План скоростей (а) и план ускорений (б) вибрационного механизма.

Установлено, что при $\omega_р \le 13,41$ рад/с условие выполняется. Принятая частота вибрации f=12 Гц соответствует $\omega_р=2\pi f/8$=9,42 рад/с, что удовлетворяет условию.

Материалы и методы экспериментальных исследований.

Эксперименты проведены на специальном стенде (рис. 5), включающем:

-транспортерную ленту с солидоловым покрытием (имитация борозды);

-два электродвигателя: переменного тока (привод ленты через вариатор, диапазон скоростей 0,8–1,7 м/с) и постоянного тока малой мощности (привод катушки,

ворошителя и виброролика);

-регулируемый выпрямитель для изменения угловой скорости в пределах 4–15 рад/с.

М1 - электродвигатель переменного тока; М2, М3- электродвигатель постоянного тока; 1-вариатор; 2-гнездующий аппарат; 3-липкий ленточный транспортер; 4-семяпровод; 5-коническая пара шестерен; 6-высевающая катушка; 7-ворошитель; 8-виброролик

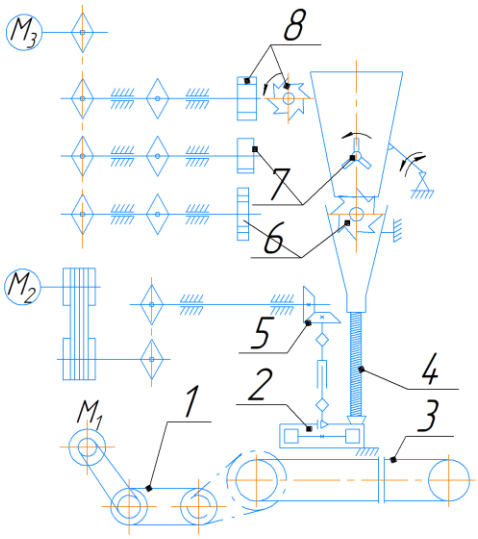


Рис 5. Лабораторный стенд.

Использованы семена хлопчатника сорта Ташкент-1 с остаточной опушенностью 13,1% после 24-часовой замочки в проточной воде. Масса навески – 90 г (имитация малого образца). Норма высева – 30 семян на погонный метр (гнездовой способ с междугнездьем 20 см, 5 семян в гнездо).

Исследования выполнены в соответствии с ГОСТ 31345-2017 «Техника сельскохозяйственная. Сеялки тракторные. Методы испытаний». Оценивались следующие показатели:

-масса оставшихся в бункере семян (электронные весы);

-распределение семян по гнёздам (подсчёт на липкой ленте);

-время очистки аппарата от остатков семян (секундомер).

Варьируемые параметры: угол наклона боковых стенок бункера (45, 55, 65, 75°), амплитуда вибрации (1, 2, 3 мм), частота вибрации (8–24 Гц), число лопастей ворошителя (1–5), ширина лопасти (5, 10, 15, 20 мм), угловая скорость ворошителя (3,14–12,56 рад/с), ширина высевающей катушки (3, 6, 9, 12 мм). Каждый опыт проведён в трёх-пятикратной повторности [10].

Результаты экспериментальных исследований.

Влияние угла наклона стенок бункера. Зависимость массы оставшихся семян M_o от угла наклона боковых стенок α имеет гиперболический характер. При опушенности 13,1%: M_o=14 г при α=45°, M_o=5 г при α=55°, M_o=2 г при α=65°, M_o=1,5 г при α=75°. С учётом требований к компактности и удобству заправки принят α=65° (при этом бункер более ёмкий, чем при 75°, а остаток семян не превышает 2 г).

Частота и амплитуда вибрации. Для полного опорожнения бункера (без сводообразования) при α=65° установлены следующие пары параметров:

A=1 мм, f=24 Гц; A=2 мм, f=17 Гц; A=3 мм, f=12 Гц.

Выбрано A=3 мм, f=12 Гц как обеспечивающее более щадящий режим (меньшая частота) и отсутствие отрыва упорной пластины (a_t=9,2 м/с^2 < 9,8 м/с^2).

Число лопастей ворошителя. Результаты распределения семян по гнёздам в зависимости от числа лопастей представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Распределение семян по гнёздам в зависимости от числа лопастей ворошителя (%)

Количество семян в гнезде, шт.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
0	22	8	1	3	0
1	28	12	5	3	5
2	14	17	5	9	7
3	13	12	19	21	16
4	6	11	22	12	18
5	7	14	14	17	20
6	6	10	7	11	13
7 и более	4	16	27	24	21
Гнёзд с 5±2 шт.	**34**	**53**	**70**	**73**	**74**

Время очистки аппарата: при $Z_л$=1–3 – 3 с, при $Z_л$=4 – 5 с, при $Z_л$=5 – 7 с. Выбран $Z_л$=3 как оптимальный по критерию «равномерность – время очистки».

Ширина лопасти ворошителя. Доля качественных гнёзд (5±2 шт.) составила: $S_л$=5 мм – 57%, 10 мм – 66%, 15 мм – 71%, 20 мм – 73%. Масса оставшихся семян: $S_л$=5 мм – 2,0 г, 10 мм – 2,5 г, 15 мм – 3,3 г, 20 мм – 7,0 г. Выбрано $S_л$=15 мм как обеспечивающее приемлемый остаток (3,3 г) при достаточной равномерности (71%).

Угловая скорость ворошителя. Доля качественных гнёзд при $\omega_в$=3,14; 6,28; 9,42; 12,56 рад/с ($\omega_к$=7,32 рад/с постоянна) составила соответственно 56, 64, 69, 70%. При $\omega_в$=12,56 рад/с наблюдалось образование «цепочек» (3–5 семян, скрученных волоконцами), что затрудняет очистку. При $\omega_в$=9,42 рад/с эффект отсутствует. Принято $\omega_в$=9,4 ± 0,5 рад/с.

Ширина высевающей катушки. Наилучший показатель достигнут при $S_к$=6 мм (76%). При $S_к$=12 мм наблюдается снижение равномерности из-за многорядного размещения семян между зубьями.

Таблица 2.

Распределение семян по гнёздам в зависимости от ширины катушки (%)

Количество семян в гнезде, шт.	3 мм	6 мм	9 мм	12 мм
0	1	0	0	0
1	9	6	4	3
2	12	9	8	7
3	12	12	10	10
4	14	17	14	13
5	17	21	17	16
6	16	16	15	15
7	9	10	14	13
8 и более	10	9	18	23
Гнёзд с 5±2 шт.	**68**	**76**	**70**	**67**

Заключение

1. Узбекистан занимает ведущие позиции в мировом хлопководстве, однако селекционное семеноводство сдерживается отсутствием специализированной техники для высева малых партий опушенных семян.

2. Теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены оптимальные параметры высевающего аппарата: бункер: угол наклона стенок 65°, питающее отверстие 60×24 мм; вибрация: частота 12 Гц, амплитуда 3 мм; ворошитель: 3 лопасти, длина 28 мм, ширина 15 мм, $\omega_в$=9,4 рад/с; катушка: ширина 6 мм, $\omega_к$=7,3–8,5 рад/с.

3. Экспериментально достигнута доля гнёзд с количеством семян 5±2 шт. на уровне 76%, что соответствует агротехническим требованиям (≥70%).

4. Время очистки аппарата при смене сортов составляет 3 с, что обеспечивает высокую производительность селекционного процесса.

5. Разработанные параметры могут быть рекомендованы для создания селекционных сеялок в НИИ селекции, семеноводства и агротехнологии выращивания хлопка.

Список литературы

[1]. Эгамова Н. Б., Бондарчук М. М. Анализ современных селекционных сортов хлопка Республики Узбекистан // Научные исследования № 3 (4). 2016. – 7–10 с.

[2]. Воробьев В.А., Ковалев П.В. Почвоведение и механика почв. – М.: КолосС, 2018. – 464 с.

[3]. Карташов А.А., Бондаренко Н.А. Исследование физико-механических свойств семян сельскохозяйственных культур // Аграрная наука. – 2019. – №6. – С. 45–49.

[4]. Юсупов Ш.Р., Абдуллаев Б.А. Физико-механические свойства семян хлопчатника // Agro Ilm. – 2022. – №4. – С. 32–36.

[5]. Григорьев А.М., Лавров И.В. Процессы и аппараты сыпучих материалов. – М.: Инфра-М, 2017. – 320 с.

[6]. Кузнецов В.В. Механика сыпучих сред. – СПб.: Лань, 2018. – 352 с.

[7]. Гуляев В.П. Сельскохозяйственные машины. – М.: Лань, 2022. – 140 с.

[8]. Соловьев В.А. Высевающие аппараты сельскохозяйственных машин. – СПб.: Лань, 2019.

[9]. Орлов А.И. Вибрационные процессы в технике. – М.: Машиностроение, 2016.
[10]. ГОСТ 31345-2017. Техника сельскохозяйственная. Сеялки тракторные. Методы испытаний. – М. : Стандартинформ, 2018. – 49 с.

PAXTANI XOM ASHYOSINI MAYDA IFLOSLIKLARDAN TOZALASHDA YUQORI SAMARA BERUVCHI YANGI KONSTRUKSIYALI OG‘MA QATORLI QOZIQLI BARABANNING TAHLILI

T.I. Nizomov

Andijon davlat texnik instituti,
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya*. Maqolada paxta xom ashyosini mayda ifloslikdardan tozalagichning yangi konstruksiyasini og‘ma qatorli qoziqlari, to‘lqinsimon sirtli plankasi bo‘lgan barabanlarning konstruktiv sxemasi va ishlash prinsipi keltirilgan. Amaldagi usulda paxta bo‘lagini qoziqli barabanning plankasi to‘lqinsimon sirti bilan zarbali ta’siri o‘rganilgan.*
Kalit so‘zlar: *mayda ifloslikdar, burchak, baraban, planka, qoziq, harakat trayektoriyasi****.***
Annotation. *The article presents the design scheme and principle of operation of a new design of a cotton raw material cleaner with inclined rows of piles and drums with a wavy surface. The current method studies the impact of a cotton piece on the corrugated surface of the drum with a pile.*
Keywords: *small impurities, angle, drum,* ***plank, spike,*** *motion trajectory.*
Аннотация. *В статье работе изучалось ударное воздействие куска ваты на волнистую поверхность планки барабанного молотка.вная схема и принцип работы барабанов с наклонными рядами ворса и волнистой поверхностью планки. В данной работе изучалось ударное воздействие куска ваты на волнистую поверхность планки барабанного молотка.*
Ключевые слова*: мелкие примеси, угол, барабан, планка, шип, траектория движения****.***

Kirish. Yangi konstruksiyali og‘ma qoziqli baraban paxta xom ashyosini tozalash sanoatiga, xususan, paxtani mayda chiqindilardan tozalash UXK agregatining 1XK dastgoxi konstruktsiyalariga taalluqlidir.

Ma’lum bo‘lgan paxta tozalash agregati konstruktsiyasida paxtani mayda va yirik chiqindilardan tozalash seksiyalari birlashtirilgan [1]. Cho‘tkali barabanlar ostida ikkita arra tishli barabanlar o‘rnatilgan bo‘lib, ularning tagida esa panjarachalar joylashgan. Ular paxta xom ashyosini yirik chiqindilardan tozalash uchun to‘r vazifasini bajaradi. Mayda tozalash seksiyasida esa ketma-ket qoziqli barabanlar va ularning tagida to‘rli yuzalar o‘rnatilgan.

Mazkur konstruktsiyaning asosiy kamchiligi shundaki, paxtani chiqindilardan tozalash samaradorligi past. Mayda tozalash seksiyasida ajratilgan mayda chiqindilar katta chiqindilar va tolachalar (letuchkalar) bilan aralashib ketadi. Bu esa paxtani qayta tiklash va ikkinchi marotaba tozalash jarayonida qo‘shimcha qiyinchiliklar tug‘diradi.

Boshqa ma’lum bo‘lgan paxta xom ashyosini mayda chiqindilardan tozalash konstruktsiyasida 1XK, SCh-2 [1] da ketma-ket joylashtirilgan, to‘rtga karrali sonli bir xil kolokli-plankali barabanlar va ularning tagida joylashgan gorizontal to‘rli yuzalar qo‘llanilgan.

Bu konstruktsiyaning asosiy kamchiligi — paxtani tozalash samaradorligi pastligi, sababi baraban qoziqlarining paxta tolachalarini to‘r yuzasi bo‘ylab bir xil va takroriy ta’siridir. Bundan tashqari, barabanlarning geometrik va kinematik parametrlari bir xil bo‘lgani sababli har bir zona (baraban-to‘r jufti) samaradorligi past, natijada umumiy tozalash sifati ham yuqori bo‘lmaydi.

Samaradorlikni oshirish maqsadida baraban qoziqlarining soni oshirilgan, ammo bu paxta urug‘i va tolalarining shikastlanishiga olib keladi.Baraban qoziqlarining bir xil kattalik va yo‘nalishda kuch ta’siri ostida ishlashi ham mayda chiqindilardan samarali tozalash imkonini bermaydi.

Ma’lum bo‘lgan boshqa konstruktsiyada paxta tozalash agregati seksiyasi to‘rt ketma-ket barabandan iborat bo‘lib, ularda qoziqchalar, plankalar (plastinalar) va rezina halqasimon vtulkalar

mavjud. Har bir keyingi barabanning vtulka qalinligi avvalgisidan 10–15% kichik qilib ishlangan (paxtaning harakat yo‘nalishiga qarab).Qoziqli-plankali barabanlar ostida to‘rli yuzalar, pastki qismida esa ajratilgan mayda chiqindilarni olib chiqish uchun pnevmatik qurilma joylashgan. Har bir keyingi baraban qo‘shimcha ravishda yuqori chastotali va kichik amplitudali burilish tebranishini bajaradi, bu esa chiqindilarni samarali ajratishni ta’minlaydi [2].

Bu konstruktsiyaning asosiy kamchiligi – tuzilishining murakkabligi va tozalash samaradorligining yuqori emasligi.

Paxta xom ashyosini mayda chiqindilardan tozalash mashinalarining asosiy ishchi organi qoziqli-plankali barabanlardir [3]. Tozalash samaradorligini oshirish maqsadida ba’zi konstruktsiyalarda baraban koloklari ko‘p qirrali shaklda bajarilgan [4].

Ammo bu yechim ham samarali emas, chunki barcha barabanlar bir xil bo‘lgani sababli umumiy tozalash samarasi pastligicha qoladi. Shuningdek, ko‘p qirrali qoziqlarning o‘z o‘qi atrofida burilishi paxta tolalarining shikastlanishini kuchaytiradi.

Yana bir ma’lum bo‘lgan konstruktsiyada tolali material tozalagichi mayda chiqindilardan tozalash zonasida kolokli-plankali barabanlar va ularning tagida to‘rlar, yirik chiqindilardan tozalash zonasida esa arra tishli barabanlar va panjarachalar, shuningdek, cho‘tka, chiqindilar uchun bunkerlar mavjud. Baraban sirtiga qoziqlar vint chizig‘i bo‘ylab o‘rnatilgan. Mayda tozalashning birinchi zonasidagi vint burchagi ikkinchisidan, ikkinchisiniki esa uchinchisidan farqlanadi. Panjarachalar ko‘p qirrali qilib bajarilgan va ularning qirralari o‘z o‘qiga nisbatan burilgan. Birinchi zona uchun burilish burchagi, ikkinchisi va uchinchisi turlicha tanlangan. Bunda qo‘shni barabanlardagi qoziqlarning vint chizig‘i yo‘nalishi ham, ularning tagidagi panjarachalar qirralarining burilish burchagi ham qarama-qarshi qilib ishlangan [5].

Bu konstruktsiyaning kamchiligi shundaki, tozalash samaradorligi baribir past va paxta tolalari shikastlanishi yuqori darajada. Shuningdek, qoziqli-plankali barabanlardagi plankalar paxtani yetarli darajada tashiy olmaydi, balki faqat baraban aylanishi yo‘nalishida havo oqimi hosil qiladi. Shuning uchun plankalar paxtani bo‘shashtirish jarayonida ishtirok etmaydi va bu umumiy tozalash samaradorligini pasaytiradi. Prototip sifatida [1] dagi konstruktsiya qabul qilingan.

Yangi konstruksiyani vazifasi – paxtaning tabiiy xususiyatlarini maksimal darajada saqlagan holda uni mayda chiqindilardan tozalash samaradorligini oshirishdan iborat.

Ushbu vazifa tozalagich konstruktsiyasini takomillashtirish, ya’ni paxtaning harakat trayektoriyasini kengaytiradigan va yanada samarali tozalashni ta’minlaydigan o‘n ikki dona qoziqchali-plankali barabanlarni o‘rnatish orqali hal etiladi.

Konstruktsiyaning mohiyati shundan iboratki, tolali material tozalagichi o‘n ikki dona qoziqli-plankali barabandan tashkil topgan bo‘lib, ularning plankalari va qoziqlari o‘qlariga nisbatan burchak ostida joylashtirilgan. Bunda qo‘shni barabanlardagi plankalar va qoziqchalar qarama-qarshi yo‘nalishda o‘rnatilgan. Birinchi to‘rtta barabanning plastinalari va tishchalari 15° burchak ostida, keyingi to‘rttasi 10°, oxirgi to‘rttasi esa 5° burchak ostida joylashtirilgan. Oziqlantiruvchi valiklar birinchi guruhdagi uchinchi va to‘rtinchi barabanlar ustida joylashgan. Barabanlarning plastinalari sinusoid shaklidagi egri ko‘rinishda bajarilgan.

Birinchi to‘rtta barabanning burchak tezliklari bir xil bo‘lib, alohida yuritma orqali ta’minlanadi. Keyingi to‘rtta barabanning burchak tezliklari birinchilarnikidan 10% yuqori, oxirgi to‘rtta barabanniki esa ularnikidan yana 10% yuqori.

Birinchi to‘rtta baraban zonasida kamroq titilgan paxta xomashyosi (2 va undan ortiq tolachalar – “letuchkalar” bilan) qayta ishlanadi. Shu sababli burchak eng kattasi – 15° qilib o‘rnatilgan. Natijada paxtaning yuzaki qatlamidagi chiqindilar ajratib olinadi. Bu zonada planka va qoziqchalar paxtani nafaqat aylanish yo‘nalishida, balki ko‘ndalang yo‘nalishda ham siljitadi, bu esa paxtaning tolachalarga samaraliroq ajralishini ta’minlaydi. Shuningdek, paxtaning harakat trayektoriyasi ortgani tufayli mayda chiqindilar ko‘proq ajratib olinadi.

Keyingi to‘rtta baraban (10° burchak ostida) zonasida paxtaning titilgan qismlari yanada kengroq traektoriya bo‘ylab to‘rli yuzada tortib o‘tkaziladi.Oxirgi to‘rtta baraban (5° burchak ostida) titilgan paxta tolachalarini to‘rli yuzada tortib o‘tkazib, ularning ichki qatlamlaridagi mayda chiqindilarni samarali ajratib olishni va chiqarib yuborishni ta’minlaydi. Barabanlarning burchak

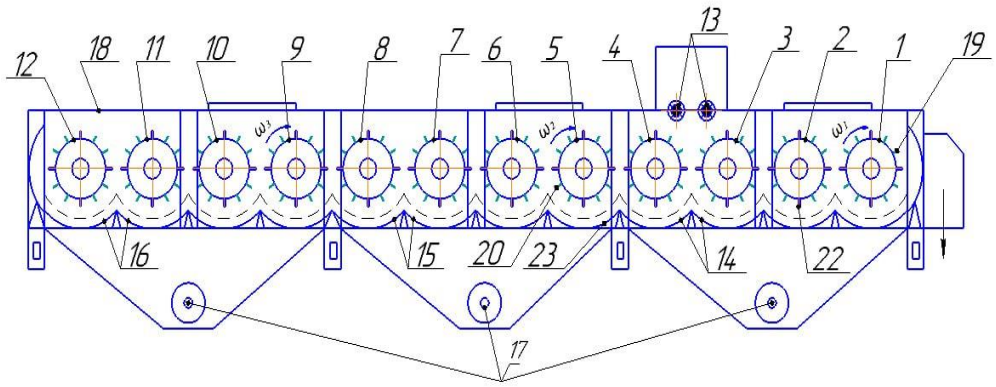
tezliklari bosqichma-bosqich oshib borishi to‘silib qolishning oldini oladi va umumiy tozalash samaradorligini oshiradi.

Konstruktsiya chizmalar bilan tushuntiriladi: 1-rasmda – tolali material tozalagichning umumiy ko‘rinishi, 2-rasmda – plastina va qoziqchalar α burchak ostida o‘rnatilgan baraban ko‘rsatilgan.

Ishlash prinsipi. Tozalagich quyidagicha ishlaydi: paxta xomashyosi oziqlantiruvchi valiklar (13) yordamida 3 va 4-barabanlarga yuboriladi. Planka va qoziqchalar (19) uni yuqoriga qarab tashiydi va 1-barabanga o‘tkazadi. 1-baraban paxtani yuqoridan pastga va yon yo‘nalishda harakatlantiradi. 15° burchak ostida joylashtirilgan sinusoid shakldagi plastinalar (22) va qoziqchalar (19) paxtaning og‘irroq bo‘laklarini (2 va undan ortiq tolachali – letuchkali) ushlab, murakkab trayektoriya bo‘ylab harakatlantiradi. Bu jarayonda chiqindilar samarali ajratiladi.

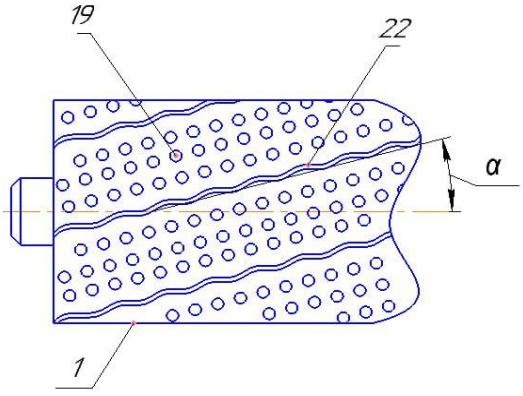
Keyinroq titilgan paxta (1–2 tolachali) 10° burchak ostidagi plastina (23) va qoziqchalar (20) tomonidan tortilib, yanada chuqurroq qatlamdagi mayda chiqindilardan tozalanadi.So‘ng oxirgi zona – 5° burchak ostidagi plastina (24) va tishchalar (21) paxtaning asosan bir tolachali qismlarini tortib o‘tkazadi. Bu qismlar to‘rli yuzada (16) yuqori tezlik bilan harakatlanib, mayda chiqindilardan samarali tozalanadi. Ajratilgan chiqindilar to‘rli yuzalar (14, 15, 16) orqali tushib, shneklar (17) yordamida chiqarib yuboriladi. Sinusoid shakldagi plankalar paxtani nafaqat samarali tashiydi, balki uni ma’lum darajada bo‘shashtiradi hamda chiqindilarni pulsatsion havo oqimi yordamida ajratadi (baraban aylanishi yo‘nalishida ham, ko‘ndalang yo‘nalishda ham).

Paxtani mayda iflosliklardan tozalovchi mashinani konstruktiv sxemasi



1-rasm. Paxta bo‘lagini baraban suruvchi plankasi to‘lqinsimon a’zosi bilan zarbali ta’siri hisoblamalari.

Paxta bo‘laklari ta’minlovchi valiklar orqali qoziqli-plankali barabanga kelib tushganda ularni qoziqchalar va to‘lqinsimon plankalar bilan ta’sirlashadi.Bunda paxta bo‘lagi to‘lqinsimon sirti zarbali ta’siri undan chiqindilar, ayniqsa mayda iflosliklar intensiv ajralishi yuz beradi**.**

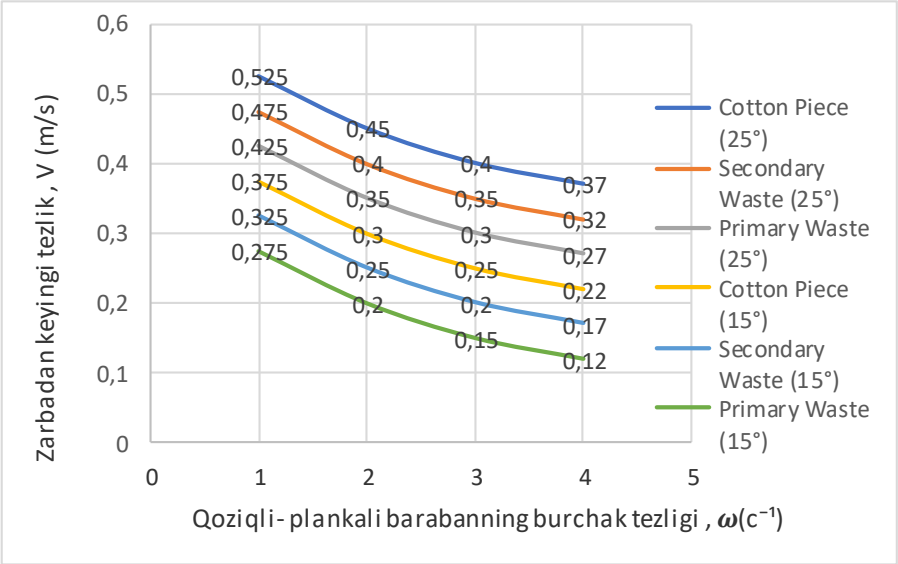


2-rasm. Plastina va qoziqchalar α burchak ostida o‘rnatilgan baraban.

Tavsiya etilgan paxtani iflosliklardan tozalagichning qoziqchali plankali barabanida paxta bo‘lagini to‘lqinsimon yuzali planka bilan zarba ta’sirlashganda keyingi tezligini, hamda undan ajralgan chiqindilarni tezliklarini o‘zgarish qonuniyatlari parametrlarini qiymatlarini bog‘lig‘lik grafiklari qurildi, ularni taxlil natijasida baraban parametrlari tavsiya qiymatlari aniqlandi. Shu jumladan 3-rasmda keltirilgan.

Olingan grafiklarni taxlil qilganimizda qoziqli-plankali baraban burchak tezligi 36,5c^{-1}dan 52c^{-1}gacha yo‘naltirilganda va to‘lqinsimon yuzali og‘ish burchagi 25º bo‘lganida paxta bo‘lagini zarbadan keyingi tezligi 1,38m/s dan 1,82m/s gacha chiziqli bog‘lanishda bo‘lar ekan. Bunda ikkilamchi paxtadan ajralgan chiqindi tezligi 1,91m/s dan 3,15m/s gacha chiziqsiz bog‘lanishda ortar ekan. Mos ravishda birlamchi chiqindini tezligi 3,09m/s

dan 4,63m/s gacha bo‘lar ekan(4-rasm, 5,6-grafiklar).Agarda qoziqchali baraban plankalari og‘ish burchagini 15º gacha kamayganida paxta bo‘lagini zarbali ta’sirdan keyingi tezliklari 1,7m/s dan 2,42 m/s gacha ortadi, mos ravishda ikkilamchi chiqindi tezligi esa 2,41m/s dan 3,46 m/s gacha, hamda birlamchi chiqindi tezligi 3,31m/s dan 5,53 m/s gacha nochiziqli qonuniyatda ortib boradi. Buning asosiy sababi ikkinchi chiqindi massasini birinchi chiqindi massasiga nisbatan katta bo’lmaganligidir. Paxta bo‘lagini tozalash zonasidan tezroq chiqib ketishini inobatga olgan holda qoziqchali-plankali barabanni burchak tezligini (46-50)c^{-1} bo‘lishi maqsadga muvofiq hisoblanadi.



3-rasm. Tozalagichdagi to‘lqinsimon planka yuzasiga urilgandan so‘ng paxta bo‘lagi va ajralgan iflosliklar tezliklarining baraban burchak tezligi o‘zgarishiga bog‘liqlik grafigi.

Xulosa. Paxtani mayda iflosliklardan tozalagichning qoziqli barabani to‘lqinsimon yuzali og‘ma plankalari bo‘lgan samarali konstruktiv sxemasi ko‘rib chiqilgan. Nazariy tadqiqotlar natijasida paxta bo‘lagi va undan ajralib chiqqan turli massali absolyut tezliklarini hisoblash grafiklari olingan, sonli yechim natijasida, qurilgan grafiklar taxliliga ko‘ra baraban parametrlari tavsiya qiymatlari aniqlangan.

Adabiyotlar

[1]. Первичная переработка хлопка-сырца. Учебное пособие. Под ред. З.З. Зикриёева, Т., Мехнат, 199. С. 84–86.

[2]. Джураев А. и др. Очистительная секция хлопкоочистительного агрегата. Патент FAP №00948, Бюлл. №9, 2014.

[3]. Пособие по первичной обработке хлопка, АО «Узпахтасаноат». Ташкент, 2019, 141–150 стр.

[4]. А.Джураев и др. Рыхлительный барабан очистителя волокнистого материала. Патент IAP 03023, Бюл. 2, 2006 года.

[5]. Патент IAP №07077 «Очиститель волокнистого материала» 2022.

[6]. Бутенин, Н. В. Курс теоретической механики. В 2 т. Т. 2. Динамика /Н. В. Бутенин, Я. Л. Лунц, Д. Р. Меркин. М.: Наука, 1985. – 496 с.

[7]. Лойцянский, Л. Г. Курс теоретической механики. В 2 т. Т. 2. Динамика / Л. Г. Лойцянский, А. И. Лурье. М.: Наука, 1983. – 640 с.

[8]. Пановко, Я. Г. Введение в теорию механического удара / Я. Г. Пановко. - М.: Наука, 1977. – 224 с.

[9]. Сборник задач по теоретической механике / под рук. К. С. Колесникова. - М.: Наука, 1983. – 320 с.

[10]. Лейбовач М.Б. Теория удара в задачах и примерах. Тихоокеанский гос. универс Хабаровск, 2016, 236С.

[11]. Махкамов Р.Г. и др. Исследование ударного взаимодействия летучек хлопка с различными поверхностями. "Хлопковая промышленность". -Ташкент, 1980. – №1. – С. 5-6. –

[12]. Джураев А. Разработка конструкций и методы расчета параметров колеблющихся сеток // Монография. Deutschland, Germany изд. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016-157 с.

[13]. Тимошенко С.П., Янг Д. Х., Унвер У., Колебания в инженерном деле. Машиностроение, М., 1976, 320 с.

[14]. A. Djurayev, S. Sayitqulov, O. Radjabov, B.Bozorov, N. Komilov, Research on improving the working bodies of the machine for cleaning cotton from waste. EPRA International Journal of Research and Devolopment (IJRD). Volume:6 / Issue:3/ March 2021.

YANGI TEXNALOGIK JARAYONLARNI TUZATISHDA DIAGNOSTIKA USULLARINI QO‘LLASH

R.S. Ulug‘xojayev

Farg‘ona davlat texnika universiteti
+998916755817. ruzihoja.ulughojaev@gmail.com
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Maqolada yangi texnologik jarayonlarni tuzatishda diagnostika, xususan vibroakustik (VA) signallardan foydalanishning ilmiy-amaliy ahamiyati yoritilgan. Qattiq yo‘nish texnologiyasi (QYT) misolida kesish jarayonida yuzaga keladigan tebranishlar, harorat va sirt qattiqligi o‘zgarishlari o‘rganiladi. Akselerometrlar yordamida olingan VA signallarining amplituda va chastota xususiyatlari kesuvchi asbobning holati, ishlov berilayotgan materialning qattiqligi hamda dastgohning elastik tizimi haqida muhim ma’lumot beradi. Turli kesish tezliklarida VA signallarining o‘zgarishi tahlil qilinib, o‘tkir va o‘tmas asboblarning ishlashidagi farqlar hamda ularning sirt sifatiga ta’siri ko‘rsatib berilgan. Tadqiqot natijalari texnologik nosozliklarni erta aniqlash, optimal kesish rejimlarini tanlash va asbobning turg‘unligini oshirish imkonini beradi.*

Tayanch iboralar: *yangi texnologik jarayon, diagnostika, vibroakustik (VA) signal, Qattiq yo‘nish, . Akselerometr, amplitude, chastota, kesuvchi asbob, materialning qattiqligi, elastik tizimi, kesish tezliklari, o‘tkir va o‘tmas asbob, optimal kesish rejimlari, asbobning turg‘unligi.*

Аннотация.

В статье освещается научно-практическое значение использования диагностических, в частности виброакустических (и) сигналов в коррекции новых технологических процессов. На примере технологии твердого направления (QYT) изучаются колебания, изменения температуры и твердости поверхности, возникающие в процессе резки. Амплитудно-частотные характеристики сигналов ва, полученные с помощью акселерометров, дают важную информацию о состоянии режущего инструмента, твердости обрабатываемого материала, а также о упругой системе станка. Были проанализированы изменения различных скоростей резания и сигналов, чтобы показать различия в характеристиках острых и непроницаемых инструментов, а также их влияние на качество поверхности. Результаты исследований позволяют на ранней стадии выявить технологические неисправности, выбрать оптимальные режимы резания, повысить стабильность работы инструмента.

Ключевые фразы*: новый технологический процесс, диагностика, виброакустический (и) сигнал, жесткое направление,. Акселерометр, амплитуда, частота, режущий инструмент, твердость материала, система упругости, скорости резания, острый и непроницаемый инструмент, оптимальные режимы резания, стабильность инструмента.*

Annotation. *The article highlights the scientific and practical importance of using diagnostic, in particular vibroacoustic (and) signals in correcting new technological processes. Using the example of solid direction technology (QYT), fluctuations, changes in temperature and surface hardness that occur during the cutting process are studied. The amplitude-frequency characteristics of the va signals obtained using accelerometers provide important information about the condition of the cutting tool, the hardness of the material being processed, as well as the elastic system of the machine. Changes in different cutting speeds and signals were analyzed to show differences in the characteristics of sharp and impenetrable tools, as well as their effect on surface quality. The research results make it possible to identify technological malfunctions at an early stage, select optimal cutting modes, and increase the stability of the tool.*

Keywords: *new technological process, diagnostics, vibroacoustic signal(s), rigid direction,. Accelerometer, amplitude, frequency, cutting tool, hardness of the material, elasticity system, cutting speeds, sharp and impenetrable tool, optimal cutting modes, tool stability.*

1.Kirish.

Yangi texnologik jarayonlarni joriy etish muammolaridan biri bu jarayonni amalga oshirish uchun asbob-uskunalar va shart-sharoitlarga qo‘yiladigan talablarning noaniqligi bo‘lib, ularni optimallashtirish juda ko‘p tadqiqot ishlarini talab qiladi. Texnologik nosozliklarni tuzatish bosqichida diagnostika tizimlaridan foydalanish optimal ishlov berish rejimlari sohalarini va dastgohlarga qo‘yiladigan talablarni baholashni sezilarli darajada tezlashtirishi mumkin. Kesish

bilan birga keladigan VA signallarining eng muhim afzalligi shundaki, ular kesish zonasidan sezilarli masofada sodir bo‘ladigan jarayonlar haqida ma'lumot olish imkonini beradi. Texnologik jarayonning bezovta qiluvchi omillari va VA signallarining parametrlari o‘rtasidagi bog‘liqlikning qisqacha tavsifini beradi.

2.Qattiq yo‘nish texnalogik jarayonini tuzatish

"Qattiq yonish" ning yangi texnologik jarayonini tuzatishda VA-diagnostika usullaridan foydalanish misoli tahlil qilamiz.

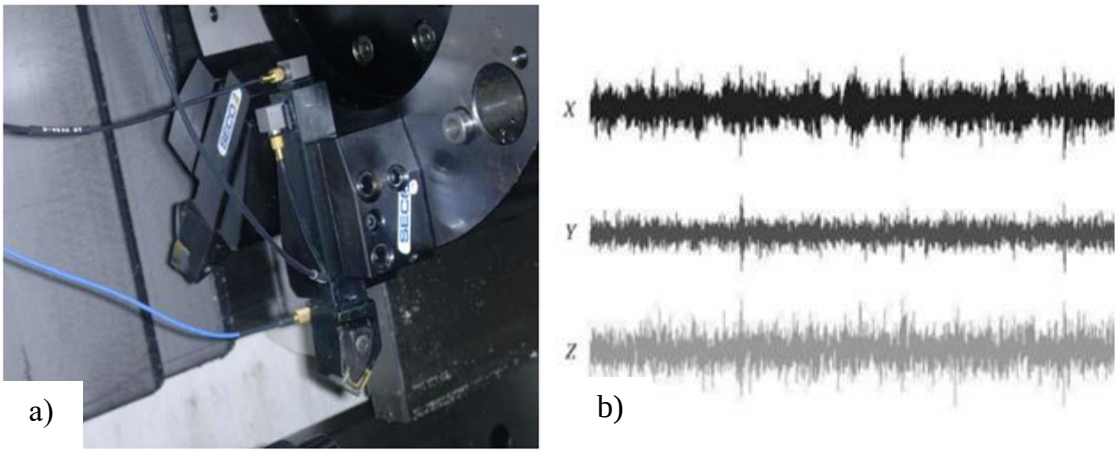
Qattiqligi 47 HRC dan yuqori bo‘lgan materiallarni qayta ishlash endi g‘ayrioddiy narsa bo‘lmasa-da, uni ma'lum bir korxonada qo‘llash texnologik uskunalarni tanlashda, ushbu uskunaga qo‘yiladigan talablarni va amalga oshirish bosqichida yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan nosozliklar sabablarini aniqlashda qiyinchiliklarga olib keladi. Mashinasozlik korxonalarida qattiq yo‘nish texnologiyasi (QYT)dan foydalanib qattiqligi yuqori bo‘lgan materiallarga ishlov berish qollanilmoqda. Qattiq **yo‘nish**ning amalga oshirish qoidasi - ishlov beriladigan yuzani tegishish qismida kesish qirrasi bilan 1300 ... 1600°S haroratgacha qizdirishdir [1]. Kesuvchi asbobni to‘g‘ri tanlangan geometriyasi va kesish ma’romlari ishlov berilayotgan detal materialni plastik deformatsiya paytida hosil bo‘lgan issiqlik tufayli isitish imkonini beradi, bu esa uning mahalliy yumshatishni 25 HRC qattiqligigacha bo‘lishiga olib keladi. Maksimal haroratlar birlamchi plastik deformatsiyalar zonasida sodir bo‘ladi. Asosiy issiqlik qirindilar tomonidan chiqariladi, detalning ishlov beriladigan qismi va kesuvchi asbob qiziydi. Qirindi ajratilgandan so‘ng, materialning tez sovishi va qattiqlashishi sodir bo‘ladi, bu esa oxirgi qattiqlikning dastlabkiga nisbatan ikki birlikdan ko‘p bo‘lmagan pasayishiga olib keladi.

QYT ning sanab o‘tilgan xususiyatlari kesish asbobining geometriyasiga, dastgohning elastik tizimining bikrligiga, kesish ma’romlariga va boshqalarga qo‘yiladigan talablarni aniqlaydi. Kesuvchi asbob bilan kesishda ishlov beriladigan materialni bo‘shatish jarayonining rivojlanishi katta qiziqish uyg‘otadi. Bunga sabab kesish qotib qolgan materialda sodir bo‘ladi va kesish qirrasining yaxlitligi ham, sirtning tozaligi ham ishlov berish tezligiga bog‘liq. Kesish zonasida bo‘shatish to‘g‘risidagi ma'lumotlar faqat bilvosita kesish zonasidagi o‘rtacha harorat bilan baholanishi mumkin, bu vaqt va deformatsiyalangan material hajmida o‘zgaradi. Plastik deformatsiyalanayotgan xududdagi harorat ishlov beriladigan materiallar va asboblar materiallariga, kesish sharoitlariga, kesuvchi plastinkaning geometriyasiga, taglik materialiga, dastgohning elastik tizimining bikrligiga, uning vibroakustik faolligiga va bir qator ta'sirini baholash qiyin bo‘lgan boshqa omillarga bog‘liq bo‘lishi mumkin.

QYT jarayoni bo‘yicha olib borilayotgan izlanishlar jarayonida QYT jarayoniga qo‘shilgan paytdan boshlab kesish zonasidan chiqishgacha bo‘lgan VA signallarini boshqarish qo‘llanildi. Ma'lumki [1], kesish va ishqalanish vaqtida VA signallari (ayniqsa, uning yuqori chastotali komponentlari) asosan kontaktdagi nisbiy tezlik va kontakt juftligidagi eng past qattiqlik qiymati bilan belgilanadi, ya'ni ishlov beriladigan detalning sirt qattiqligi bilan. Qattiqlikning ortishi bilan VA signalining amplitudasining monoton o‘sishiga tayangan holda, ishlov beriladigan detalni kesish paytida vaqtinchalik jarayonlarni kuzatish va sirtni ishlov berish jarayonini baholash mumkin. Ushbu tajribalar seriyasida bunday kuzatishlarni tashkil qilish uchun akselerometrlar turli joylarda, elastik tizimning nuqtalari, shu jumladan kesish asbobining o‘zida ham joylashgan. Shu bilan birga, kesish sharoitlari, asboblarning yeyilishi va keskich ostidagi taglik materiali turlicha bo‘lgan.

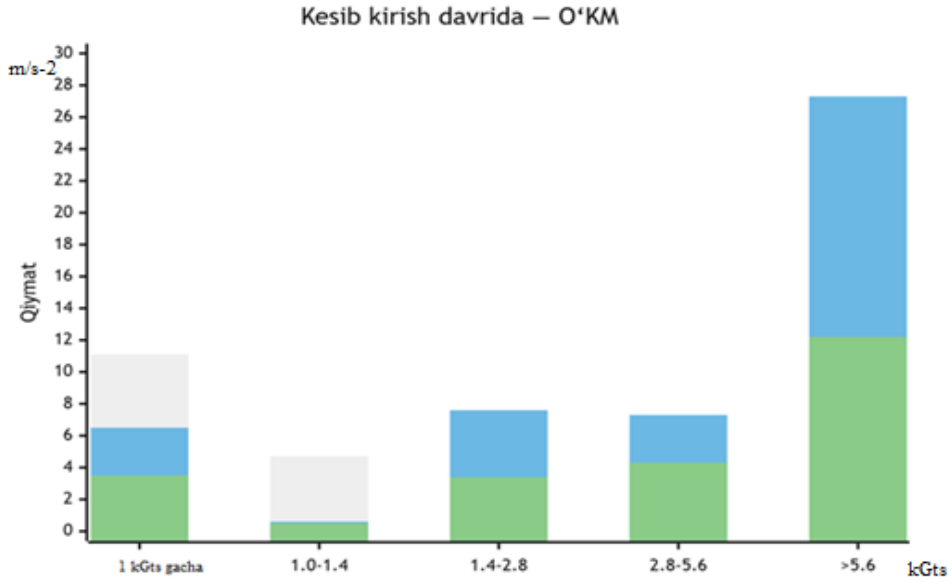
1a rasmda, keskishga o‘rnatilgan uch komponentli akselerometr bilan kesish zonasining fotosuratini ko‘rsatilgan. 1, b rasmda har bir koordinata o‘qi bo‘ylab qayd etilgan tebranish tezlashuvi signallariga misol keltirilgan. 2-rasmda ishlov beriladigan qismga kirib kesish va kesish paytida turli xil chastota diapazonlarida VA signalining samarali (O‘KM) va maksimal qiymatlari ko‘rsatilgan. Bir tezlikni, masalan, 250 m/min ga kamaytirish uchun, 250 m/min bilan solishtirganda, tezlikni oshirib yuborilgan darajada yuqori tezlikda ko‘rsatkichlarni kamaytirish kerak. Tezlikning past qiymatlari uchun, aksincha, olingan qiymatlarni oshirish kerak. Ushbu operatsiyadan so‘ng, 5,6 kHz dan ortiq diapazonda tezlashuv 125 m / min tezlikda bo‘ladi - 7,6 m /

s^{-2} , 250 m / min - 5,2 m / s^{-2} va 500 m / min - 3,4 m / s^{-2} . Bu shuni anglatadiki, 500 m / min tezlikda ishlov beriladigan buyumning sirt qattiqligi 250 m/min tezlikka nisbatan uchdan bir kam bo‘lgan va 125 m / min tezlikda 250 m/min ga nisbatan 46% ga yuqori bo‘lgan. 500 m/min tezlikda o‘tish jarayon ancha tezlashadi. Bu erda kesib kirish davridagi o‘rtacha sirt qattiqligi 250 m / min tezlikda kesish vaqtidan deyarli 4 baravar past.



1- rasm. Keskichga uch komponentli akselometrni o‘rnatish (a) va qattiq yonishda olingan signallar (b).

2-rasmda barqaror kesish (2-spektr) va 250 m/min tezlikda o‘tkir qirrali asbob bilan 55 HRC gacha toblangan zagotovkani kesishda X o‘qi bo‘ylab tebranish tezlashuvining oktava spektrlari ko‘rsatilgan (spektr 1). 2-rasmda shaklning tepasida ishlov beriladigan qismga kesish jarayonida VA signalining ko‘rinishi ko‘rsatilgan. O‘tish jarayoni bu holda 0,12 soniyada sodir bo‘ladi va ish qismi bir nechta aylanishni amalga oshirishga muvaffaq bo‘ladi.

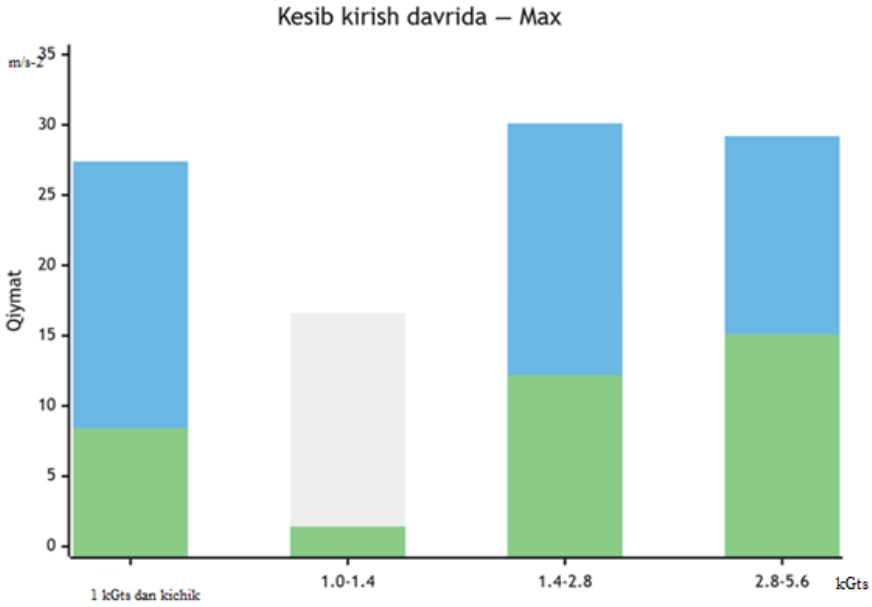


2 rasm. Kesib kirish davrida kesish tezliglarini VA signalni O‘KM ga ta’siri.

Bu kesuvchi qirraning parchalanishiga va sirt maydoni sifatining qabul qilinishi mumkin bo‘lmagan pasayishiga olib kelishi uchun etarli bo‘lishi mumkin. Agar bir marta yo‘nish paytida kesish qirrasi parchalanmasa, u holda katta dinamik yuklarning ta'siri ostida asbob materialida mikro yoriqlar paydo bo‘lishi mumkin, bu esa keyingi o‘xshash ta'sirlar bilan material zarralarining parchalanishiga olib keladi [2]. O‘tish jarayonning vaqti va unga hamroh bo‘lgan VA signalining amplitudasi sezilarli darajada dastgohning elastik tizimining, shu jumladan ishlov beriladigan qism va asbobning bikrliliga bog‘liq. VA signalini kuzatish orqali siz uskunaning sifatini va uning QYni amalga oshirishga yaroqliligini baholashingiz mumkin. Bu, ayniqsa, to‘xtab-to‘xtab kesuvchi kesish operatsiyalarida muhim ahamiyatga ega, bu erda asbob ishlov berish jarayonida, masalan, frezalashda toblangan sirtni qayta-qayta kesishi kerak. Shu munosabat bilan, turgunlik sinovlari toblangan sirtni kesish chastotasini hisobga olgan holda amalga oshirilishi kerak. Zagotovkaning sirt qattiqligini qo‘shimcha kamaytirish uchun kesish tezligini oshirish faqat kesishuvchi asbobning

turg‘unligi muddati va ishlov berishdan keyin sirt qattiqligi maqbul darajada saqlangan taqdirdagina oqlanishi mumkin.

QY paytida kesuvchi plastinaning yeyilishi va parchalanishi muhim muammodir, chunki kesuvchi qirraning o‘zgaruvchan geometriyasi plastik deformatsiya zonasining haroratiga ta'sir qiladi va ikkinchisi ishlov beriladigan yuzaning qattiqligini o‘zgartiradi. Kesuvchi qirraning qirindi bilan oldingi yuza va ishlov berilgan yuza bilan orqangi yuza o‘rtasidagi ishqalanishda eyilishi natijasida hosil bo‘ladigan issiqlik miqdori ortadi, lekin uning asbobning old va orqa yuzalarida o‘sib borayotgan aloqa maydoni bo‘ylab taqsimlanishi notekis o‘zgarishi mumkin. Bunday holda, kontakt yuzalarida qattiqligi yuqori bo‘lgan joylar paydo bo‘lishi mumkin. Avvalo, bu kesuvchi plastinaning orqa yuzasiga taalluqlidir, bu erda ishqalanish tezligi yuqori va isitiladigan sirt qatlamining chuqurligi qirindilar bilan solishtirganda katta emas.



3 rasm. Kesib kirish davrida kesish tezliglarini VA signalni maksimal effektiv qiymatiga ta’siri.

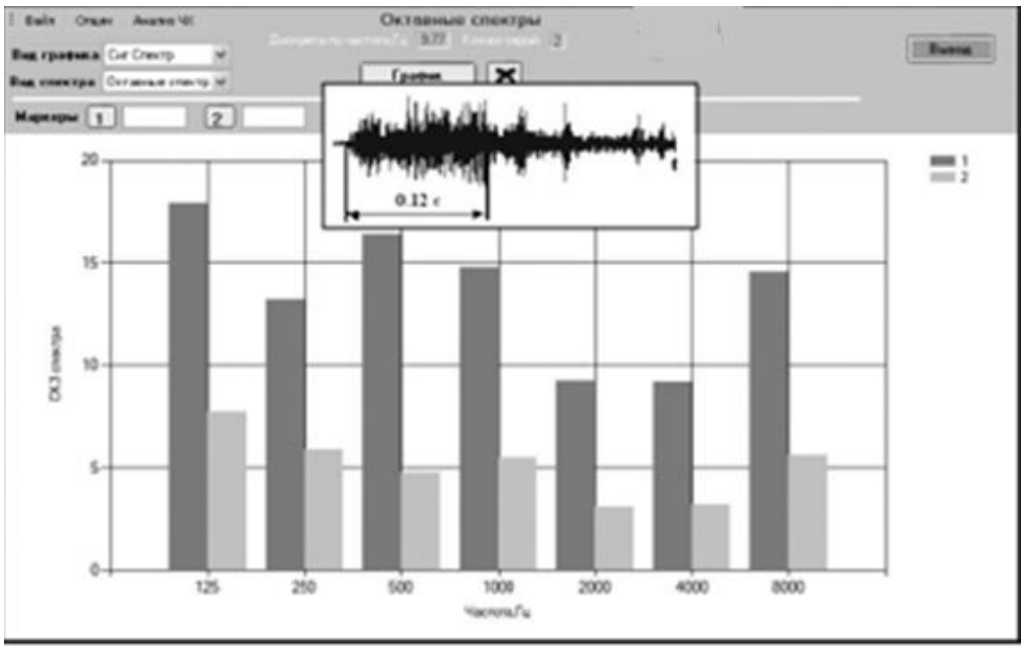
Kesuvchi qirraning to‘mtoqligi orqa yuza bo‘ylab aloqa maydonining qo‘shimcha kengayishiga va kontaktdagi solishtirma bosimning pasayishiga olib keladi. Aloqa maydonining kengayishi va uning kesuvchi qirradan asta-sekin olib tashlanishi, asbobning yeyilishi bilan, orqa yuza bo‘ylab aloqa joyining periferik joylarida qattiqlik oshishiga olib kelishi mumkin. Bu , ayniqsa, yuqori chastotalar hududida VA signalining amplitudasini oshirish uchun asos beradi.

3 rasmda asbob uchining tezlanish vektorining ("tezlanish ko‘tarilishi") kesish zonasida fazoviy taqsimoti ko‘rsatilgan (3-rasmga muvofiq XOY tekisligining ko‘rinishi).

1-jadval.

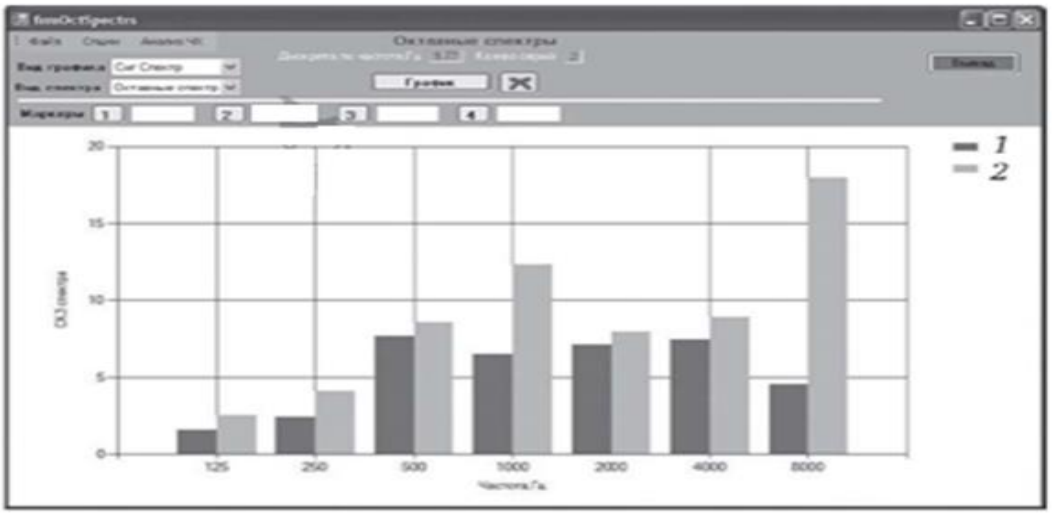
Turli kesish tezliklarida va turli chastota diapazonlarida VA signalning maksimal va effektiv qiymatlari m/c^2.(po‘lat40X-BOK60,surish 0.24mm/ayl, kesish chuqurligi 0,15 mm)/

Chastota diapazoni, kGts		1kGts dan kichik			1,0…1,4 kGts			1,4…2,8kGts			2,8…5,6 kGts			5,6 kGts dan katta		
Kesish tezligi,m/daq		125	250	500	125	250	500	125	250	500	125	250	500	125	250	500
kesib kirish davrida	O‘KM	11,1	6,5	3,5	4,7	0,6	0,5	4,4	7,6	3,4	6,2	7,3	4,3	11,61	27,3	12,2
	Max	18	27,4	8,4	16,6	1,4	1,4	18,1	30,1	12,2	20,1	29,2	15,1			
Kesishda	O‘KM	7,3	7,2	8,6	1,6	0,5	0,5	1,3	1,6	3,9	1,5	1,5	3,1	3,8	5,2	6,8
	Max	10,2	15,7	22	10,7	1,2	2,2	8,8	15,8	22	12,5	16	17,2			



4-rasm. Qattiq yo‘nishda X o‘qi bo‘yicha VA signalni oktava spektrlari: 1- toblangan yuzani kesib kirish davridagi spektrlarning O‘KM; 2- o‘tish davridan kegin yo‘nishdagi spektrlarining O‘KM.

4-rasmda o‘tkir va o‘tmas kesgichlar bilan kesishda VA signalining oktava spektrlari ko‘rsatilgan. Ko‘rinib turibdiki, deyarli barcha spektral komponentlarning amplitudalari yeyilish bilan ortadi. Eng yuqori chastotalarda amplitudalarning ortishi, ishlov berilgan sirtning qattiqligi ortib borayotgan yeyilish bilan ortadi degan gipoteza foydasiga gapiradi. Shuni qo‘shimcha qilish mumkinki, eskirgan keskish bilan yonish bilan birga keladigan signal o‘z vaqtida bir xil emasligi bilan ajralib turadi , u o‘tkir asbob uchun xos bo‘lmagan ko‘plab chaqnashlarni o‘z ichiga oladi.



5 rasm. Ushbu chaqnashlar darajasi ishlov beriladigan detalni kesib kirish paytida Qattiq yo‘nishda VA signalining oktav spektrlari:
1 — o‘tkir keskich bilan; 2 —o‘tmas keskich bilan;

Xulosa

Tadqiqot shuni ko‘rsatadiki, vibroakustik diagnostika qattiq yo‘nish jarayonida sodir bo‘ladigan tezkor o‘zgarishlarni aniqlashda samarali vosita hisoblanadi. VA signallarining chastota va amplituda bo‘yicha baholanihi kesuvchi asbobning yeyilishi, sirt qattiqligining o‘zgarishi va kesish zonasidagi issiqlik jarayonlari to‘g‘risida aniq ma’lumot beradi. Kesish tezligi ortganda sirt qattiqligi kamayishi, o‘tmas asbobda esa yuqori chastotali tebranishlarning kuchayishi aniqlangan.

Bu esa QYT uchun optimal ishlov rejimlarini tanlash va nosozliklarni oldindan bilish imkonini beradi. Demak diagnostika usullarini qo‘llash yangi texnologik jarayonlarni joriy etish samaradorligini oshiradi hamda ishlab chiqarishdagi texnologik xatoliklarni sezilarli kamaytiradi.

Adabiyotlar

[1]. Козочкин М.П., Маслов А.Р., Сабиров Ф.С., Порватов А.Н. К59 Диагностика и сертификация металлорежущего оборудования: учебное пособие. 2-е изд., испр. М.: Инновационное машиностроение, 2021. 240 е.: ил. ISBN 978-5-907104-73-0.

[2]. Завистовский, В. Э. Надежность и диагностика технологического оборудования : учеб. пособие / В. Э. Завистовский. — Минск : РИПО, 2019. — 257 с.: ил.ISBN 978-985-503-852-9.

[3]. Носов В. В. Диагностика машин и оборудования : учебное пособие для вузов / В. В. Носов. — 5$е изд., стер. — Санкт$Петербург : Лань, 2021. — 376 с. : ил. — Текст : непосредственный.

PAXTA G‘ARAMINI BUZISH JARAYONIDA ISHCHI QISMLARNING DEFARMATSIYALANUVCHI JISMLARGA TA’SIRI NAZARIYASI

D.U. Turg‘unov[1], N.M. Sattorov[2]

[1]Toshkent Kimyo xalqaro Universiteti
[2]Farg‘ona davlat texnika universiteti
e-mail: dilmurodturgunov1992@gmail.com
e-mail: sattorovnurillo707@gmail.com
ORCID: 0000-0001-7947-74
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada g‘aramlangan paxta qatlamidan paxtani ajratib olish vaqtida g‘aram qatlami bilan kontaktda bo‘layotgan chambarak qoziqchasi va deformatsiyalanuvchi materiallar(tola, chigit, uluk)ga ta’sir etuvchi reaksiya kuchini yuzaga keltirishi holatlari tekshirilgan. Aks ta’sir qonunidan kelib chiqib, bu kuch kattaliklari paxta bo‘lagi bilan qoziqcha orasida hosil bo‘luvchi zarba kuchiga teng bo‘lishi holatlari nazariy tahlil qilingan.*

Kalit so‘zlar: *G‘aramlangan paxta qatlami, paxtani ajratib olish, chambarak qoziqcha, ryeaksiya kuchi, dyeformatsiyalanuvchi materiallar, paxta tolasi, chigit, zarba kuchi.*

Аннотация. *В данной статье исследуются случаи возникновения силы реакции, возникающей при контакте круглого ворса с деформируемыми материалами (волокном, семенами, лентой) во время отделения хлопка от плотного хлопкового слоя. На основе закона противодействия теоретически анализируются случаи, когда величина этих сил равна силе удара, возникающей между куском хлопка и ворсом.*

Ключевые слова: *Плотный хлопковый слой, отделение хлопка, круглый ворс, сила реакции, деформируемые материалы, хлопковое волокно, семена, сила удара.*

Abstract. *This article investigates the cases where a reaction force is generated by a circular pile in contact with the pile and deformable materials (fiber, seed, sliver) during the separation of cotton from a packed cotton layer. Based on the law of counteraction, the cases where the magnitude of these forces is equal to the impact force generated between the cotton piece and the pile are theoretically analyzed.*

Keywords: *Packed cotton layer, cotton separation, circular pile, reaction force, deformable materials, cotton fiber, seed, impact force.*

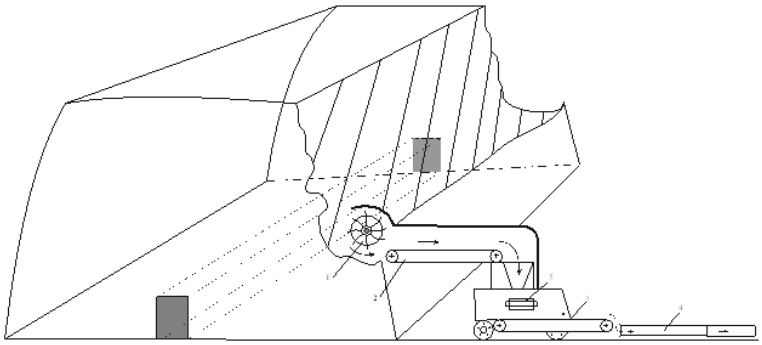
Asosiy qism

Paxtani uzatishdagi notekislik g‘aram buzish jarayonida paydo bo‘lishi va uning darajasi tajribaviy tadqiqotlar yordamida aniqlandi. Notekislikni yuzaga keltiradigan omillarni aniqlash va ularni ma’lum darajada bartaraf qilish uchun bevosita g‘aram buzish jarayonini nazariy tadqiq etishni talab etadi. Tadqiqotlarda paxtani qoziqchali barabanlar yordamida tozalash bo‘yicha amalga oshirilgan ishlardagi nazariy yondashuvlardan foydalanildi [1; 87-90 b.].

Paxta tozalash korxonalarida chigitli paxta g‘aramini buzib, ishlab chiqarishga uzatish mexanik usulda RP, RBX, RBA markali g‘arambuzgichlar yordamida amalga oshirilishi haqida avvalroq aytib o‘tganmiz.

G‘aramlangan chigitli paxtani g‘aramdan olib, ishlab chiqarishga uzatish jarayonida g‘arambuzgich g‘aramning kichik o‘lchamli tomoni o‘rta qismiga joylashtirilib, g‘aramning yuqori qismidan boshlab g‘aramni buzishga kirishadi. Uskuna o‘qining uch qismida joylashgan chambarak yuqoridan pastga qarab aylanib, g‘aramdan ajratib olingan paxta bo‘laklarini tashuvchi lentaga uzatib beradi. Tashuvchi lenta ajratib olingan paxta bo‘laklarini paxta to‘plagichga keltirib tashlaydi. Uning ostida joylashgan chiqaruvchi lentali transportyor paxtani yon tomonga, ko‘chma gorizontal lentali transportyorga tashlaydi. U o‘z navbatida paxtani havo transportiquvuriga tashlab beradi.

Olib borilgan tadqiqot natijalariga ko‘ra paxta zichligining eng yuqori kattaligi paxta xomashyosi va charxpalakning amaldagi parametrlarida 38.6 kg/m^3 ni tashkil etishini ko‘rsatmoqda. Qoziqchalar oralig‘ida zichlik 38.2 kg/m^3 gacha pasayadi. 2- qoziqcha urilganda zichlik yana maksimal qiymatga ko‘tarilib, yana keskin pasayadi. Bu holat barcha qoziqchalarda qaytariladi va oxirgi qoziqchadan keyin paxta transportyor lentasi yuzasiga tushadi va uning zichligi taxminan 37.8 kg/m^3 darajasida o‘zgarishsiz qoladi[2; 65-76 b.].



1–rasm. Pnevmotransport tizimi dastlabki qismi umumiy ko‘rinishi.

Yuqorida olib borilgan nazariy tahlilarga ko‘ra, g‘aramlangan paxta qatlamidan paxtani ajratib olishda g‘aram qatlami bilan ajratib olinayotgan chambarak qoziqchasiga ta’sir etuvchi reaksiya kuchini yuzaga keltiradi [3; 87-s.]. O‘zaro aks ta’sir qonuniga muvofiq bu kuch kattaligi paxta bo‘lagi bilan qoziqcha orasida hosil bo‘luvchi zarba kuchiga teng bo‘ladi. Ushbu kuchning qiymatini kamaytirish maqsadida quyidagi nazariy tahlillarni amalga oshirdik.

METODLAR

Tadqiqotlar g‘arambuzgichning paxtani bir tekisda uzatib bermasligi va g‘aramni buzish jarayonida ma’lum miqdorda chigitni shikastlashini ko‘rsatmoqda. Bu kamchiliklar amaliy jihatdan g‘aram buzishni kuchli zarbali ta’sir va mashina ishchi organlari konstuktiv xususiyatlari bilan izohlansada, jarayon nazariy jihatdan yetarlicha o‘rganilmagani natijasida yuqoridagi kamchiliklarning nazariy tomondan izohi topilgan emas. Ushbu masalaga aniqlik kiritish maqsadida g‘aramni mexanik buzish jarayoni va qoziqlar orasida joylashgan paxta massasining harakatini o‘rganib chiqamiz. Buning uchun, jarayonni chambarak paxta g‘aramiga to‘liq holda ta’sir etadigan vaziyatni nazarda tutib, jarayon stasionar holatda, deb qabul qilamiz. Bu holat ma’lum t vaqt oralig‘ida davriy ravishda takrorlanib turadi. Ushbu jarayon sxemasi 3-rasmda ko‘rsatilgan.

G‘aram buzgich chambaragi reduktor orqali xarakatni uskuna xartumi bo‘ylab joylangan val va unga mufta orqali ulangan matordan oladi. Chabarak valiga keluvchi quvvat N_{ch} mator quvvatiga bog‘liq:

$$N_ч = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot N_m \quad (1)$$

Bu yerda: η_1 xarakat uzatgich(val va mufta) FIK η_1 =0,98;

η_2 –reduktor FIK η_2=0,91

N_m=7,5 kVt –chambarakni aylantiruvchi mator quvvati.

Xisob ishlarini olib borish uchun standart usul sifatida mexanika qonunlaridan quvvat tenglamasini yozamiz:

$$N = \frac{A}{T} = \frac{M}{R} \cdot \frac{l}{T} = \frac{M}{R} \cdot v_n, \quad (2)$$

Bu yerda: A-chambarak bajaradigan ish, Joul;

M-burovchi moment, $N \cdot m$;

l-ko‘chish, m;

t-vaqt, sek $v_l = 0{,}8 м/сек$; chambarak chiziqli tezligi;

R-chambarak radiusi, m=0,55 m

$$M = \frac{N \cdot R}{V_n}; \quad (3)$$

Ikkinchi tarafdan

$$M = F \cdot R; \quad (4)$$

O‘rniga qo‘ysak

$$M = F \cdot R = \frac{N \cdot R}{V_n}, \text{ bundan}$$

Chambarakning paxtaga urilish kuchi:

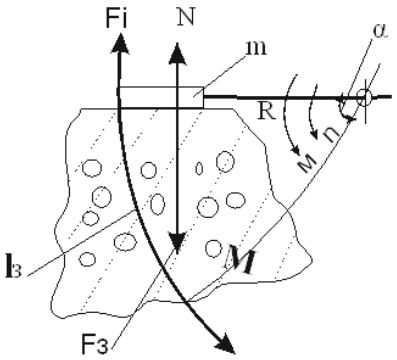
$$F = \frac{N_q}{v_л}, \quad (5)$$

Berilganlarga ko‘ra

$$F = \frac{7,5 \cdot 0,98 \cdot 0,91}{7,2} = 0,93 \text{ кН}$$

Bundan kelib chiqadiki, chambarak qoziqchalari paxta qatlamiga 0,93 kN kuch bilan urilar ekan.

Tasavvur qilaylik absalyut qattiq jism shu F_z kuchi bilan elastik jism bilan ta’sirlashadi.



2-rasm. Chambarak qoziqchasining paxta g‘arami bilan zarbali ta’sirlashuvi sxemasi.

$$\omega = \frac{n\pi}{30} = \frac{125 \cdot 3,14}{30} = 13,08 \frac{1}{c}$$

$$v_1 = \omega \cdot R = 13,08 \cdot 0,55 = 7,2 \text{ m/c}$$

Xarakat miqdorining o‘zgarish qonuniga muvofiq:

$$m_1 . v_1 - m_2 . v_2 = (F_i + F_q) t_з, \quad (6)$$

Kinetik energiyaning o‘zgarish qonuniga muvofiq esa:

$$m_1 . \frac{v_1^2}{2} - m_2 . \frac{v_2^2}{2} = A = (F_i + F_q) l_з, \quad (7)$$

Bu yerda:

m_1 va m_2 chambarak qoziqchasining dastlabki va keyingi massasi, kg;

v_1 va v_2 mos ravishta chambarakning tezliklari, m/s;

t_z-zarba vaqti, sek;

A-chambarak qoziqchasi bajaradigan ish, Joul;

F-zarba kuchi, N;

l_z-zarba yoyi uzunligi, m;

F_i-ishqalanish kuchi, N;

F_q-paxtaning qarshilik kuchi, N;

Chambarak qoziqchasi paxta g‘aramiga urilganda unga paxtaning ma’lum bir bo‘lagi ilashib chiqadi. Shuning uchun, paxtaning zarba oxiridagi massasi paxtaning dastlabki massasi m_1 bilan paxta massasi m_n ga teng bo‘ladi:

$$m_2 = m_1 + m_n \quad (8)$$

Zarba muddati qisqa muddatda ro‘y bergani uchun, zarbadagi ishqalanish kuchining ta’sirini xisobga olmaymiz.

$$F_i \approx 0$$

U xolda tenglama biroz soddalashadi. Agar (7) ni (8) ga bo‘lsak:

$$\frac{0,5 m_1 v_1^2 - 0,5 m_2 v_2^2}{m_1 v_1 - m_2 v_2} = \frac{l_з}{t_з}$$

Zarba yoyi uzunligi l_z ning zarba vaqti t_z ga nisbati qoziqchaning dastlabki va keyingi tezliklari farqlariga teng bo‘ladi. Shunga ko‘ra:

$$\frac{0,5(m_1 v_1^2 - (m_1 + m_n) v_2^2}{m_1 v_1 - (m_1 + m_n) v_2} = v_1 - v_2$$

Bundan quyidagini topamiz:

$$m_1(v_1^2 - v_2^2) - m_n\, v_2^2 = 2[m_1(v_1 - v_2) - m_n v_2](v_1 - v_2)$$

Bir qancha shakl almashtirishlardan so‘ng quyidagini olamiz:

$$3v_2^2(m_1 + m_n) = 2v_1 \cdot v_2(m_1 + m_n)$$

Unga ko‘ra:

$$v_2 = \frac{3}{2}v_1 \text{ yoki } v_2 = \frac{3}{2} \cdot 7{,}2 = 4{,}8 \text{ м/с}$$

Boshqa tomondan bitta qoziqcha ajratib oladigan paxta massasi m_n ni topishga xarakat qilamiz:

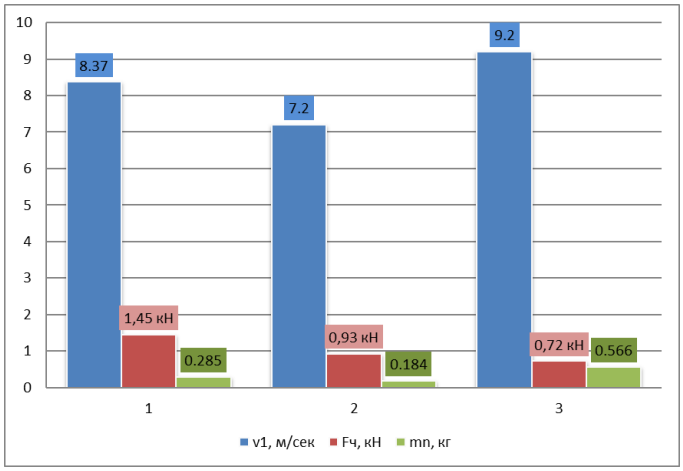
G‘aram buzgich ish unumi:

$$П_ғ = m_n \cdot n_ч \cdot n_q \cdot 10^3, \qquad \text{kg/sek;}$$

Odatda g‘aram buzgich ish unumi 10-12 tonna/soat ga teng.

Bir soniyada qancha paxtani ishlab chiqarishga yuborishini bilish uchun quyidagi amallarni bajaramiz.

$$П_ғ = (10 \div 12) \cdot \frac{1000}{3600} = \frac{(2{,}78 \div 3{,}33)\text{кг}}{\text{сек}};$$



3–rasm. Chambarak tezligini zarba kuchiga va xar-bir qoziqchaga ta’siri.

Chambarak aylanishlar soni

$$n_ч = 125\,\frac{\text{айл}}{\text{мин}} = \frac{125}{60} = 2{,}08\,\frac{1}{\text{с}};$$

Qoziqchalar soni n_q=8 ta bo‘lganda:

$$m_n = \frac{П_ғ}{n_ч \cdot n_q \cdot 10^3} = \frac{2{,}78 \div 3{,}33}{2{,}08 \cdot 8}$$

Yoki u quyidagiga teng:

$$m_n = 0{,}167 - 0{,}2 \text{ кг}$$

Xar bir qoziqchaga to‘g‘ri keladiga paxta miqdorini g‘aramda aniqlamoqchi bo‘lsak u holda bu qiymat quyidagiga teng bo‘ladi:

167÷200 gr o‘rtacha qiymatni olganimizada xar-bir qoziqchaga 184 gr paxta to‘g‘ri kelmoqda.

$$2{,}4m_1 - 883{,}2 = F_з.t_з$$

$$15{,}795 \cdot m_1 - 1863 = F_з \cdot l_з$$

N’yutonning 2-qonuniga ko‘ra

$$F_ч = m_1 \cdot a = m_1 \cdot \left(\frac{v_1 - v_2}{t}\right) = m_1 \cdot \frac{7{,}2 - 4{,}8}{t} = m_1 \cdot \frac{2{,}4}{t};$$

Bundan

$$m_1 = F_ч \cdot \frac{t_з}{2{,}4} = \frac{0{,}93}{2{,}4} \cdot t_з$$

$m_1 = 0{,}38 \cdot 10^3 \cdot t_з$ ni topamiz.

NATIJALAR

Ilmiy adabiyotlarda berilgan ma’lumotlarga ko‘ra metall qoziqchalarning paxta bilan zarbalashuvi vaqti $0{,}0025 \div 0{,}003$ sekundni tashkil qiladi. [Burnashev]

Unga ko‘ra

$$m_1 = 0{,}38 \cdot 10^3 \cdot = 1{,}14 \text{ кг}$$

Bu yerda m_1 bitta qoziqchaning paxtaga keltiradigan massasi xisoblanadi.

Xarakat miqdorining o‘zgarishi qonuniyatiga binoan:

$$m_1\, v_1 - m_2 v_2 = F_з t_з$$

Zarba kuchini Gers qonuniga bo‘ysunadi deb qabul qilamiz.

U holda

$$F_з = \Delta \cdot C$$

Kinetik energiyaning o‘zgarishi qonuniga binoan:

$$\begin{cases} m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2 = F_з \cdot l_з \\ m_1 \dfrac{v_1^2}{2} - m_2 \dfrac{v_2^2}{2} = F_з \cdot \Delta \end{cases}$$

$$1{,}14 \cdot 7{,}2 - 1{,}324 \cdot 4{,}8 = F_з \cdot l_з$$

$$1{,}14 \cdot \frac{7{,}2^2}{2} - 1{,}324 \cdot \frac{4{,}8^2}{2} = F_з \cdot \Delta_з$$

$$\begin{cases} 1{,}84 = F_з t_з \\ 14{,}1 = A = F_з l_з \end{cases}$$

Bundan:

$$\frac{14{,}1}{1{,}84} = \frac{F_з l_з}{F_з l_з} = \frac{l_з}{t_з}$$

Tenglikdagi mos qiymatlar o‘zaro qisaqarishi natijasida quyidagiga erishamiz:

$$\frac{l_з}{t_з} = 7{,}66 \frac{м}{сек};$$

Bu yerdan qozichning zarba vaqtida qandaydir masofaga ko‘chishini bilib olamiz;

$$l_з = 7{,}66 \cdot t_з = 7{,}66 \cdot 0{,}003 = 0{,}02 \text{ м} = 20 \text{ мм}$$

Demak, bir dona chambarak qoziqchasining paxta qatlamida hosil qiladigan deformatsiyasi 20 mm ga teng bo‘lishi kelib chiqdi.

Zarba kuchi urilgan yuzada zo‘riqish yoki kuchlanish yuzaga keladi. Paxtadagi sifat buzilishlarining aynan shu zo‘riqish kuchlari yuzaga keltiradi.

Kuchlanish yoki zo‘riqish, ta’rifga ko‘ra kuchning shu kuch ta’sir ko‘rsatayotgan maydoni nisbatiga teng:

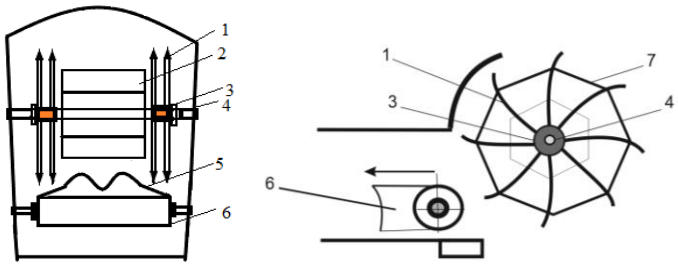
$$G = \frac{F_з}{S} \quad , \qquad (10)$$

MUNOZARA

$l_т$ yoy uzunligi qoziqcha diametriga bog‘liq. Ammo diametr qanchalik katta bo‘lsa qoziqchaning paxta qatlami va bo‘lakchalar orasidagi ishqalanish va ilashish kuchlarini yengish imkoniyati pasayadi, ya’ni paxta ichiga botishi qiyinlashadi. Shuning uchun, paxtaga ta’sir qiluvchi kuchlarni kamaytirish, qoziqcha diametrlarini oshirish maqsadga muvofiq emas.

Shunga ko‘ra, biz bu masalani hal qilishning muqobil varianti sifatida chambarakdagi paxta bilan bir vaqtda ta’sirlanuvchi qoziqlar sonini ko‘paytirishni tavsiya qilamiz.

Bu maqsadni ro‘yobga chiqarish uchun chambarakning yangi konstruksiyasini ishlab chiqdik.



8-rasm. Yangi chambarak konstruktiv sxema. U quyidagi ishchi elementlardan iborat: 1-ishchi qoziqcha, 2-reduktor, 3-qoziqcha asosi(balvashka), 4-val, 5-tashilayotgan paxta, 6-olib ketuvchi lenta, 7-biriktiruvchi sterjen.

Unga ko‘ra chambarak yoyining biriktiruvchi sterjeni xar ikki tomoniga qoziqcha o‘rnatiladi. Natijada paxta bilan bir vaqtda ta’sirlashadigan qoziqlar soni ikki barobar oshadi, ya’ni to‘rttaga yetadi. Yangi chambarak sxemasi 8-rasmda keltirilgan.

Paxtaning titilishini oshirish hamda tola va chigitning shikastlanishini kamaytirish uchun chambarak qoziqchalarini aylanish yo‘nalishi bo‘yicha muayyan burchakka og‘dirish taklifini ishlab chiqdik. Bu o‘z navbatida paxtani g‘aramdan ajratib olish jarayonida qoziqchalarning g‘aramdagi paxta qatlami bilan muayyan burchak ostida a’sirlashishini va bunda yuzaga keladigan zarba va ilashish kuchlarini kamaytirishni ta’minlaydi.

Bu yechimni faqat qoziqchaning o‘zini og‘dirish bilan amalga oshirish chambarak mustahkamligini pasaytiradi. Shuning uchun chambarakning qoziqchalar o‘rnaydigan radial sterjenlarini og‘dirish maqsadga muvofiq, deb topildi. Chambarakning ishchi sxemasi 8-rasmda keltirilgan.

XULOSA

Olingan natijalardan chambarak aylanish soni 80 ayl/min bo‘lganda qoziqchalarning paxta qatlami bilan ta’sirlashuvi natijasida ko‘chishi 10 mmga, 120 ayl/minda ushbu qiymat 20 mm ga, 160 ayl/minda mos tarzda 30 mm masofaga ko‘chishi kelib chiqdi. Bunga qo‘shimcha qoziqlarning ishchi diametri zarba kuchlari xosil bo‘lishiga asosiy ta’sir etuvchi qiymat bo‘lmasida, bu qiymat kattalashgani sari qoziqchaning paxta qatlasiga botishi qiyinlashadi. Bu esa uz navbatida mashinaning ish unumdorligiga salbiy ta’sir qiladi. Paxta qatlamiga botuvchi qoziqchaning balandligi 12 mm dan ortirilsa, metal va elastik jismlar ishqalanishi va zarba vaqtida aks ta’sir ko‘rsatuvchi kuch natijasida zo‘riqish ko‘payadi. Yuqorida keltirilgan tahlillarga ko‘ra qoziqcha ishchi balandligi 10 mm, qoziqcha diametrini 32 mm va chambarak aylanishlar sonini 120 ayl/min bo‘lganda mavjud g‘aram buzuvchi mashinalar yordamija buzilganda paxta zichligi 41.5-43.8 kg/m^{3}bo‘lsa, sambarak bo‘ylamasiga joylashgan qoziqlar sonini 2 tadan 4 taga oshirish natijasida paxtaning zichligi (qoziq diametri 14mm)37.2-39.7 kg/m^3 ni tashkil etmoqda.

Adabiyotlar

[1]. Mardanov B., Sarimsakov O., Paxta g‘aramini mexanik buzish jarayonini nazariy o‘rganish.Farg‘ona politexnika instituti ilmiy-texnika jurnali.№1, 2017., 125-127 b., (05.00.00 №20)

[2]. Turgunov Dilmurod Umarali o’g’li, Sarimsakov Olimjon Sharipjanovich, Mirzayev Bahromjon Mahmudovich. “Theoretical research of the effect of damage and air transport working parts on cotton raw materials”. Methodical research journal. December 2021. 65-76 p

[3]. X.Ibrogimov, R. Korabelnikov. Parametrы dvijeniya chastis xlopka-sыrsa po poverxnosti kolkov v ochistitelyax melkogo sora.№1 (313) Texnologiya tekstilnoy promыshlennosti., 2009., 87 s.

[4]. D.Turg’unov., O.Sarimsakov. “Theoretical Fundamentals of Cotton Transportation to Pnevmotransport Equipment”. International Journal of Human Computing Studies. March-april 2021. 212-220 p.

[5]. D.U. Turg‘unov1, N.M. Sattarov1, O.Sh.Sarimsakov2, Ortiqova K.I2 “Paxtani pnevmotransportda tashishda notekislikni bartaraf etish nazariyasini ishlab chiqish” Farg‘ona politexnika instituti ilmiy texnika jurnali. №2, 2021., 22-28 b.

[6]. Sarimsakov Olimjon Sharipjanovich, Sattarov Nurillo Muzaffar o’g’li, Turgunov Dilmurod Umarali o’g’li “Reduction of aerodynamic resistance of air transport input part input (mouth) in the process of transportation of cotton with pnevmotransport” Scientifik and technical journal of NamIET.. №1, 2022, 74-79b.

[7]. Sarimsakov Olimjon Sharifjanovich, Turg’unov Dilmurod Umarali o‘g‘li, Babayeva Malikakhan Nabijon kizi “The Velocity Distribution over the Cross Section Pipes of Pneumatic Transport Installations Cotton”. Middle European Scientific Bulletin. 2021; ISSN 2694-9970: 227-232 p. 53.

[8]. Sarimsakov Olimjon Sharipjanovich, Sattarov Nurillo Muzaffar ugli, Turgunov Dilmurod Umarali ugli. “Theoretical and Practical Examination of the Process of Transfer of Cotton to the Pipes of the Air-Carrying Device”. International Journal of Trend in Scientific Research and Development(IJTSRD). January-February 2022. 799-802 p.

TABIIY IPAK TANDA IPLARINI KO‘P DAVRLI DEFORMATSIYAGA CHIDAMLILIGI TADQIQI

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 06.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Mazkur maqolada tabiiy ipak tanda iplarining ko‘p davrli cho‘zilish deformatsiyasiga chidamliligi tadqiq etilgan. Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, to‘qimachilik jarayonida iplar minglab takroriy yuklamalar ta’sirida bo‘lib, bu ularning strukturasi va fizik-mexanik xususiyatlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi . Tadqiqot jarayonida turli tuzilishga ega, kam buram berilgan va buram berilmagan tabiiy ipak iplarining chidamliligi laboratoriya sharoitida o‘rganildi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, iplarni qo‘shish va ularga buram berish orqali ularning ko‘p davrli deformatsiyaga chidamliligi sezilarli darajada oshadi. Ayniqsa murakkab buram berilgan iplarda eng yuqori natijalar kuzatildi. Ushbu natijalar to‘qimachilik sanoatida yuqori sifatli gazlamalar ishlab chiqarishda muhim ahamiyatga ega bo‘lib, ishlab chiqarish samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.*

Kalit so‘zlar: *tabiiy ipak, tanda ipi, deformatsiya, ko‘p davrli cho‘zilish, chidamlilik, buram, ip tuzilishi, fizik-mexanik xossalar, to‘qimachilik, laboratoriya sinovi, PH-5 pulyasator, ip mustahkamligi, siklik yuklama, ip sifat ko‘rsatkichlari.*

Аннотация: *В данной статье исследуется сопротивление нитей натурального шелка многоцикловой деформации растяжения. Анализы показывают, что в процессе ткачества нити подвергаются тысячам повторяющихся нагрузок, что существенно влияет на их структуру и физико-механические свойства. В ходе исследования в лабораторных условиях изучалось сопротивление нитей натурального шелка различной структуры, с низкой и нулевой кручением. Результаты показали, что добавление нитей и их кручение значительно повышают сопротивление многоцикловой деформации. Наиболее высокие результаты наблюдались, в частности, для нитей со сложным кручением. Эти результаты имеют большое значение для производства высококачественных тканей в текстильной промышленности и способствуют повышению эффективности производства.*

Ключевые слова: *натуральный шелк, саржевая нить, деформация, многоцикловое удлинение, прочность, кручение, структура нити, физико-механические свойства, текстиль, лабораторные испытания, пултрудер PH-5, прочность нити, циклическая нагрузка, параметры качества нити.*

Abstract: *This article studies the resistance of natural silk yarns to multi-cycle tensile deformation. Analyses show that during the weaving process, the yarns are subjected to thousands of repeated loads, which significantly affects their structure and physical and mechanical properties. During the research, the resistance of natural silk yarns with different structures, with low twist and without twist, was studied in laboratory conditions. The results showed that by adding yarns and twisting them, their resistance to multi-cycle deformation increases significantly. The highest results were observed, especially for yarns with complex twist. These results are of great importance in the production of high-quality fabrics in the textile industry and serve to increase production efficiency.*

Keywords: *natural silk, twill yarn, deformation, multi-cycle elongation, durability, twist, yarn structure, physical and mechanical properties, textile, laboratory testing, PH-5 pultruder, yarn strength, cyclic loading, yarn quality parameters.*

Asosiy qism

To‘qimachilik iplardan mahsulot ishlab chiqarishda va tayyor mahsulotlarni ishlatishda ular ko‘p davrli cho‘zilish deformatsiyasiga uchraydilar. Gazlamalarni to‘qishda tanda iplari to‘quv dastgohida bir qancha ming davrli cho‘zilish deformatsiyasiga uchraydi. O‘z navbatida to‘qimadan olingan tayyor mahsulotlar ishlatish jarayonida har xil davrli deformatsiyalarga uchraydilar. Natijada iplarning tuzilishida murakkab o‘zgarishlar hosil bo‘ladi.

X.T. Bobojonov turli strukturadagi iplarni yarim davrli, bir davrli va ko‘p davrli deformatsiyalanishini tadqiq qilgan [37]. O.A. Axunbabayev, G.N. Valiyevlarning ishlarida to‘quv dastgohida tanda iplarining deformatsiyasini tadqiq qilishda homuza hosil bo‘lish va arqoq ipini to‘qima chetiga jipslashtirish oqibatida tanda iplarining tarangligini oshishini analitik bog‘liqligi olingan [59].

U.B. Rajapovaning ishida modifikatsiyalangan nitron va paxta aralashmasidan yigirilgan iplarning bir davrli cho‘zilish deformatsiyasi o‘rganilgan va olingan natijalar modifikatsiya qilinmagan ip ko‘rsatkichlariga o‘xshashligi aniqlangan [38]. B.B.Donyorovningdissertatsiya ishida oxorlangan va modifikatsiyalangan iplarni ko‘p davrli deformatsiyalanishi va ishqalanishga chidamliligi sifat ko‘rsatkichlari o‘rganilgan [39].

Ma’lumki, krep to‘qimalarida bir vaqtning o‘zida o‘ng va chap buramdagi krep iplari qo‘llaniladi. Odatda, to‘qima, buram yo‘nalishi bo‘yicha arqoq iplari juftlab to‘qiladi, 2ta o‘ng buramdagi, 2ta chap buramdagi ip. Krepdeshin to‘qimalarida tanda sifatida hom ipak iplari

qo‘llaniladi. So‘ngi yillarda tandalash jarayonini unumdorligini oshirish, tanda iplarini fizik-mexanik hususiyatlarini yahshilash, to‘quv dastgohida tanda kuzatkichni ishlatish imkoniyatlarini yaratish hamda to‘qima sifati va dastgox unumdorligini oshirishda tanda iplari sifatida kam buramdagi pishitilgan iplardan iborat bo‘lgan, krep gazlamani yangi turlari va ularni ishlab chiqarish texnologiyalari yaratildi. Bu borada to‘qishga tayyorlangan kam buram berilgan tabiiy ipak iplarining ko‘p davrli cho‘zilish deformasisiga chidamliligini tadqiq qilish katta ahamiyatga ega.

Ma’lumki,materiallarga ta’sir etuvchi ko‘p davrli defo rmatsiya kuchlari son miqdori bo‘yicha materialning chidamliligidan ancha kam bo‘ladi. Lekin bu kuchlar uzoq vaqt ko‘p marotaba ta’sir qilishi natijasida materiallar tuzilishida murakkab o‘zgarishlar hosil bo‘ladi va yemiriladi.

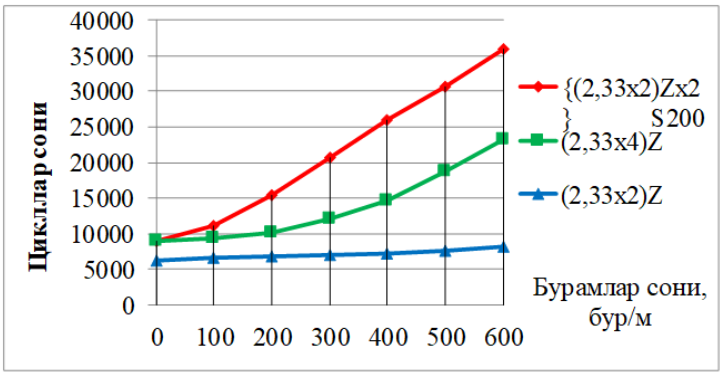
To‘qishga tayyorlangan kam buram berilgan tabiiy ipak iplarining ko‘p davrli cho‘zilish deformatsiyasiga chidamliligini aniqlashda PN-5 1- rasm) markali pulsator laboratoriya asbobidan foydalanildi. Bu asbobda iplarning ko‘p davrli cho‘zilishi sinusoidal qonuni bilan amalga oshiriladi.

PN-5 asbobidan foylalanishda sinalayotgan ip qisqichlar orasiga mahkamlanib ipning pastki qismiga, og‘irligi ipning mustahkamligidan 25 % bo‘lgan, statik yuk osildi [60].

1- rasm. PN-5 pulsator asbobining ko‘rinishi.

To‘qishga tayyorlangan 2,33 teks x 2 va 2,33 teks x 4 buram berilmagan hamda 100 – 600 buram/metr kam buram berilgan 2,33 teks x 2 va 2,33 teks x 4 tabiiy ipak iplarining ko‘p davrli cho‘zilish deformasisiga chidamliligi PN-5 pulsator laboratoriya jihozida har bir namunadan 24 marta tajribalar o‘tkazilib quyidagi 1- jadvalda keltirilgan natijalar olindi. 2- rasmda tabiiy ipak iplarining ko‘p davrli cho‘zilish deformasisiga chidamliligining buramlar soniga bog‘liqligi keltirilgan.

Kam buram berilgan tabiiy ipak tanda iplarining ko‘p davrli cho‘zilish deformatsiyasiga chidamliligi bo‘yicha olingan natijalar tahlili shuni ko‘rsatadiki (1- jadval, 2- rasm), iplar qo‘shilganda va ularga buram berilganda ularning chidamliligi oshadi. Bunda, ipning ko‘p davrli cho‘zilish deformatsiyasiga chidamliligi buram berilmagan 2,33 teks x 2 qavat va 2,33 teks x 4 qavat qilib qo‘shilgan iplarda o‘rtacha 6336ta va 8991ta sikllarni tashkil qilib 2,33 teks yakka iplarga nisbatan mos ravishda 2,51 va 3,56 martaga oshdi, 100 – 600 buram/metr kam buram berilgan 2,33 teks x 2 qavat va 2,33 teks x 4 qavat oddiy pishitilgan iplarda o‘rtacha 7245ta va 14708ta sikllarni tashkil qilib buram berilmagan 2,33 teks x 2 qavat va 2,33 teks x 4 qavat qilib qo‘shilgan iplarga nisbatan mos ravishda 14,35 va 63,59 %ga oshdi, 2,33teks 4 qavat murakkab pishitilgan ({(2,33x2)Zx2}S200) iplarda esa o‘rtacha 23312ta sikllarni tashkil qilib buram berilmagan 2,33 teks x 4 qavat qilib qo‘shilgan iplarga nisbatan 3,15 martaga oshdi va oddiy pishitilgan iplarga nisbatan ularning afzalligi yaqqol namoyon bo‘ldi.



2-rasm. Tabiiy ipak iplarining ko‘p davrli cho‘zilish deformasisiga chidamliligining buramlar soniga bog‘liqligi.

3.2-jadval

Tabiiy ipak iplarining ko‘p davrli cho‘zilish deformatsiyaga chidamliligi

№	Variantlar (Namunalar)	Sikllar (davrlar) soni, o‘rtacha	O‘rtacha kvadratik og‘ish	Og‘ish koeffisiyenti	Ishonarli xatolik	
					Abso-lyut	nisbiy %
Pishitilmagan iplar						
1	2,33x2	6336	744	11,74	307	4,85
2	2,33x4	8991	1051	11,69	434	4,83
Ikki qavat oddiy pishitilgan iplar						
1	(2,33x2)Z100	6559	769	11,72	317	4,84
2	(2,33x2)Z200	6737	802	11,90	331	4,91
3	(2,33x2)Z300	6940	745	10,73	308	4,43
4	(2,33x2)Z400	7270	746	10,26	308	4,24
5	(2,33x2)Z500	7693	599	7,78	247	3,21
6	(2,33x2)Z600	8270	636	7,69	262	3,17
To‘rt qavat oddiy pishitilgan iplar						
1	(2,33x4)Z100	9300	1083	11,65	447	4,81
2	(2,33x4)Z200	10237	906	8,85	374	3,65
3	(2,33x4)Z300	12014	919	7,65	379	3,16
4	(2,33x4)Z400	14672	1115	7,60	460	3,14
5	(2,33x4)Z500	18742	1417	7,56	585	3,12
6	(2,33x4)Z600	23285	2048	8,80	846	3,63
To‘rt qavat murakkab pishitilgan iplar						
1	{(2,33x2)Z100x2}S 200	11219	1182	10,54	488	4,35
2	{(2,33x2)Z200x2}S 200	15440	1630	10,56	673	4,36
3	{(2,33x2)Z300x2}S 200	20663	2459	11,90	1015	4,91
4	{(2,33x2)Z400x2}S 200	25898	2766	10,68	1142	4,41
5	{(2,33x2)Z500x2}S 200	30656	3619	11,81	1495	4,88
6	{(2,33x2)Z600x2}S 200	35997	4091	11,36	1689	4,69

Shunday qilib, to‘qishga tayyorlangan kam buram berilgan tabiiy ipak iplarining ko‘p davrli cho‘zilish deformasisiga chidamliligi bo‘yicha olingan natijalar tahlili shuni ko‘rsatadiki, iplar qo‘shilganda va ularga buram berilganda ularning ko‘p davrli cho‘zilish deformasisiga chidamliligi oshadi, ayniqsa murakkab buram berilganda, bunda ipning buramlar soni qancha ko‘p bo‘lsa chidamlilik shuncha yuqori bo‘ladi. Shuningdek, iplar soni qancha ko‘p bo‘lsa ipning ko‘p davrli cho‘zilish deformasisiga chidamliligi shuncha yuqori bo‘ladi, bunda buramlar soni oshgan sari ipning chidamliligi jadal oshadi.

To‘rt qavat murakkab pishitilgan iplarda ko‘p davrli cho‘zilish deformatsiyaga chidamlilik ko‘rsatkichlari yuqori ekanligi aniqlandi va oddiy pishitilgan iplarga nisbatan ularning afzalligi yaqqol namoyon bo‘ldi. Aytib o‘tish joizki, iplarning bu hususiyati, tanda iplari sifatida bir qancha yakka iplarni qo‘shib to‘quv ipi shakllantiriladigan, krepdeshin to‘qimalari ishlab chiqarishda katta ahamiyatga ega [61].

Olingan natijalar ipakchilik sanoati korhonalarida qo‘llanilishi mumkin.

Adabiyotlar

[1]. Bobojonov X.T. Turli strukturadagi iplarning deformatsion xossalarini tadqiqi. – Toshkent, 2010.
[2]. Axunbabaev O.A., Valiev G.N. Tanda iplarining deformatsiyasi va taranglik nazariyasi. – Toshkent: Fan, 2012.
[3]. Rajapova U.B. Modifikatsiyalangan tolalardan yigirilgan iplarning xossalari. – Toshkent, 2015.
[4]. Doniyorov B.B. Iplarning ishqalanishga va deformatsiyaga chidamliligi. – Dissertatsiya, Toshkent, 2018.
[5]. Oripov J.I., Valiev G.N. Tabiiy ipak iplarining deformatsion xossalarini o‘rganish. – Ilmiy maqola, 2022.
[6]. Textile Materials Science. – Woodhead Publishing, UK, 2019.

[7]. Hearle J.W.S. Fiber Structure and Mechanics. – Cambridge University Press, 2001.
[8]. Saville B.P. Physical Testing of Textiles. – Woodhead Publishing, 2003.
[9]. Morton W.E., Hearle J.W.S. Physical Properties of Textile Fibres. – Manchester, 2008.
[10]. ASTM D2256. Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns. – USA, 2017.
[11]. ISO 2062. Textile yarns – Determination of breaking force and elongation. – Geneva, 2010.
[12]. Gong R.H., Wright R.M. Advanced Textile Materials. – Elsevier, 2017.

UO‘K 621.822

TOLA AJRATISH MASHINALARI KOLOSNIKLARINING YEDIRILISH DARAJASI VA UNING TEXNOLOGIK TIRQISHLARIGA TA’SIRI

M.R. Mo‘minov[1], J.I. Oripov[2]

[1]Tolali ekinlar ilmiy-tadqiqot instituti
[2]Farg‘ona davlat texnika universiteti
ORCID: 0009-0004-7937-6875
e-mail: mansurbekmominov@gmail.com
ORCID: 0009-0000-0247-1242
e-mail: joripov@19gmail.com
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Maqolada tolani ajratish mashinalari (jinlar va linterlar) cho‘yan kolosniklarining yeyilishga bardoshliligi ularning panjarasidagi texnologik tirqish miqdoriga ta’siri bo‘yicha ma’lumotlar taqdim etilgan. Kolosniklarning ish qobiliyatini belgilovchi asosiy mezon ularning yeyilishga bardoshliligi ekanligi hamda yeyilish miqdori kolosnikli panjara ishchi qismidagi talab etiladigan texnologik tirqishlar bilan cheklanishi lozimligi ko‘rsatib o‘tilgan. Ishlab chiqarish sharoitida kolosniklarning yeyilishga bardoshliligi bo‘yicha o‘tkazilgan eksperimental tadqiqotlar natijalari asosida, jin va linter mashinalarining mustahkamlangan kolosniklari uchun bir tomonlama yeyilish qiymatlari olindi. Ushbu ko‘rsatkichlar ishlov berilmagan kolosniklarga nisbatan ularning ish qobiliyati bo‘yicha sezilarli darajadagi zaxiraga ega ekanligidan dalolat beradi.*

Kalit so‘zlar: *kolosnik, cho‘yan, yeyilish, tirqish, tola ajratish mashinasi, mustahkamlash, mikrosharchalar, ruxsat etilgan chegara.*

Аннотация: *В статье представлены данные о влиянии износостойкости чугунных прутков волокноносепарационных машин (хлопкоочистительных и линтероочистительных) на величину технологических зазоров в их решетке. Показано, что основным критерием, определяющим работоспособность прутков, является их износостойкость, а величина износа должна ограничиваться требуемыми технологическими зазорами в рабочей части решетки с прутками. На основе результатов экспериментальных исследований износостойкости прутков в производственных условиях получены значения одностороннего износа для армированных прутков волоконкоочистительных и линтероочистительных машин. Эти показатели свидетельствуют о наличии у них значительного запаса обрабатываемости по сравнению с необработанными прутками.*

Ключевые слова: *прутки, чугун, износ, зазор, волокноносепарационная машина, армирование, микросферы, допустимый предел.*

Abstract: *The article presents data on the influence of the wear resistance of cast iron bars of fiber separation machines (gins and linters) on the amount of technological gaps in their grate. It is shown that the main criterion determining the working capacity of the bars is their wear resistance, and the amount of wear should be limited by the required technological gaps in the working part of the grate with bars. Based on the results of experimental studies on the wear resistance of bars in production conditions, one-sided wear values were obtained for reinforced bars of gins and linters. These indicators indicate that they have a significant margin of workability compared to untreated bars.*

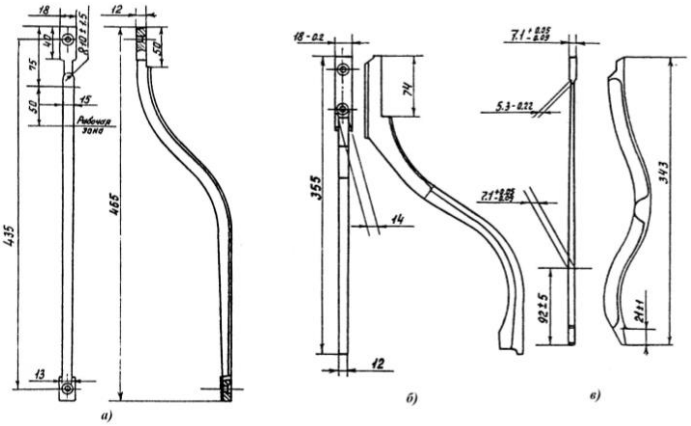
Keywords: *bars, cast iron, wear, gap, fiber separation machine, reinforcement, microspheres, permissible limit.*

Asosiy qism

Paxtani qayta ishlashda qo‘llaniladigan tolani ajratish mashinalarida (arrali jinlar, linterlar) kolosniklar (1-rasm) bir xil nomli panjarani hosil qiladi va ishchi kameraning muhim qismi

hisoblanadi. Ular arrali disklarning oraliq tirqishlar orqali ishchi kameraga kirishini hamda chigitdan arrali disk tishlari yordamida ajratib olingan tolaning kameradan erkin chiqib ketishini ta’minlash uchun xizmat qiladi.

Kolosnikli panjaraga qo‘yiladigan texnologik talablar ishchi qismdagi alohida kolosniklar orasidagi tekislikdan og‘ishning 0,6–0,8 mm ga, qolgan qismlarda esa 2 mm ga teng bo‘lishini ko‘zda tutadi [1]. Ishchi zonaning 30 mm uzunlikdagi (15 mm yuqoriga va pastga) qismida, ya’ni jinlash jarayonida tola chigitdan ajratib olinadigan hududda, chigitlarning tola bilan birga kolosniklar orasidagi tirqishlar orqali o‘tib ketishiga yo‘l qo‘yilmaydi.



1-rasm. Tola ajratish masinalarining kolosniklari: a- DP.AN. 005 rusumli oddiy jin kolosnigi; b- 5DP.03.003 markali konsolli pnevmatik jin; c- EH109-67Б rusumli linter kolosnigi.

Kolosnikli panjaradagi kolosniklar soni jin yoki linter arrali silindriga o‘rnatilgan arralar sonidan bittaga ko‘p bo‘ladi. Kolosniklarni panjaraga yig‘ishda ular orasidan silindrning arrali disklari o‘tishi uchun texnologik tirqishlar ko‘zda tutiladi; ushbu tirqishlar jinlar uchun 3±0,2 mm ni, linterlar uchun esa 2,8±0,3 mm ni tashkil etadi. Kolosniklararo tirqishlarga aniq rioya qilish tolani ajratish mashinalarining arra-kolosnik tizimi me’yorida ishlashi uchun zaruriy shart hisoblanadi.

Jinlash va linterlash jarayonida kolosnikli panjarada shunday nosozlik yuzaga keladiki, bunda kolosniklarning ishchi qismi yediriladi. Buning oqibatida arra tishlari o‘tadigan joylarda belgilangan tirqish kengayib ketadi, bu esa butun chigitlarning chiqindi va tolali mahsulot tarkibiga tushib qolishiga sabab bo‘lishi mumkin. Shuning uchun kolosniklar yuqori yeyilishga bardoshlilikka ega bo‘lishi lozim, bu ular uchun asosiy ish qobiliyati mezoni hisoblanadi.

Kolosniklar metall asosining strukturasi ferrit yoki ferrit-perlitli bo‘lgan, SCh15 markali kulrang cho‘yandan quyish usuli bilan tayyorlanadi. Uning taxminiy kimyoviy tarkibi quyidagicha [2]: 3,5-3,7% *C*; 2,0-2,6% *Si*; 0,5-0,8% *Mn*; ≤0,3% *P*; ≤0,15 *S*. Konstruksion material sifatida qo‘llaniladigan kulrang cho‘yan quyidagi mexanik xossalarga ega: Cho‘zilishdagi mustahkamlik chegarasi $\sigma_{в.р}$=115 MPa, Brinell bo‘yicha qattiqligi *HB* 113-129, Nisbiy uzayishi δ 0,5% gacha. Mashina detallarini loyihalashdagi hisoblash amaliyotida kulrang cho‘yanning cho‘zilish $\sigma_{в.р}$, siqilish $\sigma_{в.с}$ va egilish $\sigma_{в.и}$ dagi mustahkamlik chegaralari orasidagi quyidagi yaqinlashtirilgan nisbatlardan foydalanish mumkin [3]: $4\ \sigma_{в.р}= 2\sigma_{в.и}= \sigma_{в.с.}$

Kolosniklarning SCh15 markali kulrang cho‘yandan tayyorlanishi, ularning ish jarayonida unchalik katta bo'lmagan yuklamalarga uchrashi bilan asoslanadi. Bu esa devor qalinligi 10–30 mm bo‘lgan quyma detallardan foydalanish imkonini beradi. Kolosniklarga mexanik ishlov berish maxsus uskunalarda amalga oshiriladi. Bunda xomashyo valigi va chigitlar bilan kontaktga kirishadigan sirtlarning g‘adir-budurligi *Ra=1,25-0,63 mkm* bo‘lishi, ishchi qismdagi yon sirtlarning g‘adir-budurligi esa *Ra=0,63 mkm* bo‘lishi ta’minlanishi shart.

Tolali ajratish mashinalarining arra-kolosnik tizimi me’yorida ishlashi uchun kolosnik panjarasining turli qismlarida tavsiya etilgan texnologik tirqish miqdoriga rioya qilish zarur (jadval).

Jadval

Almashinuvchi ikki kolosnik orasidagi kolosnik panjarasining ishchi qismidagi texnologik tirqish miqdori

Tola ajratish mashinasi	Texnologik tirqishlar, *S* mm			Sirt g'adir-budurligi Ra, mkm	
	Ishchi qismida	Yuqori qismida	Ostki qismida	Ishchi qismida	Yon sirtida
Jin arrasi	3±0,2	$3,8^{+1,2}$	$3,8^{+1,2}$	1,25-0,32	0,63…0,32
Linter	2,5-3,0	3,0-3,5	3,5-4,75	2,5-0,63	1,25-0,63

Tolani ajratish (jinlash va linterlash) jarayonida paxtani qayta ishlash mashinasining ishchi zonasiga kiruvchi ayrim kolosniklarning yeyilishi natijasida kolosnik panjarasining ish qobiliyati yo‘qolishi sodir bo‘ladi. Bunda mashina ishchi organlari detallarining yeyilishi – mexanik (abraziv) turda bo‘lib, u o‘ziga xos sharoitlarda kechadi: detallarning metall ishchi sirtlari (cho‘yan kolosniklarning yon qirralari, po‘lat arrali disklarning tishlari) tolali paxta massasi bilan juda qisqa vaqt davomida, jinning arra silindri aylanish chastotasi n=730 ayl/min bo‘lganda kontaktda bo‘ladi; qayta ishlanayotgan, namligi va iflosligi o‘zgaruvchan bo‘lgan chigitli paxtaning tolali massasi tarkibida kremniy ikki oksidi (mikroqattiqligi 10^4…$1{,}2\cdot10^4$ MPa) hamda yuqori qattiqlikdagi minerallar (granit – $1{,}68\cdot10^4$ MPa; korund — $2{,}29\cdot10^4$ MPa) ko‘rinishidagi qattiq iflos aralashmalar mavjud.

Shuni ta’kidlash joizki, keltirilgan abraziv zarralarning qattiqligi tolani ajratish mashinalari ishchi organi detallarini tayyorlashda ishlatiladigan konstruksion materiallar (kulrang cho‘yan, uglerodli po‘lat) qattiqligidan sezilarli darajada yuqori bo‘lib, bu abraziv ishlov berish jarayonida ikki qattiq jism kontaktga kirishganda mikrokisilish sodir bo‘lishining zaruriy sharti hisoblanadi. Yeyilish jarayonining jadallashuvi tolali massaning namligi hisobiga yanada kuchayadi, chunki bu metall yuzasi bilan kontaktda ishqalanishning ortishiga olib keladi.

Kolosniklar ishchi qismining yeyilishga bardoshliligi termik ishlov berish orqali oshiriladi, garchi A.P.Gulyayevning fikricha, oddiy kulrang cho‘yan uchun termik ishlov berish amaliyotda kam qo‘llaniladi, chunki u unchalik samarali emas [4]. Kulrang cho‘yanlarning plastikligi pastligiga (δ=0,2…0,5%) qaramay, SCh24 markali kulrang perlitli cho‘yandan tayyorlangan namunalarga zarbali ta’sir ko‘rsatilgandagi deformatsion mustahkamlanish bo‘yicha o‘tkazilgan eksperimental tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, indentorning (mikroqattiqligi 9000 MPa bo‘lgan ShX15 markali toblangan po‘latdan yasalgan kopyor bolg‘achasi) 10 ta zarbasidan so‘ng, dastlabki 2625 MPa bo‘lgan mikroqattiqlik 71,4% ga oshgan. Demak, sirtqi-plastik deformatsiyalash (SPD) orqali oldindan mustahkamlash usulini amalga oshirish imkoniyati texnologik ustunlikni yuzaga keltirib, bu mustahkamlash jarayonida termik ishlovsiz va legirlovchi elementlar sarfisiz ish ko‘rish mumkinligini anglatadi.

Sirtqi-plastik deformatsiyalashning (SPD) dinamik usullari orasida diametri d=0,3…0,4 mm bo'lgan mikrosharchalar bilan mustahkamlash eng samarali va keng texnologik imkoniyatlarga ega usul hisoblanadi [5-10]. Mikrosharchalar bilan zarba berib ishlov berishning boshqa usullari (mikrosharchalar otish, pnevmodinamik va boshqalar) bilan solishtirganda, mikrosharchalar bilan mustahkamlash solishtirma kinetik energiya $E_{уд}$ (kDj/(mm^2·min)) qiymati bo‘yicha sezilarli ustunlikka ega bo‘lib, bu ko‘rsatkich mikrosharcha-zarbali mustahkamlash rejimlarini baholashning umumlashgan mezoni hisoblanadi. Shuningdek, mikrosharchalar bilan mustahkamlashda $E_{уд}$=74 kDj/(mm^2·min) ni tashkil etadi, bu esa pnevmodinamik mustahkamlashdagi drobning solishtirma kinetik energiyasidan 20 kDj/(mm^2·min) sezilarli darajada yuqoridir.

Agar $E_{уд}$=5,352 kDj/(mm^2·min) qiymatida kulrang cho‘yanning mustahkamlash kuzatilsa, u holda mikrosharchalar bilan mustahkamlashdagi solishtirma kinetik energiya darajasida deformatsion mustahkamlanish effektining namoyon bo‘lishi shubhasizdir.

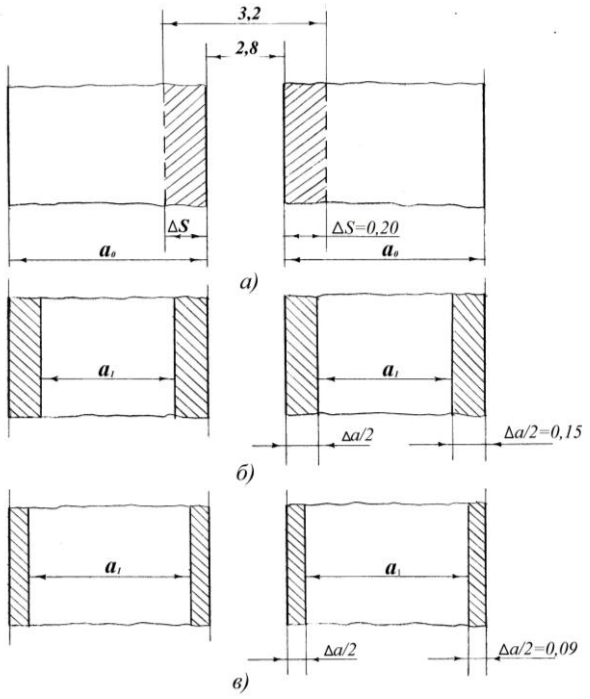
Sinov uchun 2022-yil hosiliga mansub, qo‘lda terilgan, 1,2 va 3-navli “Sulton” hamda “Namangan-77” seleksiya navli chigitli paxta ishlatildi; uning iflosligi 3% dan 12-14% gacha, namligi esa 6-7% dan 20-22% gacha bo‘ldi. Paxta tozalash korxonasi sharoitida jinda o‘tkazilgan tajriba ma’lumotlari shuni ko‘rsatadiki, mikrosharchalar bilan mikrosharcha-zarbali ishlov berilgan kolosniklarning chiziqli yeyilishi Δa, ishlov berilmagan kolosniklarga (3-rasm) qaraganda 1,7 barobar kam bo‘lib, t=105 ish kuni davomida o‘rtacha qiymati Δa=0,176 mm ni tashkil etdi. Oldindan dinamik ishlov berilmagan kolosniklarning xuddi shu davr ichidagi yeyilishi esa Δa*=0,304* mm ga teng bo‘ldi.

Linter kolosniklarining xuddi shu sinov muddati davomidagi yeyilishi o‘rtacha: mustahkamlanganlarida Δa=0,14 mm ni, mustahkamlanmaganlarida esa 0,31 mm ni tashkil etdi, ya’ni yeyilishga bardoshlilik 2,2 barobar yuqori ekanligi aniqlandi.

Jadvalda keltirilgan, chegaraviy qiymatlar farqi 3±0,2 mm sifatida aniqlanadigan va ΔS*=0,4* mm ni tashkil etuvchi ΔS texnologik tirqish miqdoridan kelib chiqib, kolosniklarning yeyilish

miqdori Δa ni ushbu ΔS qiymati bilan chegaralash, ya'ni $\Delta a \leq \Delta S$ shartini o'rnatish taklif etildi. 2-rasmda texnologik tirqishning ruxsat etilgan sohasi va kolosniklarning yeyilish miqdori (bir tomonlama) o'zaro qiyoslangan.

Jin kolosniklarining yeyilishga chidamliligi bo'yicha o'tkazilgan eksperimental tadqiqot ma'lumotlarini hisobga olgan holda quyidagilar aniqlandi: tirqish uchun ruxsat etilgan $\Delta S/2$=0,2 mm chetlanishda, bir tomonlama yeyilish qiymati mustahkamlangan kolosniklar uchun $\Delta a/2$=0,09 mmni, ishlov berilmaganlari uchun esa 0,15 mmni tashkil etdi. Keltirilgan yeyilish ma'lumotlari qiyoslamasidan ko'rinib turibdiki, mustahkamlangan kolosniklar uchun hali sezilarli darajada ish qobiliyati zaxirasi mavjud. Ushbu holatni miqdoriy baholash va bashorat ko'rsatkichlarini ishlab chiqish uchun yeyilish rivojlanishining tenglamasini tuzish lozim. O'zgaruvchan yeyilish tezligida ushbu jarayon quyidagi ko'rinishdagi parabola bilan approksimatsiya qilinadi:



2-rasm. Texnologik tirqishli kolosniklarning yeyilish natijalari qiyoslamasi:
а) texnologik tirqish uchun ΔS ruxsat etilgan chetlanishidan keyingi holat;
б) ishchi sirtlariga ishlov berilmagan jin kolosniklarining nazorat sinov vaqti davomidagi yeyilishi $\Delta a=a_0-a_1$;
в) mustahkamlangan jin kolosniklarining nazorat sinov vaqti davomidagi yeyilishi $\Delta a=a_0-a_1$.

$$\overline{x(z)} = a + bz + cz^2, \qquad (1)$$

bu yerda *a*, *b* va *c* parametrlarini eng kichik kvadratlar usuli yordamida olingan tenglamadan aniqlash mumkin

$$am + b\sum z_i + c\sum z_i^2 = \sum x_i, \qquad (2)$$

(8)-tenglamada m — kuzatuvlar soni; $\sum$ esa *i*=1 dan *m* gacha o'zgaradi. Xususiy holatda, jarayonni quyidagi ko'rinishdagi parabola bilan approksimatsiya qilish mumkin:

$$\overline{x(z)} = cz^2, \qquad (3)$$

ko'rsatkichlari *a=0, в=0* bo'lganda.

Jinlar uchun kolosniklarning yeyilishga chidamliligi bo'yicha tadqiqot ma'lumotlaridan va (3)-tenglamadan foydalanib, yeyilish rivojlanishining quyidagi tenglamasi olindi.

$$t=3389{,}7\Delta a^2 \qquad (4)$$

bu yerda *x(z)=t; z=Δa.*

Xuddi shuningdek, dastlabki nartovlanmagan (naklyop qilinmagan) cho'yan kolosniklar uchun yeyilish rivojlanishi tenglamasi olindi:

$$t = 1136{,}2\Delta a^2; \qquad (5)$$

Yeyilish rivojlanishining olingan (4) va (5) tenglamalariga ko'ra, ushbu eksperiment sharoitida mikroshariklar bilan mustahkamlab ishlov berilgan va ishlov berilmagan kolosniklarning jinlash jarayonidagi chidamlilik muddatini aniqlash mumkin. Jin kolosniklari orasidagi texnologik tirqishning 0,4 mm ga teng bo'lgan maksimal ruxsat etilgan yeyilish darajasiga yetganda, chidamlilik muddati tegishlicha 542 va 182 kunni tashkil etdi.

Xulosa

Shunday qilib, jin va linterlarning cho'yan kolosniklari ishchi sirtlariga mikroshariklar bilan dastlabki dinamik ishlov berish asosida, ularning sirt qatlamini mustahkamlash hisobiga ish qobiliyatini sezilarli darajada oshirishga erishildi. Olingan deformatsion mustahkamlash effekti,

kolosniklarning yeyilishga chidamliligi oshishi natijasida ular orasidagi reglamentlangan texnologik tirqishni uzoq vaqt davomida saqlash imkonini beradi. Kolosniklarning chiziqli yeyilishining mutloq qiymatini, mohiyatiga ko‘ra yeyilish mezonini ifodalovchi kolosniklararo texnologik tirqish ruxsati tushunchasi orqali ko‘rib chiqish taklif etildi.

Adabiyotlar

[1]. Paxtani dastlabki ishlash / O‘quv qo‘llanma. E.Z. Zikriyoyevning umumiy tahriri ostida. – Toshkent: Mehnat, 1999. – 400 b.

[2]. Материаловедение. Технология конструкционных материалов / Под ред. В.С. Чередниченко. – М.: Омега-Л, 2008. -752 с.

[3]. Мозберг Р.К. Материаловедение. – М.: Высшая школа, 1991.- 448 с.

[4]. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.

[5]. Муминов М.Р., Шодмокулов З.А., Назаров С.Р., Шин И.Г. Определение прогиба зуба джинной пилы при эксплуатационных нагрузках // Проблемы текстиля. - Ташкент, 2017, №3. - С. 4-9. (05.00.00; №17).

[6]. Назаров С.Р., Шин И.Г., Искандарова Н.К., Муминов М.Р. Расчетная модель изнашивания и оценка долговечности пильных дисков для машин первичной обработки хлопка // Вестник машиностроения. - Москва, 2021, №07. - С. 30-34. (05.00.00; №13)

[7]. Shin I.G., Nazarov S.R., Iskandarova N.K., Muminov M.R. Wear and Life of Saw Disks for Preliminary Cotton Processing // Russian Engineering Research, ISSN 1068-798X, 2021, Vol. 41, No. 12, pp. 1115–1118 (05.00.00; №27) (SCOPUS).

[8]. Назаров С.Р., Шин И.Г., Ерматов Р.Б. Термодинамическая модель формирования остаточных напряжений при динамическом упрочнении деталей хлопкоперерабатывающих машин // Текстиль Узбекистана. - Ташкент, 2021, № 4. - С. 34-40. (05.00.00; №17).

[9]. Назаров С.Р., Шин И.Г., Муминов М.Р. Аналитическое исследование параметров напряженно - деформированного состояния и алгоритм расчета интенсивности остаточных напряжений при дробеударном упрочнении деталей машин // Научно-технический журнал машиностроение. - Андижан, 2022, №1. - С. 116-126.

[10]. Shin I.G., Shodmonqulov Z.A., Nazarov S.R., Iskandarova N.K. Processing of teeth of saw blades of cotton processing machines with a stream of compressed air with abrasive particles // E3S Web of Conferences 304, 03033 (2021) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130403033 ICECAE 2021 (SCOPUS).

CHANG KONSENTRATSIYASINING VENTURI–NASADKALI SKRUBBER ISH REJIMI VA SHLAM HOSIL BO‘LISHIGA TA’SIRI

A.S. Isomidinov, tayanch doktorant G.Sh. Xasanova

Farg‘ona davlat texnika universiteti
webmail: azizjon.isomidinov@fstu.uz;

(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Maqolada kalsenirlangan soda ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘ladigan changli gazlarni ikki bosqichli venturi–nasadkali ho‘l skrubberda tozalashda kirishdagi chang konsentratsiyasining apparat ish rejimi, tozalash samaradorligi, chiqishdagi qoldiq chang miqdori, ushlangan chang massasi, shlam hosil bo‘lishi, gidravlik qarshilik va solishtirma energiya sarfiga ta’siri hisobiy-modellashtirish usulida tahlil qilindi. Tadqiqotda kirishdagi chang konsentratsiyasi 1600–2400 mg/m³ oralig‘ida o‘zgartirildi. Natijalarga ko‘ra, C_{kir} 1600 mg/m³ dan 2400 mg/m³ gacha oshganda tozalash samaradorligi 99,2 % dan 95,2 % gacha pasayadi, ushlangan chang massasi esa 3,42 kg/soatdan 5,03 kg/soatgacha ortadi. Bu holat shlam tarkibidagi qattiq faza ulushining oshishi va apparat gidravlik qarshiligining ko‘payishi bilan izohlanadi.*

Kalit so‘zlar: *kalsenirlangan soda changi, Venturi skrubber, nasadkali qatlam, ho‘l gaz tozalash, chang konsentratsiyasi, shlam, gidravlik qarshilik, energiya sarfi.*

Аннотация. *В статье расчетно-моделирующим методом проанализировано влияние концентрации пыли на входе на рабочий режим аппарата, эффективность очистки, остаточное содержание пыли на выходе, массу уловленной пыли, образование шлама, гидравлическое сопротивление и удельный расход энергии при очистке пылегазовых потоков, образующихся в процессе производства кальцинированной соды, в двухступенчатом мокром скруббере типа Вентури–насадочный слой. В исследовании концентрация пыли на входе изменялась в диапазоне*

1600–2400 мг/м³. Согласно полученным результатам, при увеличении $C_{вх}$ от 1600 мг/м³ до 2400 мг/м³ эффективность очистки снижается с 99,2 % до 95,2 %, а масса уловленной пыли возрастает с 3,42 кг/ч до 5,03 кг/ч. Данное явление объясняется увеличением доли твердой фазы в составе шлама и ростом гидравлического сопротивления аппарата.

Ключевые слова: *пыль кальцинированной соды, скруббер Вентури, насадочный слой, мокрая очистка газа, концентрация пыли, шлам, гидравлическое сопротивление, расход энергии.*

Abstract. *This article analyzes, by means of a calculation and modeling approach, the influence of inlet dust concentration on the operating regime of the apparatus, cleaning efficiency, residual dust content at the outlet, captured dust mass, sludge formation, hydraulic resistance, and specific energy consumption during the treatment of dust-laden gases generated in the soda ash production process using a two-stage Venturi–packed wet scrubber. In the study, the inlet dust concentration was varied within the range of 1600–2400 mg/m³. According to the results, when C_{in} increases from 1600 mg/m³ to 2400 mg/m³, the cleaning efficiency decreases from 99.2 % to 95.2 %, while the mass of captured dust increases from 3.42 kg/h to 5.03 kg/h. This behavior is explained by an increase in the solid phase fraction in the sludge and a rise in the hydraulic resistance of the apparatus.*

Keywords: *soda ash dust, Venturi scrubber, packed bed, wet gas cleaning, dust concentration, sludge, hydraulic resistance, energy consumption.*

Kirish.

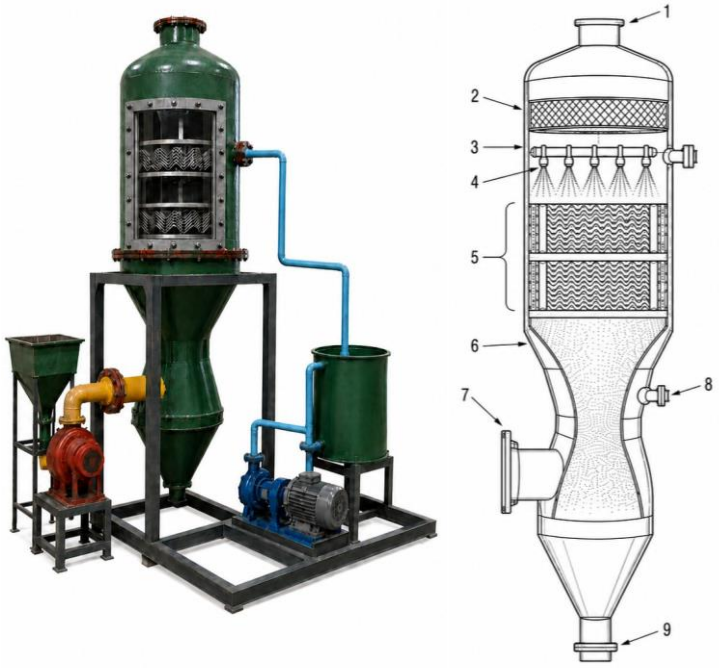
Kalsenirlangan soda ishlab chiqarish jarayonida mayda dispers soda changi, mineral aralashmalar va texnologik oqim bilan ko‘tariladigan mahsulot zarrachalari hosil bo‘ladi. Bunday changlarni atmosferaga chiqarishdan oldin samarali ushlab qolish ekologik xavfsizlik, ishlab chiqarish sanitariyasi va mahsulot yo‘qotilishini kamaytirish nuqtai nazaridan muhim ahamiyatga ega. Ho‘l usulda gaz tozalash qurilmalarida chang zarrachalarining ushlanishi gaz oqimi va suv tomchilari, namlangan nasadka sirtlari hamda suyuqlik plyonkasi o‘rtasidagi kontaktga asoslanadi.

Ikki bosqichli venturi–nasadkali skrubberda birinchi bosqichda venturi bo‘g‘izi orqali gaz tezligi keskin oshirilib, suv tomchilari maydalanadi va inersion to‘qnashish jarayoni kuchayadi. Ikkinchi bosqichda esa nasadkali kontakt zonasida gaz-suyuqlik aloqasi davom etadi. Shu sababli kirishdagi chang konsentratsiyasi faqat tozalash samaradorligiga emas, balki shlam miqdori, nasadkali qatlamda cho‘kish, gidravlik qarshilik va energiya sarfiga ham ta’sir ko‘rsatadi.

Ushbu тадқиқотнинг maqsadi kalsenirlangan soda changi konsentratsiyasining 1600–2400 mg/m³ diapazonda ikki bosqichli venturi-nasadkali skrubberning ish rejimi va shlam hosil bo‘lishiga ta’sirini hisobiy-modellashtirish asosida baholashdan iborat.

Tadqiqot obyekti.

Tadqiqot obyekti sifatida ikki bosqichli venturi–nasadkali skrubber qabul qilindi. Qurilma changli gaz kirish quvuri, venturi bo‘g‘izi, silindrsimon ishchi kamera, nasadkali kontakt qismi, yuqori tomchi ushlagich, tozalangan gaz chiqish quvuri, konussimon pastki shlam yig‘ish qismi, suv baki, markazdan qochma nasos, sirkulyatsiya quvurlari, ventilyator, manometrlar va boshqaruv paneli kabi ishchi qismlardan tashkil topadi. 1-расмда қурилманинг лаборатория модели кўрсатилган.



1-rasm. Venturi–nasadkali skrubberning laboratoriya modeli va konstruktiv sxemasi. 1-Tozalangan gaz chiqish quvuri; 2-Tomchi ushlagich (demister); 3-Purkagich forsunkalar kollektori; 4-Suv purkagich forsunkalar; 5-Ikki qatlamli kassetali to‘lqinsimon-perforatsiyalangan plastinali nasadka; 6-Venturi qismi; 7-Changli gaz kirish quvuri; 8-Suyuqlik in’yeksiyasi quvuri; 9-Shlam (suspenziya) chiqish quvuri.

Qurilmaning ishlash prinsipi quyidagicha amalga oshadi. Changli gaz kirish quvuri (7) orqali Venturi qismi (6) ga uzatiladi. Venturi bo‘g‘zida gaz tezligi ortib, suyuqlik in’yeksiyasi quvuri (8) orqali beriladigan suv mayda tomchilarga parchalanadi. Natijada soda changi zarrachalari suv tomchilari bilan to‘qnashib namlanadi va yiriklashadi.

Hosil bo‘lgan gaz-suyuqlik aralashmasi yuqoriga harakatlanib, ikki qatlamli kassetali to‘lqinsimon-perforatsiyalangan plastinali nasadka (5) zonasiga o‘tadi. Bu yerda gaz oqimi namlangan nasadka yuzalari bilan qo‘shimcha kontaktga kirishadi va Venturi bosqichida to‘liq ushlanmagan mayda chang zarrachalari ajratib olinadi. Purkagich forsunkalar kollektori (3) va suv purkagich forsunkalar (4) nasadka yuzasini nam holatda saqlab, gaz-suyuqlik kontaktini barqarorlashtiradi.

Nasadkali qatlamdan keyin gaz tomchi ushlagich (2) orqali o‘tadi. Ushbu qism gaz oqimi bilan olib ketilayotgan mayda suyuqlik tomchilarini ushlab qoladi. Tozalangan gaz qurilmaning yuqori qismidagi tozalangan gaz chiqish quvuri (1) orqali chiqariladi.

Suv bilan birikkan chang zarrachalari esa og‘irlashib, qurilmaning konussimon pastki qismida shlam ko‘rinishida to‘planadi va shlam chiqish quvuri (9) orqali chiqariladi. Shu tariqa qurilmada changli gaz avval Venturi qismida intensiv namlanadi, keyin nasadkali qatlamda qo‘shimcha tozalanadi va yakunda tomchi ushlagich orqali gaz tarkibidagi suyuqlik tomchilari ajratiladi.

Tadqiqot metodikasi.

Tadqiqotda asosiy o‘zgaruvchi omil sifatida kirishdagi kalsenirlangan soda changi konsentratsiyasi Ckir qabul qilindi. Qolgan parametrlar markaziy laboratoriya rejimida doimiy saqlandi. Bunday yondashuv Ckir ning skrubber ish ko‘rsatkichlariga alohida ta’sirini ajratib ko‘rsatish imkonini beradi.

Ko‘rsatkich	Belgisi	Qiymati	Birligi
Qurilma diametri	D	0,60	m
Ishchi kamera balandligi	H_{ish}	1,80	m
Gaz sarfi	$Q_{g,h}$	2200	m³/soat
Venturi bo‘g‘izidagi tezlik	v_{tor}	55	m/s
Suyuqlik-gaz nisbati	L/G	1,0	l/m³
Suv sarfi	Q_s	2,2	m³/soat
Nasadkali qatlam balandligi	H_n	0,60	m
Kirishdagi chang konsentratsiyasi	C_{kir}	1600–2400	mg/m³

Gaz tezligi va hajmiy sarfi GOST 17.2.4.06-90 talablariga muvofiq gazoxod kesimida Pito–Prandtl trubkasi yoki elektron anemometr orqali aniqlanadi. Bosimlar farqi va gaz harorati GOST 17.2.4.07-90 asosida differensial manometr va termometrlar yordamida o‘lchanadi. Chang konsentratsiyasini aniqlashda gazoochistka uskunalari uchun GOST 33007-2014 talablari, shuningdek statsionar manbalardan chiquvchi qattiq zarrachalar konsentratsiyasini gravimetrik aniqlashda GOST R ISO 9096-2006 yondashuvi asos sifatida qabul qilinadi. Har bir rejim bo‘yicha kamida 5 marta takroriy o‘lchash o‘tkazilib, o‘rtacha qiymat va nisbiy xatolik baholanadi.

Ikki bosqichli venturi–nasadkali skrubberda changli gazlarni tozalash jarayonining asosiy texnologik ko‘rsatkichlarini baholash uchun nazariy hisoblash formulalaridan foydalanildi. Avvalo, qurilmaning chang ushlash qobiliyatini ifodalovchi asosiy ko‘rsatkichи ҳисобланган tozalash samaradorligi η aniqlandi. U kirish va chiqishdagi chang konsentratsiyalari farqi orqali quyidagi ifoda bo‘yicha hisoblandi, %;

$$\eta = \frac{C_{kir} - C_{chiq}}{C_{kir}} \cdot 100\% \qquad (1)$$

bunda C_{kir} — skrubberga kirayotgan changli gaz tarkibidagi chang konsentratsiyasi, mg/m³; C_{chiq} — skrubberdan chiqayotgan tozalangan gaz tarkibidagi qoldiq chang konsentratsiyasi, mg/m³.

Tozalash samaradorligi aniqlangandan so‘ng skrubberda real ushlab qolingan chang miqdori hisoblandi. Ushlangan chang massasi M_{ush} kirish va chiqishdagi konsentratsiyalar farqi hamda gaz sarfiga bog‘liq bo‘lib, quyidagi formula orqali aniqlandi, kg/soat;

$$M_{ush} = \left(C_{kir} - C_{chiq}\right) \cdot Q_{g,h} \cdot 10^{-6} \quad (2)$$

bunda, $Q_{g,h}$ — changli gazning soatlik sarfi, m³/soat; 10^{-6} mg miqdorni kg ga o‘tkazish koeffitsiyenti.

Tozalash jarayonida chang zarrachalari suyuqlik bilan birikib shlam holatida ajraladi. Shu sababli keyingi bosqichda hosil bo‘ladigan shlamning massaviy sarfi G_{shlam} hisoblandi. Shlam sarfi purj suvi miqdori va ushlangan chang massasini hisobga olgan holda quyidagi ifoda bilan aniqlandi, kg/soat;

$$G_{shlam} = Q_{purj} \cdot \rho_s + M_{ush} \quad (3)$$

bunda Q_{purj} — shlam chiqarish yoki purj suvi sarfi, m³/soat; ρ_s — suyuqlik zichligi, kg/m³.

Shlam hosil bo‘lish jarayonini baholashda uning tarkibidagi qattiq faza ulushi C_{qat} muhim ko‘rsatkich hisoblanadi. Ushbu ko‘rsatkich ushlangan chang massasining umumiy shlam massasiga nisbati orqali quyidagi formula bo‘yicha aniqlandi:

$$C_{qat} = \frac{M_{ush}}{G_{shlam}} \cdot 100\% \quad (4)$$

Qurilmaning ekspluatatsion rejimini baholashda gaz oqimini skrubber orqali uzatish uchun talab etiladigan ventilyator quvvati ham hisobga olindi. Ventilyator quvvati N_{vent} gaz sarfi, umumiy gidravlik qarshilik va ventilyator foydali ish koeffitsiyentiga bog‘liq holda quyidagi formula orqali hisoblandi, Vt;

$$N_{vent} = \frac{Q_{g,s} \cdot \Delta P_{um}}{\eta_{vent}} \quad (5)$$

bunda $Q_{g,s}$ — changli gazning sekundlik sarfi, m³/s; ΔP_{um} — skrubberning umumiy gidravlik qarshiligi, Pa; η_{vent} — ventilyatorning foydali ish koeffitsiyenti.

Agar ventilyator quvvati kVt da ifodalansa, quyidagi ko‘rinishdan foydalaniladi.

$$N_{vent,kVt} = \frac{Q_{g,s} \cdot \Delta P_{um}}{1000 \cdot \eta_{vent}} \quad (6)$$

Yakuniy bosqichda qurilmaning energetik samaradorligini baholash uchun 1000 m³ gazni tozalashga sarflanadigan solishtirma energiya sarfi E_{sol} aniqlandi. Bunda ventilyator va nasos quvvatlari umumiy gaz sarfiga nisbatan baholandi, kVt·soat/1000 m³;

$$E_{sol} = \frac{N_{vent,kVt} + N_{nasos,kVt}}{Q_{g,h}} \cdot 1000 \quad (7)$$

bunda $N_{nasos,kV}$ — nasos quvvati, kVt; $Q_{g,h}$ — changli gazning soatlik sarfi, m³/soat.

Shunday qilib, yuqoridagi formulalar yordamida kirishdagi chang konsentratsiyasining tozalash samaradorligi, ushlangan chang massasi, shlam hosil bo‘lishi, gidravlik qarshilik bilan bog‘liq quvvat talabi va solishtirma energiya sarfiga ta’siri ketma-ket baholandi.

Natijalar va muhokama.

Kirishdagi kalsenirlangan soda changi konsentratsiyasi 1600; 1800; 2000; 2200 va 2400 mg/m³ qiymatlarda o‘zgartirildi. Gaz sarfi, Venturi tezligi, suv-gaz nisbati va nasadkali qatlam balandligi doimiy saqlandi. Quyidagi natijalar laboratoriya tajribalarini rejalashtirish uchun hisobiy-modellashtirilgan qiymatlar sifatida berilgan. Назарий ҳисоб ва ўтказилган тажриба натижалари 1 ва 2-жадвалларда келтирилган.

1-жадвал.

Kirishdagi chang konsentratsiyasining tozalash ko‘rsatkichlariga ta’siri бўйича олинган натижалар.

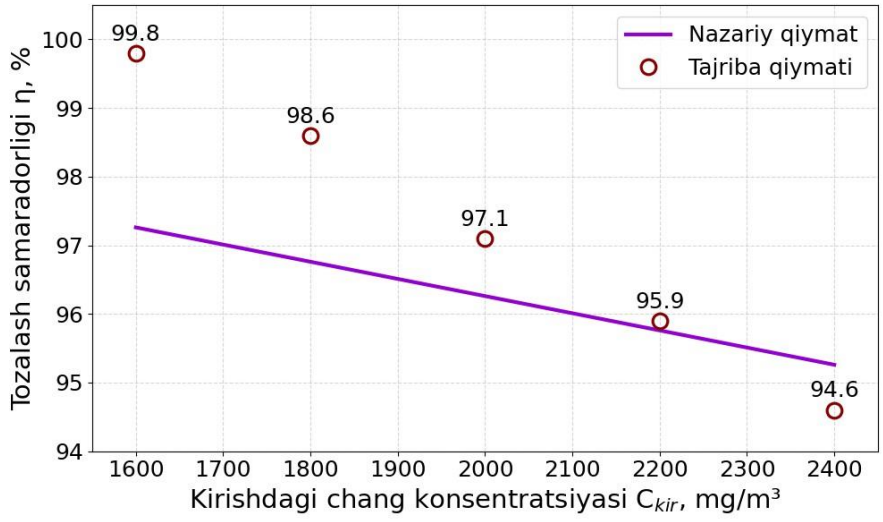
C_{kir}, mg/m³	η_{naz}, %	η_{taj}, %	$C_{chiq,naz}$, mg/m³	$C_{chiq,taj}$, mg/m³	$M_{ush,naz}$, kg/soat	$M_{ush,taj}$, kg/soat	$G_{shlam,naz}$, kg/soat	$G_{shlam,taj}$, kg/soat	$Q_{faza\ naz}$, %	$Q_{faza\ taj}$, %
1600	97,2	99,8	44,8	3,2	3,42	3,51	123,42	123,51	2,77	2,84
1800	96,8	98,6	57,6	25,2	3,83	3,90	123,83	123,90	3,10	3,15
2000	96,3	97,1	74,0	58,0	4,24	4,27	124,24	124,27	3,41	3,44
2200	95,8	95,9	92,4	90,2	4,64	4,64	124,64	124,64	3,72	3,72
2400	95,2	94,6	115,2	129,6	5,03	4,99	125,03	124,99	4,02	4,00

2-жадвал.

Kirishdagi chang konsentratsiyasining gidravlik va energetik ko‘rsatkichlarga ta’siri бўйича олинган назарий ва тажрибавий натижалар.

C_{kir}, mg/m³	$\Delta P_{um,naz}$, Pa	$\Delta P_{um,taj}$, Pa	$N_{vent,naz}$, kVt	$N_{vent,taj}$, kVt	N_{nasos}, kVt	$N_{um,naz}$, kVt	$N_{um,taj}$, kVt	$E_{sol,naz}$, kVt·soat/ 1000 m³	$E_{sol,taj}$, kVt·soat/ 1000 m³
1600	3100	3135	3,16	3,19	0,30	3,46	3,49	1,57	1,59
1800	3180	3235	3,24	3,30	0,30	3,54	3,60	1,61	1,63
2000	3265	3320	3,33	3,38	0,30	3,63	3,68	1,65	1,67
2200	3360	3415	3,42	3,48	0,30	3,72	3,78	1,69	1,72
2400	3460	3525	3,52	3,59	0,30	3,82	3,89	1,74	1,77

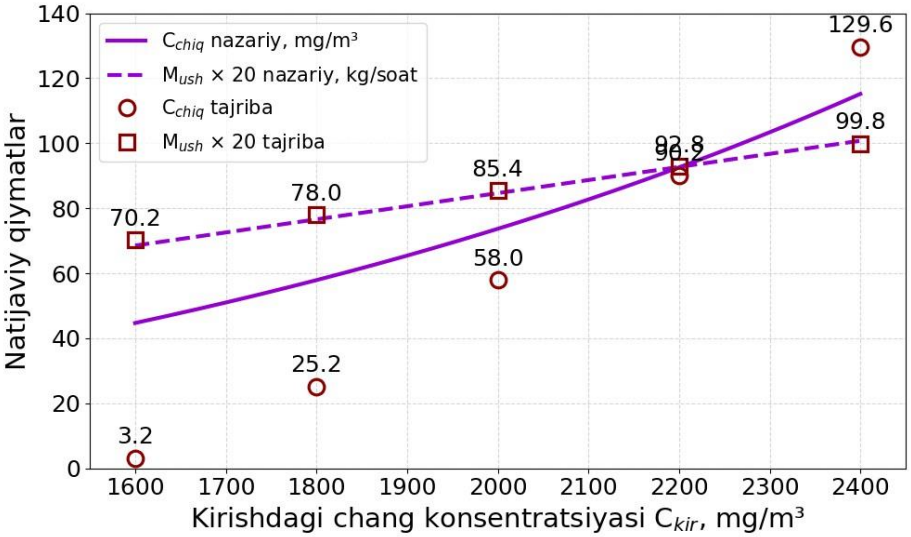
Olingan nazariy va tajribaviy natijalarni o‘zaro taqqoslash maqsadida kirishdagi chang konsentratsiyasi C_{kir} ning ikki bosqichli Venturi–nasadkali skrubber ish rejimiga ta’siri tahlil qilindi. Bunda tozalash samaradorligi η, chiqishdagi qoldiq chang konsentratsiyasi C_{chiq}, ushlangan chang massasi M_{ush}, shlam massasi G_{shlam}, shlam tarkibidagi qattiq faza ulushi, umumiy gidravlik qarshilik ΔP_{um} hamda solishtirma energiya sarfi E_{sol} ko‘rsatkichlari o‘zaro taqqoslandi. Nazariy hisob natijalari tajribaviy qiymatlar bilan ±4,8 % xatolik chegarasida solishtirilib, ularning o‘zgarish qonuniyatlarini aniqlash uchun bog‘lovchi grafiklar qurildi. Ushbu grafiklar yordamida chang yuklamasi ortishi bilan apparatning tozalash samaradorligi, gidravlik qarshiligi, shlam hosil bo‘lishi va energiya sarfi o‘rtasidagi bog‘liqliklar baholandi.



2-rasm. Kirishdagi chang konsentratsiyasining umumiy tozalash samaradorligiga ta’siri.

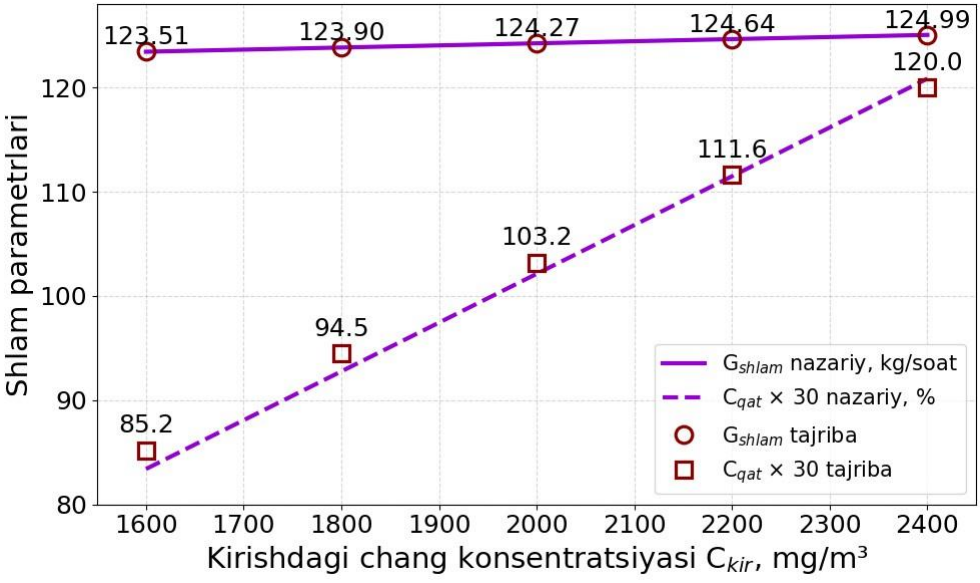
2-rasmdagi grafik bog‘liqlikdan ko‘rinadiki, kirishdagi chang konsentratsiyasi C_{kir} = 1600 mg/m³ dan 2400 mg/m³ gacha oshirilganda umumiy tozalash samaradorligi tajriba natijalari bo‘yicha 99,8 % dan 94,6 % gacha pasayadi. Nazariy hisob natijalari esa 97,2–95,2 % oralig‘ida o‘zgarib, tajriba qiymatlari bilan ±4,8 % xatolik chegarasida mos keladi. Ushbu pasayish chang yuklamasining ortishi

bilan Venturi bo‘g‘zida suyuqlik tomchilari bilan to‘qnashuvchi zarrachalar soni ko‘payishi, nasadkali zonada namlangan chang zarrachalarining ushlanish jarayoni murakkablashishi va gaz–suyuqlik kontakt sharoitining og‘irlashishi bilan izohlanadi. Shunga qaramay, eng yuqori yuklama sharoitida ham samaradorlik 94,6 % dan pastga tushmaganligi ikki bosqichli Venturi–nasadkali skrubberning kalsiylangan soda changi uchun samarali ishlashini ko‘rsatadi. Shu sababli keyingi bosqichda kirishdagi chang konsentratsiyasi oshganda chiqishdagi qoldiq chang miqdori va apparatda ushlangan chang massasining o‘zgarishi tahlil qilindi.



3-rasm. C_{kir} oshganda chiqishdagi chang konsentratsiyasi va ushlangan chang massasining o‘zgarishi.

3-rasmdagi grafik bog‘liqlikdan ko‘rinadiki, kirishdagi chang konsentratsiyasi ortishi bilan chiqishdagi qoldiq chang konsentratsiyasi ham ko‘payadi. Tajriba natijalari bo‘yicha C_{kir} = 1600 mg/m³ bo‘lganda chiqishdagi chang konsentratsiyasi C_{chiq} = 3,2 mg/m³ ni tashkil etgan bo‘lsa, C_{kir} = 2400 mg/m³ da bu qiymat 129,6 mg/m³ gacha oshadi. Shu bilan birga, skrubberda ushlangan chang massasi ham ortib boradi. Nazariy hisob bo‘yicha M_{ush} = 3,42 kg/soat dan 5,03 kg/soat gacha, tajriba natijalari bo‘yicha esa 3,51 kg/soat dan 4,99 kg/soat gacha ko‘payadi. Bu holat kirishdagi chang miqdori oshgani sari apparatda ushlab qolinadigan qattiq faza massasi ortishini ko‘rsatadi. Mazkur natija shlam hosil bo‘lish jarayonining asosiy manbai aynan skrubberda ushlangan chang zarrachalari ekanligini tasdiqlaydi. Shu sababli keyingi bosqichda chang konsentratsiyasining shlam massasi va uning tarkibidagi qattiq faza ulushiga ta’siri o‘rganildi.

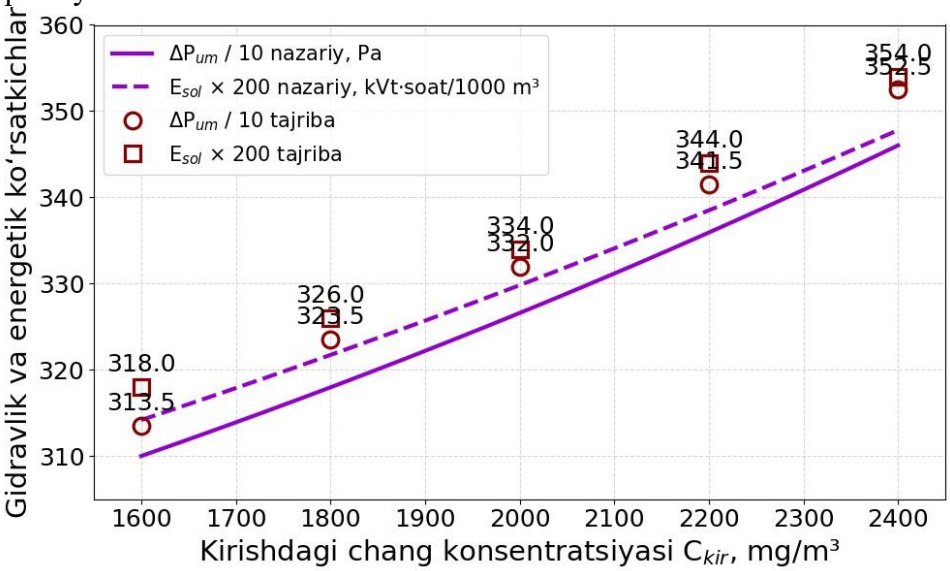


4-rasm. Kirishdagi chang konsentratsiyasining shlam massasi va qattiq faza ulushiga ta’siri.

4-rasmdagi grafik bog‘liqlikdan ko‘rinadiki, kirishdagi chang konsentratsiyasi oshishi bilan shlamning umumiy massasi keskin emas, ammo barqaror ravishda ortadi. Nazariy hisob bo‘yicha G_{shlam} = 123,42 kg/soat dan 125,03 kg/soat gacha, tajriba natijalari bo‘yicha esa 123,51 kg/soat dan 124,99 kg/soat gacha o‘zgaradi.

Bunda asosiy amaliy ko‘rsatkich shlam tarkibidagi qattiq faza ulushidir. Tajriba natijalari bo‘yicha qattiq faza ulushi 2,84 % dan 4,00 % gacha oshadi. Bu holat yuqori chang yuklamasida skrubberda hosil bo‘ladigan shlam tarkibida qattiq zarrachalar miqdori ortishini ko‘rsatadi.

Demak, chang konsentratsiyasi yuqori bo‘lgan rejimlarda shlamni uzluksiz chiqarish, cho‘ktirish va suvni qayta aylantirish tizimining barqaror ishlashi muhim ahamiyat kasb etadi. Shu sababli keyingi bosqichda C_{kir} oshishi umumiy gidravlik qarshilik va solishtirma energiya sarfiga qanday ta’sir ko‘rsatishi baholandi.



5-rasm. C_{kir} oshganda umumiy gidravlik qarshilik va solishtirma energiya sarfining o‘zgarishi.

5-rasmdagi grafik bog‘liqlikdan ko‘rinadiki, kirishdagi chang konsentratsiyasi oshishi bilan umumiy gidravlik qarshilik ham ortib boradi. Nazariy hisob bo‘yicha ΔP_{um} = 3100 Pa dan 3460 Pa gacha, tajriba natijalari bo‘yicha esa 3135 Pa dan 3525 Pa gacha oshadi. Bu o‘sish gaz oqimi tarkibidagi chang zarrachalari miqdori ko‘payishi, Venturi zonasida suyuqlik bilan intensiv aralashgan ikki fazali oqimning zichlashishi, nasadkali qatlam va tomchi ushlagich zonasida namlangan zarrachalar ta’sirida mahalliy qarshiliklarning ortishi bilan izohlanadi. Natijada ventilyator quvvati ham ortib, umumiy energiya sarfi ko‘payadi.

Solishtirma energiya sarfi nazariy hisob bo‘yicha E_{sol} = 1,57 dan 1,74 kVt·soat/1000 m³ gacha, tajriba natijalari bo‘yicha esa 1,59 dan 1,77 kVt·soat/1000 m³ gacha oshadi. Demak, chang konsentratsiyasi ortishi tozalash samaradorligining pasayishi bilan birga gidravlik va energetik yuklamaning ko‘payishiga olib keladi.

Olingan grafik bog‘liqliklar shuni ko‘rsatadiki, kirishdagi chang konsentratsiyasi 1600–2400 mg/m³ oralig‘ida oshirilganda ikki bosqichli Venturi–nasadkali skrubberda ish rejimi murakkablashadi. Bunda tozalash samaradorligi tajriba natijalari bo‘yicha 99,8 % dan 94,6 % gacha pasayadi, biroq apparatning chang ushlash qobiliyati yuqori darajada saqlanadi.

Chang konsentratsiyasi ortishi bilan chiqishdagi qoldiq chang miqdori, ushlangan chang massasi, shlam tarkibidagi qattiq faza ulushi, umumiy gidravlik qarshilik va solishtirma energiya sarfi ham ortadi. Bu esa yuqori chang yuklamasida faqat tozalash samaradorligini emas, balki shlam chiqarish tizimi, suv retsirkulyatsiyasi va ventilyator quvvatini ham birgalikda baholash zarurligini ko‘rsatadi.

Xulosa.

Tadqiqot natijalari kirishdagi chang konsentratsiyasi ikki bosqichli Venturi–nasadkali ho‘l skrubberning texnologik, gidravlik va energetik ko‘rsatkichlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatishini tasdiqladi. C_{kir} qiymati 1600 mg/m³ dan 2400 mg/m³ gacha oshirilganda tozalash samaradorligi pasaydi, biroq 94,6 % dan yuqori darajada saqlanib qoldi.

Shu bilan birga, ushlangan chang massasi va shlam tarkibidagi qattiq faza ulushi ortgani sababli apparatning shlam chiqarish va suvni qayta aylantirish tizimi barqaror ishlashi zarurligi aniqlandi. Nazariy va tajribaviy natijalar orasidagi farq ±4,8 % dan oshmagani hisoblash modelining amaliy natijalar bilan mosligini ko‘rsatadi. Shu asosda ikki bosqichli Venturi–nasadkali skrubber kalsiylangan soda ishlab chiqarish jarayonidagi changli gazlarni ho‘l usulda tozalash uchun samarali texnik yechim sifatida baholandi.

Adabiyotlar

[1]. ГОСТ 17.2.4.06-90. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения.

[2]. ГОСТ 17.2.4.07-90. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения давления и температуры газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения.
[3]. ГОСТ Р ИСО 9096-2006. Выбросы стационарных источников. Определение массовой концентрации твердых частиц ручным гравиметрическим методом.
[4]. ГОСТ 33007-2014. Оборудование газоочистное и пылеулавливающее. Методы определения запыленности газовых потоков. Общие технические требования и методы контроля.
[5]. Karimov I.T., Madaliyev A.N., Isomidinov A.S. Hydrodynamics of Rotary Apparatus of the Wet Method of Dust Cleaning. European Journal of Emerging Technology and Discoveries, 2023.
[6]. Isomidinov A.S. Analysis of modern devices for wet cleaning of industrial dust gases. Western European Journal of Modern Experiments and Scientific Methods, 2023.
[7]. Isomidinov A.S., Khursanov B.J. Application of the rotor-filter apparatus in the purification of hydrogen-fluoride gas and justification of its technical parameters. Scientific Progress, 2023.
[8]. Azizjon Isomidinov, Xushnudbek Xomidov. Study of hydraulic resistance of rotor-filter apparatus. Механика и технология, 2024.
[9]. Isomidinov A.S., Xomidov X.R. Aerodynamics of filter fabric made from glass fiber and Teflon. Экономика и социум, 2025.
[10]. Isomidinov A.S., Xomidov X.R. Influence of composite filter fabric thickness on aerodynamic resistance. Академические исследования в современной науке, 2026.
[11]. Isomidinov A.S., Xomidov X.R. Influence of composite filter fabric thickness and gas velocity on cleaning efficiency. Development and Innovations in Science, 2026.

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 06.04.2026 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*

Аннотация. *Стремительная урбанизация и рост уровня автомобилизации населения значительно усилили проблемы транспортных заторов на городских перекрёстках. Традиционные системы светофорного регулирования с фиксированным временем работы (fixed-time) зачастую оказываются неэффективными в условиях динамически изменяющихся транспортных потоков, что приводит к увеличению задержек транспортных средств, расхода топлива и загрязнения окружающей среды. В данном исследовании проводится анализ современных моделей и алгоритмов адаптивного управления транспортными потоками на основе искусственного интеллекта, применяемых на городских перекрёстках. Исследование сосредоточено на интеллектуальных транспортных системах (ITS), подходах к адаптивному управлению светофорными сигналами, а также на методах машинного обучения, включая обучение с подкреплением (Reinforcement Learning), Deep Q-Network (DQN), нечеткую логику (Fuzzy Logic) и генетические алгоритмы. Выполнен*

сравнительный анализ существующих научных исследований и международного опыта в области систем оптимизации транспортных потоков на основе искусственного интеллекта. Кроме того, обсуждается роль платформ транспортного моделирования, таких как SUMO и PTV Vissim, в оценке моделей адаптивного транспортного управления. Научная значимость данного исследования заключается в формировании теоретических и методологических основ для развития интеллектуальных адаптивных систем управления транспортом в рамках концепции «Умный город» (Smart City) в Узбекистане.

Ключевые слова: *искусственный интеллект, адаптивное управление транспортом, интеллектуальные транспортные системы, обучение с подкреплением, моделирование SUMO, управление городским транспортом, умный город.*

Abstract. *Rapid urbanization and the increasing rate of vehicle ownership have significantly intensified traffic congestion problems at urban intersections. Traditional fixed-time traffic signal control systems are often ineffective under dynamically changing traffic conditions, resulting in increased vehicle delays, fuel consumption, and environmental pollution. This study analyzes modern artificial intelligence-based adaptive traffic management models and algorithms applied at urban intersections. The research focuses on Intelligent Transportation Systems (ITS), adaptive traffic signal control approaches, and machine learning methods such as Reinforcement Learning, Deep Q-Network (DQN), Fuzzy Logic, and Genetic Algorithms. A comparative analysis of existing scientific studies and international practices related to AI-based traffic optimization systems is conducted. Furthermore, the role of traffic simulation platforms such as SUMO and PTV Vissim in evaluating adaptive traffic control models is discussed. The scientific significance of this research lies in establishing theoretical and methodological foundations for the development of intelligent adaptive traffic management systems within the framework of Smart City concepts in Uzbekistan.*

Keywords: *artificial intelligence, adaptive traffic management, intelligent transportation systems, reinforcement learning, SUMO simulation, urban traffic management, smart city.*

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_2chiqindilarini 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.

References

[9]. 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.

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

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

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

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

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

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

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

[17]. J. Zhang, “Urban Traffic Congestion Prediction Using Machine Learning,” Future Internet, vol. 15, no. 1, 2023.

[18]. R. Sutton and A. Barto, Reinforcement Learning: An Introduction, MIT Press, 2021.

[19]. A. M. de Souza, “Traffic Management in Smart Cities,” Journal of Network and Computer Applications, vol. 172, 2021.

[20]. S. Gronlund, “Intelligent Traffic Systems for Smart Cities,” Sensors, vol. 24, no. 2, 2024.

[21]. M. Chen, “Artificial Intelligence for Sustainable Urban Mobility,” Sustainability, vol. 16, no. 2, 2025.

[22]. PTV Group, “PTV Vissim User Manual,” Karlsruhe, Germany, 2024.

[23]. L. Li, “Traffic Signal Timing via Deep Reinforcement Learning,” IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, vol. 9, no. 3, pp. 451–463, 2022.

СУҒОРИШ НАСОС СТАНЦИЯЛАРИНИНГ ИШ РЕЖИМИНИ ОШИРИШ БЎЙИЧА ЧОРА-ТАДБИРЛАРНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ

Б.М. Шакиров[1], О.Н. Сулаймонов[2], О.А. Абдухалилов[1], И.Ш. Ўринов[1], М.Т. Нурматова[1]

[1]Андижон қишлоқ хўжалиги ва агротехнология институти,
[2]Фарғона давлат техника университети

(Қабул қилинди 06.04.2026 й.)

Аннотация. *Мазкур мақолада суғориш насос станцияларининг иш режимини ошириш ва энергия самарадорлигини яхшилаш масалалари тадқиқ этилган. Суғориш насос станцияларининг иш*

режимини оптималлаштириш орқали уларнинг самарадорлигини ошириш масалалари ўрганилган. Тадқиқот 2020–2025 йиллар давомида насос станцияларининг реал эксплуатацион маълумотлари асосида амалга оширилди.

Таянч сўзлар: *Sug‘orish nasos stansiyasi, ish rejimini optimallashtirish, energiya samaradorligi, suv sarfi, elektr energiyasi iste’moli, statistik tahlil, barqaror boshqaruv.*

Аннотация. *В данной статье исследуются вопросы повышения эффективности работы оросительных насосных станций и улучшения их энергетической эффективности. Рассматриваются вопросы повышения эффективности насосных станций путем оптимизации их режимов работы. Исследование проводилось на основе реальных эксплуатационных данных насосных станций за период 2020–2025 годов.*

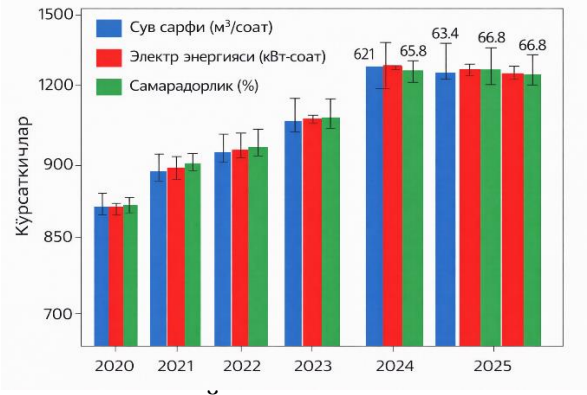
Ключевые слова: *Оросительная насосная станция, оптимизация режима работы, энергоэффективность, расход воды, потребление электроэнергии, статистический анализ, устойчивое управление.*

Abstract. *This article examines issues related to improving the operational performance of irrigation pump stations and enhancing their energy efficiency. The study focuses on increasing the efficiency of pump stations through the optimization of their operating modes. The research was conducted based on the actual operational data of pump stations from 2020 to 2025.*

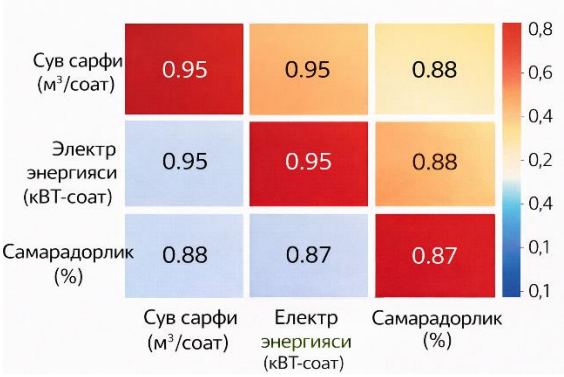
Key words: *Irrigation pump station, optimization of operating mode, energy efficiency, water consumption, electricity consumption, statistical analysis, sustainable management.*

Суғориш тизимлари қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқаришининг барқарорлигини таъминловчи асосий омиллардан бири ҳисобланади. Ушбу тизимларнинг самарали ишлаши, айниқса, сув ресурслари чекланган ва энергия таъминоти ҳаражатлари юқори бўлган шароитларда муҳим аҳамият касб этади. Суғориш насос станциялари катта ҳажмдаги сувни узатиш билан бирга, электр энергиясининг асосий истеъмолчиларидан бири бўлиб, уларнинг иш режими қишлоқ хўжалиги маҳсулотлари таннархига бевосита таъсир кўрсатади. Шу сабабли насос станцияларининг ишини такомиллаштириш, энергия сарфини камайтириш ва техник-иқтисодий кўрсаткичларини яхшилаш бугунги кунда долзарб илмий-амалий муаммолардан бири ҳисобланади[1].

Ушбу тадқиқотнинг мақсади суғориш насос станцияларининг иш режимини оптималлаштириш ва энергия самарадорлигини ошириш бўлиб, амалий ва статистик ёндашувлар асосида амалга оширилди. Тадқиқот объекти сифатида “Ҳақиқат 1” насос станцияси танланди. 2020–2025 йиллар оралиғида ҳар ой давомида насос станцияларининг сув сарфи, электр энергияси сарфи, иш вақти ва насос самарадорлиги бўйича маълумотлар тизимли равишда йиғилди. Ушбу параметрлар амалий шароитда ўлчанган бўлиб, ўлчов аниқлиги илмий стандартларга мос тарзда таъминланди. Ушбу тадқиқот суғориш насос станцияларининг иш режимини оптималлаштириш ва самарадорлигини оширишга қаратилган бўлиб, статистик таҳлил усулларини комплекс қўллаш асосида амалга оширилди.



1-расм. Йил бўйича дескриптик статистик таҳлили



2-расм.Кўрсаткичлар ўртасидаги корелация таҳлили

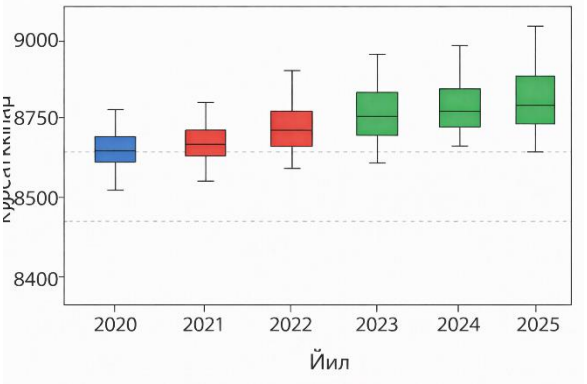
Маълумотларни йиғиш жараёнида қуйидаги асбоб-ускуналар ишлатилди: роторли сув ўлчагичлар ёрдамида сув сарфи ±1.5% аниқликда ўлчанди, энергия мониторлари орқали

электр энергияси сарфи ±1% аниқлик билан қайд этилди, иш вақти лог ёзувлари орқали ±0.1% аниқликда белгиланиб борди. Насос самарадорлиги эса юқоридаги параметрлар асосида қуйидаги формула ёрдамида ҳисобланди:

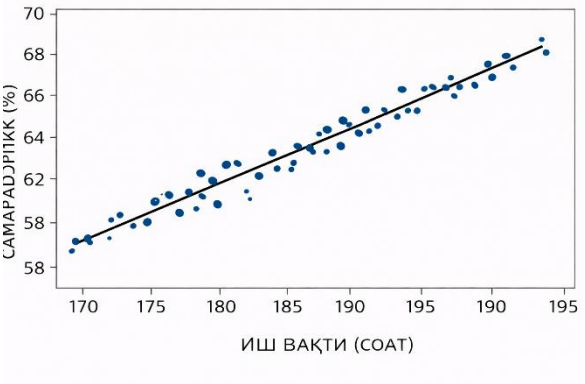
$$\eta = \frac{QH\rho g}{N} * 100\%$$

бу ерда Q – сув сарфи (м³/с), H – насос кўтариш баландлиги (м), ρ – сув зичлиги (кг/м³), g– эркин тушиш тезланиши (9.81 м/с²), N– насос қуввати (кВт). Ушбу математик модель ёрдамида насос иш режими ва энергия самарадорлиги таҳлил қилинди ва турли иш комбинациялари синовдан ўтказилди.

Статистик таҳлил қуйидаги босқичларда амалга оширилди. Биринчи босқич — дескриптив статистика: ҳар бир параметр бўйича ўртача қиймат, медиан, стандарт оғиш, минимум ва максимум қийматлар ҳисобланди. Бу насос стансияларининг иш режими ва энергия сарфи хусусиятларини умумий кўрсаткичлар орқали баҳолаш имконини берди. Иккинчи босқич — ANOVA ёрдамида йиллар бўйича самарадорлик ва энергия сарфи ўзгариши таҳлил қилинди, яъни турли йилларда насос стансияларининг иш самарадорлиги ўртасидаги статистик фарқлар аниқланиши мумкин бўлди. Учинчи босқич — регрессия таҳлили: иш вақти, сув сарфи ва энергия сарфи параметрларининг самарадорликка таъсири аниқланиб, оптимал иш режимини ишлаб чиқиш учун математик модель яратилди. Тўртинчи босқич — коррелятсия таҳлили, бу орқали параметрлар ўртасидаги боғлиқлик даражаси баҳоланди, масалан, иш вақти ва самарадорлик, энергия сарфи ва сув сарфи ўртасидаги ўзаро алоқалар аниқланди.



3-расм. ANOVA натижалар:



4-расм.Регрессия таҳлили:

Бешинчи босқич — тренд таҳлили, 2020–2025 йиллар давомида насос самарадорлиги ва энергия сарфи ўзгаришининг статистик жиҳатдан аҳамиятли йўналишлари аниқлаш имконини берди.

Ушбу ёндашув нафақат индивидуал йил ёки ой натижаларини, балки турли йиллар бўйича ўзгаришларни ҳам аниқлаш имконини берди. Шунингдек, натижалар регрессия ва корреляция таҳлили ёрдамида таҳлил қилиниб, иш вақти, сув сарфи ва энергия сарфи каби параметрларнинг насос самарадорлигига таъсири илмий жиҳатдан далилланди.

1- жадвал.

2020–2025 йиллар давомида асосий кўрсаткичларнинг ўртача қийматлари ва стандарт оғишларини акс эттиради:

Йил	Сув сарфи (м³/соат)	Стандарт оғиш	Электр энергияси (кВт·соат)	Стандарт оғиш	Самарадорлик (%)	Стандарт оғиш
2020	1200	25	8500	80	62.4	1.2
2021	1250	32	8600	85	63.8	1.3
2022	1265	30	8675	88	64.3	1.3

1- жадвал.

2020–2025 йиллар давомида асосий кўрсаткичларнинг ўртача қийматлари ва стандарт оғишларини акс эттиради:

Йил	Сув сарфи (м³/соат)	Стандарт оғиш	Электр энергияси (кВт·соат)	Стандарт оғиш	Самарадорлик (%)	Стандарт оғиш
2023	1280	28	8900	90	65.2	1.1
2024	1305	35	9000	88	66.0	1.2
2025	1320	30	9100	85	66.8	1.1

Натижалар шуни тасдиқладики, оптимал иш режими жорий этилганда насос станцияларининг самарадорлиги ошади, энергия сарфи камаяди ва иш барқарорлиги таъминланади.

Натижалар ва муҳокамалар: Тадқиқот натижалари 2020–2025 йиллар давомида суғориш насос станцияларининг иш кўрсаткичлари бўйича олинган реал статистик маълумотларга асосланади. Олинган натижалар шуни кўрсатадики, насос станцияларининг иш режимини оптималлаштириш сув сарфи, электр энергияси истеъмоли ва умумий самарадорлик кўрсаткичларига сезиларли ижобий таъсир кўрсатади. Йиллар давомида сув сарфининг босқичма-босқич ошиши билан бирга насос самарадорлигининг ҳам изчил ўсиб бориши кузатилди, бу эса иш режимининг тўғри ташкил этилганлигини тасдиқлайди.

2020 йилда насос станцияларининг ўртача самарадорлиги 62,4% ни ташкил этган бўлса, 2025 йилга келиб бу кўрсаткич 66,8% гача ошган. Бу эса иш режимини оптималлаштириш ва техник кўрсаткичларни мувофиқлаштириш орқали самарадорликнинг қарийб 6–7% га ошганини кўрсатади. Шу билан бирга, электр энергияси сарфи ҳажми сув етказиб бериш ҳажми ошишига қарамасдан кескин кўпаймаган, бу энергия тежамкор иш режими шакллантирилганлигини англатади.

2-жадвал.

Тадқиқот давомида олинган асосий натижаларни умумлаштиради:

Йил	Сув сарфи (м³/соат)	Электр энергияси (кВт·соат)	Самарадорлик (%)	Иш вақти (соат)
2020	1200	8500	62.4	180
2021	1250	8600	63.8	182
2022	1265	8675	64.3	183
2023	1280	8900	65.2	184
2024	1305	9000	66.0	186
2025	1320	9100	66.8	188

Натижаларнинг график таҳлили самарадорликнинг йиллар бўйича барқарор ўсиш трендига эга эканини кўрсатди. Диаграммаларда сув сарфи ва иш вақти ошгани сари самарадорлик ҳам ортиб бораётгани аниқ кузатилади. Бу ҳолат насос агрегатларининг оптимал юклама режимида ишлатилиши самарадорликни оширишда муҳим омил эканини тасдиқлайди. Иш вақти билан самарадорлик ўртасидаги боғлиқликни ифодаловчи диаграммалар эса бу параметрлар ўртасида кучли мусбат корреляция мавжудлигини кўрсатди.Муҳокама жараёнида аниқланганки, насос станцияларининг иш режимини фақат сув сарфи ёки қувват кўрсаткичлари асосида эмас, балки иш вақти, энергия сарфи ва техник ҳолатни комплекс ҳисобга олган ҳолда бошқариш юқори самарадорликка олиб келади.

Бу насосларнинг: оптимал юклама режимига чиқиши,гидравлик барқарорлашув,ишчи қисмларнинг мослашуви

билан боғлиқ. $\eta\,(T) = a + bT$

бу ерда:T — иш вақти (соат); a,b — эмпирик аниқланган коэффициентлар.

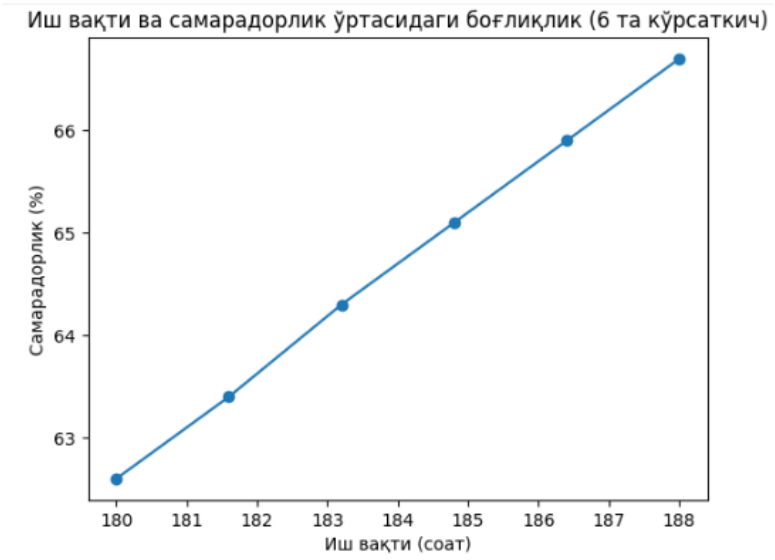
Коэффициентларни ҳисоблаш:

$$b = \frac{66.8-62.4}{188-180} = 0.55\%$$

$$a=62.4 - 0.55 \times 180 = -36.6$$

Модель: η (T) = 0.55T − 36.6

Бу тенглама шуни кўрсатадики, насос оптимал иш вақти оралиғида ишлаганда самарадорлик сезиларли ошади. Жуда қисқа ёки ҳаддан ташқари узоқ ишлаш эса самарадорликни пасайтириши мумкин.



1-диаграмма.Суғориш насос станцияларинг самарадорликнинг иш вақти (соат) билан боғлиқлиги энергия сарфи.

Ушбу тадқиқот суғориш насос станцияларининг иш режимини оптималлаштириш орқали уларнинг самарадорлигини ошириш ва электр энергияси сарфини мақбуллаштириш имкониятларини илмий асосда аниқлашга қаратилди. 2020–2024 йиллар давомида тўпланган реал эксплуатацион маълумотлар асосида олиб борилган таҳлиллар насос станцияларининг иш режимини комплекс бошқариш юқори самарадорликка эришишда муҳим омил эканини тасдиқлади. Олинган натижалар насос агрегатларининг оптимал юклама режимида ишлатилиши гидравлик ва механик йўқотишларни камайтиришини кўрсатди.Тадқиқот давомида насос станцияларининг самарадорлиги йиллар давомида изчил ошиб бориши аниқланди. Самарадорлик кўрсаткичининг 62,4 фоиздан 66,8 фоизгача ўсиши иш режимини илмий асосда такомиллаштириш натижаси эканини тасдиқлайди. Шу билан бирга, сув етказиб бериш ҳажми ошганига қарамасдан, электр энергияси сарфининг кескин кўпаймаганлиги энергия тежамкор бошқарув ёндашуви қўлланилганини кўрсатади. Бу ҳолат суғориш тизимларида барқарор ва иқтисодий жиҳатдан самарали эксплуатацияни таъминлаш имконини беради. Статистик, график ва регрессия таҳлиллари иш вақти, сув сарфи ҳамда энергия истеъмоли ўртасида кучли функционал боғлиқлик мавжудлигини аниқлади. Насос агрегатларининг барқарор иш режимида узоқ вақт ишлатилиши самарадорликнинг ошишига ва эксплуатация ишончлилигининг яхшиланишига олиб келиши илмий жиҳатдан асосланди. Тадқиқот натижалари насосларнинг тез-тез ишга туширилиши ва тўхтатилиши самарадорликка салбий таъсир кўрсатишини ҳам кўрсатиб берди. Ушбу ишнинг илмий янгилиги шундан иборатки, суғориш насос станцияларининг иш режими фақат алоҳида техник кўрсаткичлар асосида эмас, балки сув сарфи, иш вақти ва электр энергияси истеъмолини комплекс тарзда баҳолаш орқали оптималлаштирилди.

Adabiyotlar

[1]. Мамажонов М., Насос ва насос станциялари//Тошкент 2012. № 1. 55-63.

[2]. Мамажонов М., Хакимов А., Мажидов Т., Уралов Б., Насос ва насос станцияларидан амалий машғулотлар//Андижон 2005. № 1. 72-73.

[3]. Шакиров.Б.М, Абдухалилов О.А Суғориш насос станцияларидаги марказдан қочма насослар курагининг оптимал бурчагини аниқлаш.// “Фундаментал ва амалий тадқиқотларнинг долзарб муаммолари: ютуқлар ва инновацион ечимлар” мавзусидаги халқаро илмий ва илмий-техникавий анжуман материаллари тўплам. Бухоро 2024, № 1, Б.201-204.

[4]. Шакиров Б.М., Абдухалилов О.А., Ботирова Н.М., Ўринов И.Ш., Суғориш насос станцияларидаги марказдан қочма насосларнинг эскиришини баҳолаш.// “Глобал иқлим ўзгариши шароитида қишлоқ хўжалигини инновацион технологиялар асосида барқарор ривожлантириш истиқболлари” мавзусидаги халқаро илмий ва илмий-техник анжуман мақолалар тўплами 2-қисм. Андижон 2024, № 2, Б.23-26.
[5]. Abdullayev A.A., Karimov B.T. Sug‘orish tizimlarida nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirish masalalari. Irrigatsiya va melioratsiya ilmiy jurnali, 2021, №3, 45–52.
[6]. Islomov S.R., To‘rayev M.N. Nasos agregatlarining ish rejimini optimallashtirish usullari. O‘zbekiston muhandislik jurnali, 2020, №2, 33–39.
[7]. Raxmonov J.J. Sug‘orish nasos stansiyalarida elektr energiyasidan samarali foydalanish. Toshkent: Fan va texnologiya, 2019. 156 b.
[8]. Qodirov O.X., Axmedov D.B. Suv xo‘jaligi obyektlarida energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etish. Suv xo‘jaligi muammolari, 2022, №1, 27–35.
[9]. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome: FAO, 1998.
[10]. Wu J., Ma L., Fang X. Energy efficiency evaluation of irrigation pumping stations based on operational data. Energy Reports, 2021, Vol. 7, pp. 3850–3858.
[11]. Zhang Y., Wang H., Li Z. Optimization of pump station operation considering energy consumption and water demand. Journal of Cleaner Production, 2020, Vol. 276, 124203.
[12]. Singh R., Kumar R. Performance analysis of irrigation pump systems using statistical and regression models. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2022, Vol. 52, 102123.

O’ZBEKISTON SHAROITIDA LYOSSIMON GRUTLARNING KELIB CHIQISHI

Sh.R. Xalimova[1], Y.D. Ergasheva[2]

[1]Toshkent davlat transport universiteti dotsenti
[2]Farg’ona davlat texnika universiteti assistenti
odilovayorqinoy41@gmail.com tel: (20) 007-02-15
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Inshootlarni loyihalashda, qurishda joylarning geologik sharoitini aniqlash asosiy vazifalardan biri hisoblanadi. Bu vazifa muhandis - geologik sharoiti qiyin bo'lgan hududlar uchun ayniqsa zarur bo'lib, bunday joylarga cho'kuvchan gruntlar tarqalgan mintaqalarni kiritish mumkin. Maqolada yo'l poyida qo’llaniladigan lyosslar, lyossimon gruntlar, ularning genezisi va xossalari keng yoritilgan.*
Kalit so’zlar: : *grunt, lyoss, lyossimon, genetik tur, allyuvial, prolyuvial, delyuvial, elyuvial, eol, flyuvioglyatsional (muz).*
Аннотация: *При проектировании и строительстве сооружений одной из основных задач является определение геологических условий местности. Эта задача особенно важна для районов со сложными инженерно-геологическими условиями, к которым можно отнести территории, распространённые просадочные грунты. В статье подробно рассмотрены лёссы и лёссовидные грунты, применяемые в дорожном основании, их генезис и свойства.*
Ключевые слова: *грунт, лёсс, лёссовидный, генетический тип, аллювиальный, пролювиальный, делювиальный, элювиальный, эоловый, флювиогляциальный (ледниковый).*
Abstract: *When designing structures, determining the geological conditions of places when building is one of the main tasks. This task is especially necessary for areas with difficult engineer - geological conditions, and regions with scattered sedimentary grunts can be included in such places. The article covers a wide range of lyoses, lyose grunts, their genesis and properties applied at the foot of the road.*
Key words*: soil, precipitation, groundwater, physical properties of soils, engineering and geological conditions, chemical properties of soils, degree of salinity.*

Lyoss so’zi xalqaro atama bo’lib, u 1823-yili nemis olimi K.G.Lesnard tomonidan mineralogik va geologik adabiyotga kiritilgan. Lyoss so’zi bo’shoq, uvalanadigan degan ma’noni anglatadi. Yer qobig’ida yotishi jihatidan lyoss ustki yotqiziqlar hisoblanib, ular ko’pgina inshootlarning zamini bo’lib hizmat qiladi.

Lyoss tog’ jinsining qalinligi bir necha sm dan bir necha o’n metrga yetadi. Tekis joylarda bu tog’ jinsining qalinligi ko’payib borsa, suv ayirgichlarga kelganda ularning qalinligi kamayadi.

Lyoss tog’ jinslari ko’pincha ikki turga „Lyoss” va “Lyossimon“ tog’ jinslariga ajratiladi. To’rtlamchi davr yotqiziqlari orasida lyoss va lyossimon jinslar yer yuzida eng ko’p tarqalgan tog’ jinslari hisoblanib, ular hamma qit’alarda uchraydi. Osiyo, Shimoliy va Janubiy Amerika, Yevropa lyoss va lyossimon jinslarning asosiy tarqalgan yerlaridir.

Yer sharida lyoss va lyossimon tog’ jinslari tarqalgan maydon 13 mln. km^2 maydonni egallaydi. Lyoss va lyossimon tog’ jinslari asosan tekisliklarda, tog’ oldi hududlarida va tog’ yonbag’irlarida 1500 m balandlikkacha, O’rta Osiyo tog’larida esa 4500 m balandlikkacha tarqalgan. Lyoss va lyossimon tog’ jinslarining paydo bo’lishi haqida quyidagi nazariyalar mavjud: eol nazariyasi, prolyuvial nazariyasi, delyuvial nazariya, allyuvial nazariya, elyuvial nazariya tuproq nazariyasi, kosmik nazariya, dengiz nazariyasi, ko’l nazariyasi [1].

a) b)

1-rasm. Lyossimon tog’ jinslari.

Lyosslar tabiiy holatda quyidagi yetita hususiyatga ega bo’lib ular: sarg’imtir rangda bo’lishi; quruq holatda mustahkamlikka egaligi; yuqori korbanatlilik; qatlamlanishi yo’qligi; doimo chang zarrachalari ko’p bo’lgan granulometrik tarkibga va yuqori g’ovaklikka egaligi, hamda vertical yonbag’ir hosil qilishidan iborat. Agar shu hususiyatlardan biri bo’lmasa, bu lyosslar lyossimon gruntlar turkumiga kiritiladi. Ma’lumki, O’rta Osiyoning markaziy va janubiy qisimlarining, ya’ni O’zbekiston, Tojikiston, Turkmaniston, Qozog’iston Respubliklari va Afg’onistonning umumiy maydonini 25% dan ortiq hududini lyoss va lyossimon jinslar egallab yotadi.

G.O.Mavlonov O’zbekiston hududida tarqalgan lyoss va lyossimon jinslarini quyidagi turkumlarga ajratadi:

I. Lyoss turkumi:
   1) eol lyyosi 2) prolyuvial lyyosi
II. Lyossimon tog’ jinslari turkumiga:
   1) eol lyossimoni;
   2) elyuvial lyossimoni;
   3) prolyuvial lyossimoni;
   4) delyuvial lyossimoni;
   5) allyuvial lyossimoni;
   6) muzlik lyossimoni.

Eol lyossi mayda donali cho’kindi tog’ jinsi bo’lib, bu jins quruq iqlimli tog’ yonbag’irlarining baland qismida ko’p uchraydi. Uning rangi sarg’ish yoki och mallasimon sariq. Eol lyossi oson kavlanadigan jins bo’lib, yetarli zichlanmagan bo’ladi, u yirik g’ovaklikka va undagi g’ovaklik asosiy jins hajmiga nisbatan 54-55 % va undan ham ortiq bo’lishi mumkin [2].

Prolyuvial lyossi mayda donali, yuqori g’ovaklikka ega bo’lgan, lyossning hamma hususiyatlarini o’zida aks ettirgan tog’ jinsidir. Bu tog’ jinslari tog’larning etak qismida tarqalgan bo’lib, ular suv ostida uzoq turmay tezda yotqizilganligi sababli juda g’ovakli bo’ladi. Prolyuvial lyossining qalinligi tog’dan tekislikka tomon uzoqlashgan sari ortib boradi. Cho’kuvchanlik prolyuvial lyossning qalinligiga qarab bir necha sm dan 2 m gacha va undan yuqori bo’lishi ham mumkin [3].

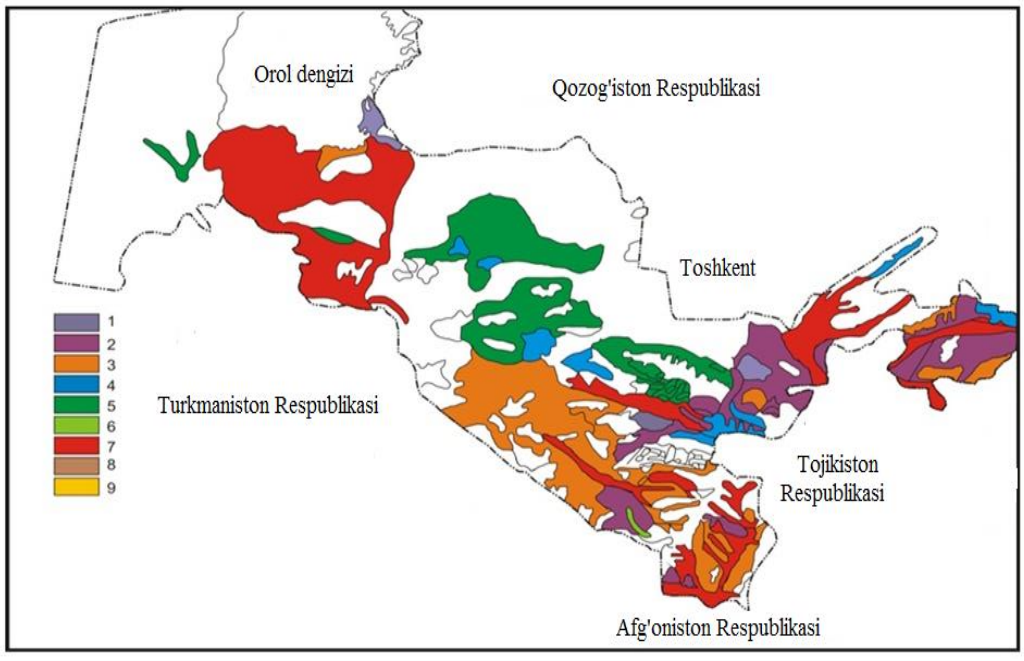
Eol lyossimoni eol lyossining o’zgargan turiga kiradi. Eol lyossi uzoq vaqt namlanish, hamda

oson eriydigan tuzlarning yuvilib ketganligi tufayli va ustidan bosilishi natijasida o’zining yuqori g’ovakligini yo’qotadi. U ancha zichlangan bo’ladi. Prolyuvial lyossimoni vaqtinchalik oqadigan suv oqimi natijasida hosil bo’lgan mayda zarrachali jinsdir. Bu yotqiziqlar tabiatda qatlam holida bo’lib, uning tarkibida qum, shag’al qatlamchalari uchraydi. Elyuvial lyossimon jinslari tog’li hududlarda, ko’pincha nisbatan tekis, gohida ozgina qiya bo’lgan yuzalar ustida hosil bo’lib linzasimon hamda ustki yotqiziqlarini taskil qiladi. Ba’zi bir joylarda ularning qalinligi 2-3 m ga yetadi. Delyuvail lyossimoni tog’lik va baland tog’lik viloyatlarining yon bag’irlarida keng tarqalgan. Allyuvial lyossimon jinslari mayda zarrachali, mallasimon sariq rangdagi tog’ jinslaridir. Bu tog’ jinslari tabiatda qatlam shaklida tarqalgan bo’lib, ular orasida shag’al, qum qatlamlari uchraydi. Flyuvioglyatsional lyossimoni muzlarni erishi natijasida xosil bo’lgan suv oqimining muz yotqiziqlarini yuvib olib kelib yotqizilishidan holsil bo’ladi. Bu tog’ jinslarining qalinligi 2-3 m dan 40-50 m ga yetadi.

O’zbekistonda tarqalgan har xil genetik turdagi lyoss gruntlari haqida ma’lumotlar 1-jadvalda keltirilgan [4].

1-jadval

O’zbekistonda tarqalgan lyoss gruntlarining genetik turlari	Lyoss gruntlari tarqalgan hududning foizi, %
Delyuvial	2
Prolyuvial	15
Allyuvial-prolyuvial	30
Delyuvial-prolyuvial	3
Prolyuvial-delyuvial	15
Allyuvial-delyuvial	1,5
Allyuvial	32
Elyuvial-delyuvial	1,0
Elyuvial	0,5



2-rasm. O'zbekiston Respublikasi hududida lyoss va lyossimon gruntlarning tarqalishi: 1-prolyuvial lyoss; 2-prolyuvial lyossimon; 3-allyuvial-prolyuvial; 4-delyuvial-prolyuvial; 5-prolyuvial-delyuvial; 6-allyuvial-delyuvial; 7-allyuvial; 8-elyuvial-delyuvial; 9-elyuvial lyossimon gruntlar.

Bu gruntlarning asosiy hususiyatlaridan biri yuqorida aytib o'tilganidek cho'kuvchanlik bo'lib, bu hodisaning sabablari hozirda ko'p olimlar tomonidan o'rganilmoqda. Bir xil qalinlikka, bir xil zichlikka ega bo'lgan lyossimon gruntlarda turlicha cho'kish jarayonini kuzatish mumkin. Bu esa inshootlarni loyihalovchi muhandislar oldiga yangi muammolarni keltirib chiqaradi, chunki

me’yoriy xujjatlarda ko'rsatilgan qiymatlar asosida loyihalangan inshootlar deformatsiyaga uchrashi mumkin.

Respublikamizning turli o'lkalarida lyossimon gruntlarda qurilgan inshootlarni deformatsiyaga uchrashi bunga yaqqol misol bo'la oladi. Bunday misollarni ko'plab keltirish mumkin, bular lyossimon gruntlarni cho'kuvchanligini oldindan ayta bilishni va uni o'rganish uslublarini takomillashtirishni taqozo etadi. Lyossimon gruntlarni tayanch qirqimlarida o'rganish shuni ko'rsatadiki, ulardagi cho'kuvchanlik hodisasi grunt qavatlarini yer qobig'ida joylashuviga bog'liqdir. Tayanch qirqimlarida aniqlangan lyossimon grunt qavatlarida uchraydigan ko'milgan tuproqlar, karbonatli gorizontlarni uchrashi gruntlarni cho'kuvchanlik darajasiga ta'sir etuvchi asosiy omillar hisoblanadi. Gruntlarning tuzulishini o'zgarishi o'z navbatida ularni genetik turlariga, cho'kindilarni hosil bo'lish vaqtiga va o'sha vaqtdagi geologik sharoitga bog'liqdir.

Yuqoridagilardan xulosa qilib shuni aytish kerakki, gruntlarning fizik-mexanik hususiyatlarini shu jumladan, cho'kuvchanligini aniqlashda tik o'q bo'yicha gruntni umumiy qavatidan lyossimon ko'milgan tuproqlar va karbonatli qavatlarni ajratish va ularni har birini muhandis-geologik hususiyatlarini alohida o'rganish lozim. Lyossimon grunt qatlamining tuzilishi, rangi, zichligi, namligi va boshqa ko'rsatkichlari bilan bir-biridan keskin farq qiladi. Bu hususiyatlar to'liq o'rganilgandan so'ngina cho'kuvchanlikka qarshi chora-tadbir tanlansa, maqsadga muvofiq bo'ladi

Adabiyotlar

[1]. Ubaydullayeva Z.S. “Gruntlar mehanikasi” Toshkent - 2009, 218 bet
[2]. Сергеев Е.М, Голодковская Г.А, Зиангиров Р.С. ва бошқалар Грунтоведение М, Издательство МГУ, 2000 г.
[3]. Попов З. А. Лабараторные и практические работы по испытанию грунтов для дорожн
[4]. Maxmudova D.A. “Avtomobil yo’li poyidagi lyossimon gruntlarning mustahkamligi” Toshkent-2021. 144 bet.
[5]. Попов З.А. Лабараторные и практические работы по испытанию грунтов для дорожного строительства. М, Тпанспорт 2002 г.
[6]. Zhou C. B. et al. Groundwater flow through fractured rocks and seepage control in geotechnical engineering: Theories and practices //Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2022.
[7]. Tang C. S. et al. Investigation on microstructure evolution of clayey soils: A review focusing on wetting/drying process //Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2022.
[8]. Aksu G., Eskisar T. The geomechanical properties of soils treated with nanosilica particles //Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2022.
[9]. ШНК 1.02.07-15 «Инженерно-технические изыскания для строительства» Основные положения.
[10]. ГОСТ 12071-2000 «Грунты. Отбор. Упаковка. Транспортировка и хранение образцов».

ТАЪМИНЛОВЧИ БАРАБАННИНГ ТУКЛИ ЧИГИТ ОҚИМИГА ТАЪСИРИНИ НАЗАРИЙ ТАҲЛИЛИ.

[1]Ғайратов Ж.Ғ., [1]Алойдинов М.Ғ., [2]Джамолов Р.К

[1]Фарғона давлат техника университети,
[2]Толали экинлар илмий тадқиқот институти

(Қабул қилинди 06.04.2026 й.)

Аннотация. *Ушбу мақолада тукли чигит оқимини бир текис ва узлуксиз таъминлашда парракли таъминловчи барабаннинг таъсири назарий жиҳатдан таҳлил қилинган. Жараёнда тукли чигитларнинг ҳаракат тенгламалари тузилиб, дифференциал тенгламалар асосида уларнинг OX ўқи бўйлаб ҳаракати ўрганилган. Барабан айланишлар сони, паррак узунлиги, бурчак тезлиги ва оқим сарфининг ўзаро боғлиқлиги аниқланиб, Maple дастури ёрдамида график таҳлиллар олиб борилган. Тадқиқот натижаларига кўра, барабан айланишлар сони ва паррак узунлигининг мақбул қийматлари танланганда тукли чигит оқимини бир текис ва узлуксиз узатиш имконияти ошиши аниқланган.*

Калит сўзлар: *тукли чигит, таъминловчи барабан, паррак, оқим сарфи, бурчак тезлиги, дифференциал тенглама, узлуксиз узатиш, назарий таҳлил, Maple дастури.*

Аннотация. *В данной статье проведён теоретический анализ влияния лопастного питающего барабана на равномерную и непрерывную подачу потока опушённых семян хлопка. Были составлены уравнения движения потока семян и исследовано их движение вдоль оси OX на основе дифференциальных уравнений. Определены зависимости между числом оборотов барабана, длиной*

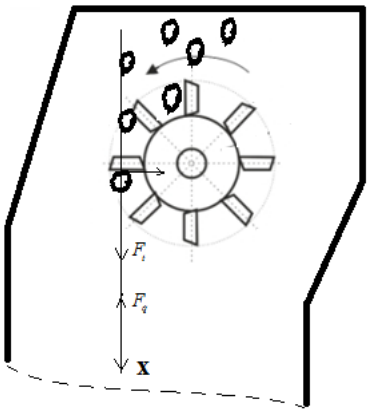
лопастей, угловой скоростью и расходом потока, а также выполнен графический анализ с использованием программы Maple. Результаты исследования показали, что при выборе оптимальных значений числа оборотов барабана и длины лопастей обеспечивается равномерная и непрерывная подача потока опушённых семян хлопка.

Ключевые слова: *опушённые семена хлопка, питающий барабан, лопасть, расход потока, угловая скорость, дифференциальное уравнение, непрерывная подача, теоретический анализ, программа Maple.*

Abstract. *This article presents a theoretical analysis of the influence of a bladed feeding drum on the uniform and continuous feeding of fuzzy cotton seed flow. The motion equations of fuzzy cotton seeds were developed, and their movement along the OX axis was studied using differential equations. The relationships between the drum rotation speed, blade length, angular velocity, and flow rate were determined, and graphical analyses were carried out using the Maple software package. The research results showed that selecting optimal values of drum rotational speed and blade length improves the uniform and continuous feeding process of fuzzy cotton seed flow.*

Keywords: *fuzzy cotton seeds, feeding drum, blade, flow rate, angular velocity, differential equation, continuous feeding, theoretical analysis, Maple software.*

Тукли чигитларни бир текисда узлуксиз таъмилашда барабан таъсиридаги ҳаракатини таҳлили келтирилган. Тукли чигит оқимига таъминлаш барабани билан юқоридан чигитларнинг зичлигига қарамасдан бир текисда олиниши учун парраклар α бурчак остида жойлаштирилган ва шу бурчакларни тўғри танлаш орқали узлуксиз оқимни таъминлаш масаласи кўриб чиқилган.



1-расм. Тукли чигит оқимига таъминловчи барабаннинг таъсир схемаси.

Тукли чигитлар оқимига парраклар таъсирида ҳоил бўладиган ташқи кучлар $F_q = c \cdot \dot{x}$-аэродинамик қаршилик кучи c – қаршилик коэффициенти $F_t = k \cdot \omega \cdot R$ -барабан ҳосил қилган тортиш кучи, k – узатиш коэффициенти, ω -барабан бурчак тезлиги, R -барабан радиуси. Юқоридан узатилаётган тукли чигит оқимининг таъминловчи барабан парраклари таъсирида OX ўқ бўйича ҳаракат дифференциал тенгламасини тузамиз.

$$F_t - F_q = m \cdot \ddot{x} \tag{1}$$

$$m \cdot \ddot{x} = k \cdot \omega \cdot R - c \cdot \dot{x}$$

$$\ddot{x} + \frac{c}{m} \cdot \dot{x} = \frac{k \cdot \omega \cdot R}{m} \tag{2}$$

(2) иккинчи тартибли бир жинсли бўлмаган дифференциал тенгламани белгилашлар киритиб содда кўринишга келтирамиз $\frac{c}{m} = a$; $\frac{k \cdot \omega \cdot R}{m} = b$.

$$\ddot{x} + a \cdot \dot{x} = b \tag{3}$$

(3) дифференциал тенгламани бир жинсли қисмини хосила даражасини белгилаш орқали пасайтириб хисоблаймиз. Бунда $\dot{x} = y$; $\ddot{x} = \dot{y}$ белгилашларни (3) дифференциал тенглмага қўйиб ҳисоблаймиз.

$$\dot{y} + a \cdot y = b \tag{4}$$

$$\dot{y} + a \cdot y = 0$$

$$\frac{dy}{dt} = -a \cdot y \quad \Rightarrow \quad \ln y = -a \cdot t \quad \Rightarrow \quad y_1 = C_1 \cdot e^{-a \cdot t}$$

(4) дифференциал тенгламани хусусий ечимини аниқлаймиз

$$y_2 = A \, ; \dot{y}_2 = 0$$

Бундан $a \cdot A = b \;\Rightarrow\; A = \frac{b}{a}$; $y_2 = A$ эканлигидан $y_2 = \frac{b}{a}$ (4) дифференциал тенгламани умумий ечимини аниқлаймиз

$$y = y_1 + y_2 = C_1 \cdot e^{-a \cdot t} + \frac{b}{a}$$

Юқоридаги ифодага $\dot{x} = y$ қўйиб вақт бўйича интегралаймиз

$$\dot{x} = C_1 \cdot e^{-a \cdot t} + \frac{b}{a}$$

$$\int dx = (C_1 \cdot e^{-a \cdot t} + \frac{b}{a}) \cdot \int dt$$

$$x = -\frac{C_1}{a} \cdot e^{-a \cdot t} + \frac{b}{a} \cdot t + C_2 \qquad (5)$$

Юқоридаги $\frac{c}{m} = a$; $\frac{k \cdot \omega \cdot R}{m} = b$ белгилашларни (5) тенгликка қўйиб ҳисоблаймиз

$$x = -\frac{m \cdot C_1}{c} \cdot e^{-\frac{c}{m} \cdot t} + \frac{k \cdot m \cdot R}{C} \cdot t + C_2 \qquad (6)$$

(6) тенгликдаги C_1 ва C_2 интеграл доимийларини бошланғич шартдан фойдаланиб аниқлаймиз $t = 0;\ x = 0;\ \dot{x} = \vartheta_0$ бундан

$$0 = -\frac{m}{c} \cdot C_1 + C_2 \;\Rightarrow\; C_2 = \frac{m}{C} \cdot (\vartheta_0 - \frac{k \cdot \omega \cdot R}{C})$$

$$\vartheta_0 = C_1 + \frac{k \cdot \omega \cdot R}{C} \;\Rightarrow C_1 = \vartheta_0 - \frac{k \cdot \omega \cdot R}{C}$$

Аниқланган C_1 ва C_2 интеграл доимийларини (6) тенгламага қўйиб юқоридан узатилаётган тукли чигит оқимининг таъминловчи барабан парраклари таъсирида OX ўқ бўйича ҳаракатини аниқлаймиз

$$x = -\frac{m}{C} \cdot (\vartheta_0 - \frac{k \cdot \omega \cdot R}{C}) \cdot e^{-\frac{c}{m} \cdot t} + \frac{k \cdot \omega \cdot R}{C} \cdot t + \frac{m}{C} \cdot (\vartheta_0 - \frac{k \cdot \omega \cdot R}{C}) \qquad (7)$$

(7) тенгликдан юқорида узатилаётган тукли чигит оқимини зичлигига қарамасдан бир текисда узлуксизлигини таъминлашда барабаннинг айланишлар сони, парраклар узунлиги иш унумдорлигига боғлиқлик ифодасини Maple дастури орқали графикларда таҳлиллари келтирилган.

Айланишлар сони бурчак тезликка боғлиқлигидан яъни $\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$ эканлигидан ва бу тенгликни (7) ифодага қўйиб айланишлар сонига боғлиқлик ифодасини ҳосил қиламиз

$$x = -\frac{m}{C} \cdot (\vartheta_0 - \frac{k \cdot \pi \cdot n \cdot R}{30 \cdot C}) \cdot e^{-\frac{c}{m} \cdot t} + \frac{k \cdot \pi \cdot n \cdot R}{30 \cdot C} \cdot t + \frac{m}{C} \cdot (\vartheta_0 - \frac{k \cdot \pi \cdot n \cdot R}{30 \cdot C}) \qquad (8)$$

Таъминловчи барабан паррак узунлиги ошса илиб кетиш майдони ортади шу сабабли $k = k_0 \cdot l$ эканлигидан ва бу ерда k_0 – конструктив коэффициент, l – паррак узунлиги (7) ифодага қўйиб паррак узунлигига боғлиқлик ифодасини ҳосил қиламиз

$$x = -\frac{m}{C} \cdot (\vartheta_0 - \frac{k_0 \cdot l \cdot \omega \cdot R}{C}) \cdot e^{-\frac{c}{m} \cdot t} + \frac{k_0 \cdot l \cdot \omega \cdot R}{C} \cdot t + \frac{m}{C} \cdot (\vartheta_0 - \frac{k_0 \cdot l \cdot \omega \cdot R}{C}) \qquad (9)$$

Тукли чигит оқим сарфини ўзгариши бўйича таҳлилини қуйидагича аниқлаймиз

$$Q = \rho \cdot S \cdot \vartheta \qquad (10)$$

эканлигидан ва бу тенгликда ρ – зичлиги, S -оқим кесим юзаси, ϑ-оқим тезлиги (7) ифодадан хосила олиб (10) тенгликка қўйиб оқим сарфини таҳлили келтирилган

$$\vartheta = \frac{dx}{dt} = (\vartheta_0 - \frac{k_0 \cdot l \cdot \omega \cdot R}{C}) \cdot e^{-\frac{c}{m} \cdot t} + \frac{k_0 \cdot l \cdot \omega \cdot R}{C} \qquad (11)$$

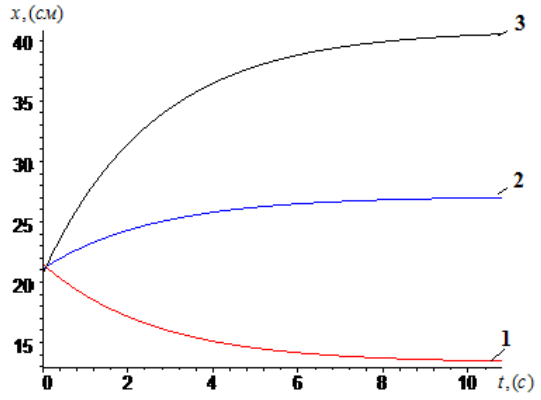
(11) тенгликни (9) тенгликка қўйиб хисоблаймиз

$$Q = \rho \cdot S \cdot \left[(\vartheta_0 - \frac{k_0 \cdot l \cdot \pi \cdot n \cdot R}{30 \cdot C}) \cdot e^{-\frac{c}{m} \cdot t} + \frac{k_0 \cdot l \cdot \pi \cdot n \cdot R}{30 \cdot C} \right] \qquad (12)$$

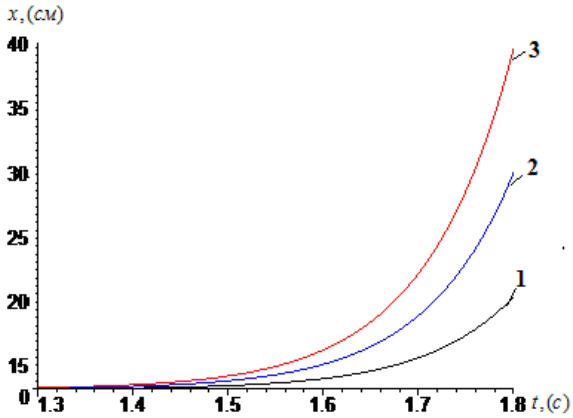
Узатилаётган тукли чигит оқимини зичлигига қарамасдан бир текисда узлуксизлигини таъминлашда барабаннинг айланишлар сони, парраклар узунлиги иш унумдорлигига боғлиқлик ифодасини Maple дастури орқали графикларда таҳлиллари келтирилган. Хисоблашларда қуйидаги параметрларнинг сон қийматлари келтирилган.

$C = 5 \div 10 \frac{H \cdot c}{м}$; $\omega = 2.1 \div 8.4 \frac{рад}{c}$; $R = 0.08 \div 0.25 м$ $k = 0.5 \div 4 \frac{H \cdot c}{м}$ $n = 14 \div 18 мин^{-1}$

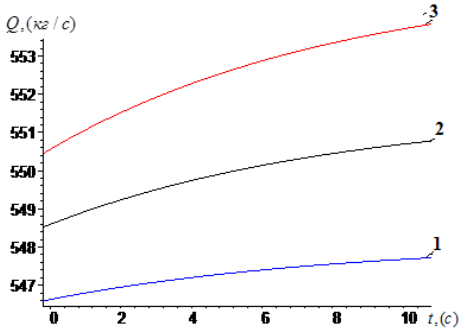
$l = 17 \div 23 мм$ $\vartheta_0 = 2.6 м/с$



2-расм. Узатилаётган тукли чигит оқимини бир текисда узатишда таъминлашда барабаннинг айланишлар сони турли хил $n_1 = 14 мин^{-1}, n_2 = 16 мин^{-1}$ $n_3 = 18 мин^{-1}$ вақтга боғлиқ графиги.



3-расм. Узатилаётган тукли чигит оқимини бир текисда узатишда таъминлашда барабан паррак узунлигини турли хил $l_1 = 17 мм, l_2 = 20 мм$ $l_3 = 23 мм$ вақтга боғлиқ графиги.



4-расм. Узатилаётган тукли чигит оқими сарфини бир текисда узатишда таъминлашда барабан паррак узунлигини турли хил $l_1 = 17 мм, l_2 = 20 мм$ $l_3 = 23 мм$ вақтга боғлиқ графиги.

Узатилаётган тукли чигит оқимини зичлигига қарамасдан бир текисда узлуксизлигини таъминлашда барабаннинг айланишлар сони ва паррак узунликларини турли хил қийматларидаги таҳлиллари келтирилган юқоридаги графиклар таҳлилидан шуни таъқидлаш керакки 2-3-расмларда тукли чигит оқимини бир текисда узлуксиз таъминлашда барабан айланишлар сони $n_2 = 16 мин^{-1}$ қийматида ОХ ўқ бўйлаб бир текис узатилиши 2-расмда келтирилган бундан ташқари паррак узунлигини $l_3 = 23 мм$ қийматида узатилиш оралиқ масофаси 40 см эканлигини хисобга олсак узлуксиз таъминлаб бериш жараёни кузатилган. Узатилаётган тукли чигит оқими сарфини бир текисда узатишда таъминлашда паррак узунлигини $l_3 = 23 мм$ қийматида оқим сарфи $Q = 568 кг/с$ гача таъминлаб бериши юқоридаги 4-расмда ўз аксини топган.

Тукли чигит оқимини парракли таъминловчи барабан таъсирида узлуксиз бир текисда узатишни тукли чигит оқим сарфини барабан бурчак тезлигига боғлиқлик ифодасини аниқлаймиз Q – тукли чигитнинг оқим сарфи (кг/с) ω – бурчак тезлиги, R – барабан радиуси n –

паррак сони V_b – битта паррак учун чигит оқим хажми ρ – чигит зичлиги I – барабан инерция моменти M_d – двигател моменти M_ρ – чигитнинг қаршилик моменти дастлабки жараёнда битта парракда тукли чигит оқимини узатишдаги хажми учун сарфини аниқлаймиз

$$Q_v = n \cdot V_b \cdot \frac{\omega}{2 \cdot \pi} \tag{13}$$

Умумий тукли чигит оқим сарфи учун

$$Q = \rho \cdot Q_v \tag{14}$$

(13) тенгликни (14) тенгликка қўйиб умумий тукли чигит оқим сарфини аниқлаймиз

$$Q = \rho \cdot n \cdot V_b \cdot \frac{\omega}{2 \cdot \pi} \tag{15}$$

(15) тенгликдаги таъминловчи барабан бурчак тезлиги қуйидагича аниқланади

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot Q}{\rho \cdot n \cdot V_b} \tag{16}$$

(16) тенгликдан тукли чигит оқим сарфи ошиши парракли таъминловчи барабан бурчак тезлиги ошишига олиб келади, паррак хажми катта бўлса бурчак тезлиги камаяди. Айланма ҳаракат динамикасига асосан тукли чигит хажми таъминловчи барабан таъсирида узатишни ҳаракат дифференциал тенгламасини тузамиз

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_d - M_q \tag{17}$$

(17)тенгликда $M_q = k \cdot Q$ қаршилик моменти k -қаршилик коэффициенти

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_d - k \cdot \rho \cdot n \cdot V_b \cdot \frac{\omega}{2 \cdot \pi} \tag{18}$$

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} + k \cdot \rho \cdot n \cdot V_b \cdot \frac{\omega}{2 \cdot \pi} = M_d \tag{19}$$

(19) дифференциал тенгламага белгилаш киритиб содда кўринишга келтирамиз

$$C = \frac{k \cdot \rho \cdot n \cdot V_b}{2 \cdot \pi}$$

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} + C \cdot \omega = M_d$$

$$\frac{d\omega}{dt} + \frac{C}{J} \cdot \omega = \frac{M_d}{J} \tag{20}$$

(20) дифференциал тенгламани бир жинсли қисмини ҳисоблаймиз

$$\frac{d\omega}{dt} + \frac{C}{J} \cdot \omega = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{d\omega}{\omega} = -\frac{C}{J} \cdot dt \quad \Rightarrow \quad \omega_1 = C_1 \cdot e^{-\frac{C}{J} \cdot t}$$

(20) дифференциал тенгламани хусусий ечимини таъминловчи барабан бурчак тезлиги ўзгармас деб қараб ечим оламиз $\omega_2 = const$ бундан $\frac{d\omega_2}{dt} = 0$

$$C \cdot \omega_2 = M_d \quad \Rightarrow \quad \omega_2 = \frac{M_d}{C}$$

(20) дифференциал тенгламани умумий ечимини аниқлаймиз

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 = C_1 \cdot e^{-\frac{C}{J} \cdot t} + \frac{M_d}{C} \tag{21}$$

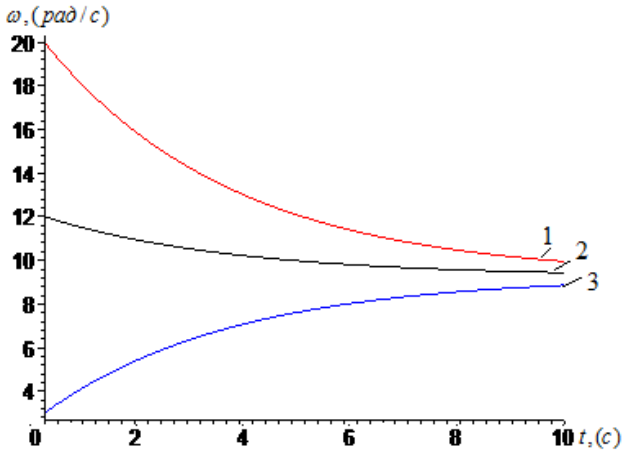
(21) тенгликдаги C_1 интеграл доимийсини бошланғич шартдан фойдаланиб аниқлаймиз $\omega(0) = \omega_0$

$$\omega_0 = C_1 + \frac{M_d}{C} \quad \Rightarrow \quad C_1 = \omega_0 - \frac{M_d}{C}$$

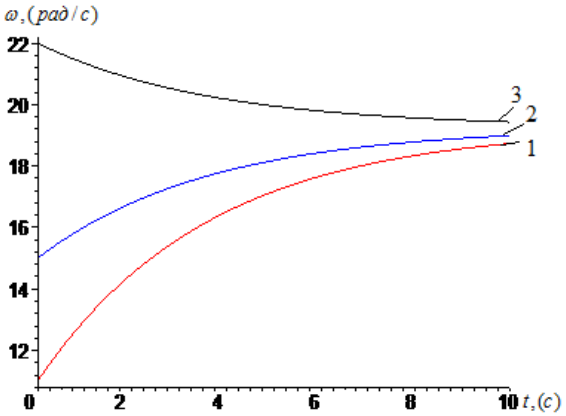
аниқланган C_1 интеграл доимийсини (21) тенгликка қўямиз

$$\omega = (\omega_0 - \frac{M_d}{C}) \cdot e^{-\frac{C}{J} \cdot t} + \frac{M_d}{C} \qquad (22)$$

(22) тенгликдан фойдаланиб таъминловчи барабан бурчак тезлигини ўзгариши тукли чигит оқимини узлуксиз бир текис таъминлашда айланишлар сони ва оқим сарфини ўзгариши бўйича таҳлилини Maple дастури орқали графикларда таҳлиллари келтирилган Хисоблашларда қуйидаги параметрларнинг сон қийматлари келтирилган. $\omega_0 = 5.1 \frac{рад}{с}$; $R = 0.08 \div 0.25 м$ $k = 0.5 \div 4 \frac{Н \cdot с}{м}$ $n = 14 \div 18 мин^{-1}$ $l = 17 \div 23 мм$ $\vartheta_0 = 2.6 м/с$



5-расм. Узатилаётган тукли чигит оқимини бир текисда узатишда бурчак тезлигини ўзгариши таъминлашда барабаннинг айланишлар сони турли хил $n_1 = 14 мин^{-1}, n_2 = 16 мин^{-1}$ $n_3 = 18 мин^{-1}$ вақтга боғлиқ графиги.



6-расм. Узатилаётган тукли чигит оқимини бир текисда узатишда бурчак тезлигини ўзгариши оқим сарфини сони турли хил $Q_1 = 458 кг/с, Q_2 = 485 кг/с$ $Q_3 = 568 кг/с$ вақтга боғлиқ графиги.

Хулоса: Барабан бурчак тезлигини ўзгариши тукли чигит оқимини узлуксиз бир текис таъминлашда айланишлар сони ва оқим сарфини ўзгариши бўйича юқоридаги 5-6-расмларда тукли чигит оқимини бир текисда таъминлашдаги жараёнда бурчак тезлиги ўзгармас холда харакатланса у ҳолда узлуксизлигини таъминлаш жараёни кузатилиши айланишлар сонини $n_2 = 16 мин^{-1}$ қийматида хамда оқим сарфини $Q_3 = 568 кг/с$ қийматида юқоридаги графиклардаги бурчак тезлигини ўзгармасдан ҳаракатланганлигини кўришимиз мумкин бу эса тукли чигит оқимини узлуксиз бир текисда таъминлаб бериш имконини беради.

Адабиётлар

[1]. Djamolov R.K., G‘ayratov J.G‘., Aloydinov M.G‘. Amaldagi 1ЛБ, ОС va УЧДМ rusumli mashinalarda chigitning ishchi organlarga tushishdagi nomutanosiblik muammosini o‘rganish. Scientific-technical journal (STJ FerSTU, ФарДТУ ИТЖ, НТЖ ФерГТУ, 2025, T.29.спец.выпуск №18).-39-42 b.

[2]. Djamolov R.K., G‘ayratov J.G‘., Aloydinov M.G‘.Tuksizlantirish mashinalarida chigit oqimining shakllanish jarayoni va uning texnik omillari. Scientific-technical journal (STJ FerSTU, ФарДТУ ИТЖ, НТЖ ФерГТУ, 2025, T.29.спец.выпуск №19). -33-36.

[3]. Ашмарин И.П. Быстрые методы статистической обработки и планирование экспериментов / И.П. Ашмарин, Н.Н. Васильев, В.А. Амбросов. – Л., 1975. – 78 с.

[4]. Веденяпин В.Г. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / В.Г. Веденяпин. – М: Колос, 1973. – 199 с.

[5]. Ғайратов Ж.Ғ., Алойдинов М.Ғ., Джамолов Р.К. Делинтерлаш машинаси таъминлаш тизими схемасини такомиллаштириш ва узатиш жараёнининг экспериментал тадқиқи. Scientific-technical journal (STJ FerSTU, ФарДТУ ИТЖ, НТЖ ФерГТУ, 2026, T.30.спец.выпуск №5). -240-243.

УДК: 691.327.33.2

KOMPLEKS MODIFIKATSIYALANGAN KIMYOVIY QO‘SHIMCHA VA SANOAT CHIQINDISI ASOSIDA OLINADIGAN YENGIL BETONLARNING FIZIK-MEXANIK XOSSALARINI TADQIQ QILISH

Z.M. Sattorov[1], I.O. Umirdinov[2]

[1]Toshkent arxitektura-qurilish universiteti
[2]Farg‘ona davlat texnika universiteti
e-mail: mr.s.zafar@mail.uz, umirdinov93i@gmail.com
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu ilmiy maqolada bugungi kunda qurilish materiallari sanoatida tobora keng ko‘lam kasb etayotgan yengil betonlar va ularning fizik-mexanik xossalarini yaxshilash bo‘yicha ma’lumotlar keltirilgan. Issiqlik o‘tkazmaydigan materiallarga bo‘lgan ehtiyoj yil sayin oshib borayotgan bir vaqtda sanoat chiqindilari asosida yuqori samaradorlikka ega kompozitsion materiallarni ishlab chiqarishning dolzarb muammosi yechimlaridan biri bo‘ladi.*

Kalit so‘zlar. *G‘ovak tuzilma, domna toshqoli, yengil beton, zichlik, issiqlik o‘tkazmaslik, issiqlik elektr stansiyalari, ishlab chiqarish, kimyoviy qo‘shimcha, ko‘pik beton, ko‘pik hosil qiluvchi, mikrokremnezem, mineral qo‘shimcha, mustahkamlik, sanoat chiqindilari, uchuvchan kul, harorat, sement.*

Аннотация. *В данной научной статье представлена информация о легких бетонах, которые сегодня все шире используются в отрасли строительных материалов, а также об улучшении их физико-механических свойств. В условиях ежегодного роста спроса на теплоизоляционные материалы одной из актуальных проблем является производство высокоэффективных композитных материалов на основе промышленных отходов.*

Ключевые слова. *Пористая структура, доменный шлак, легкий бетон, плотность, теплоизоляция, тепловые электростанции, производство, химическая добавка, пенобетон, пенообразователь, микрокремнезем, минеральная добавка, прочность, промышленные отходы, летучая зола, температура, цемент.*

Annotation. *This scientific article presents information on lightweight concrete, which is increasingly used in the building materials industry, and on ways to improve its physical and mechanical properties. With the demand for thermal insulation materials growing annually, one of the pressing challenges is the production of high-performance composite materials based on industrial waste.*

Key words. *Porous structure, blast furnace slag, lightweight concrete, density, thermal insulation, thermal power plants, production, chemical additive, foam concrete, foaming agent, microsilica, mineral additive, strength, industrial waste, fly ash, temperature, cement.*

Kirish. Bugungi kunda qurilishga bo‘lgan talablar nihoyatda oshib bormoqda. Hozirgi kunda zamonaviy qurilishda yengil qurilish buyumlari va ular asosidagi konstruksiyalardan keng foydalanilmoqda. Qurilishda ishlatiladigan og‘ir beton o‘rniga yengil issiqlik o‘tkazmaydigan betonlarni qo‘llash binoning umumiy og‘irligini 5 martagacha kamaytirishi mumkin.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 20-fevraldagi “Qurilish materiallari sanoatini tubdan takomillashtirish va kompleks rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-4198-sonli, 2019-yil 23-maydagi “Qurilish materiallari sanoatini jadal rivojlantirishga oid qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi PQ-4335-sonli qarorlari energiya va resurs tejamkor, innovatsion qurilish materiallaridan foydalanish orqali bino va inshootlarning tannarxi arzon bo‘lishi hamda qurilish ishlarini tez fursatda, sifatli amalga oshirishda muhim omil bo‘lib xizmat qilmoqda. Xorijiy davlatlarda g‘isht o‘rniga energiya tejamkor serg‘ovak beton bloklaridan foydalanish keng ommalashgan bo‘lib, mamlakatimizda ham ushbu qurilish materiallarini ishlab chiqarishni keng yo‘lga qo‘yish, bu yo‘nalishda jahon tajribasini qo‘llashga alohida e’tibor berib kelinmoqda [1, 2].

Shu o‘rinda, davlatning iqtisodiyotdagi ishtirokini yanada qisqartirish, qurilish materiallari sanoatini boshqarish tizimining samaradorligini oshirish, mahalliy xom ashyoni chuqur qayta

ishlashni tashkil etishni rag‘batlantirish, ilg‘or texnologiyalarni joriy etish, ishlab chiqarilayotgan mahsulotlar turlarini diversifikatsiya qilish va eksport hajmini kengaytirish, tarmoqqa investitsiyalarni jalb qilish masalasida O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025-yil 1-dekabrdagi “Qurilish materiallari sanoatini rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-365-sonli qarori qabul qilindi. Mazkur qaror asosida ikkilamchi resurslardan foydalanishni rag‘batlantirish va energiya tejovchi, ekologik xavfsiz materiallar ishlab chiqarishni davlat siyosati darajasida qo‘llab-quvvatlanishi belgilandi [3].

Hozirgi davrda mavjud bo‘lgan issiqlik o‘tkazmaydigan materiallarni ishlab chiqarish texnologiyalarini takomillashtirish dolzarb hisoblanadi. Issiqlik o‘tkazmaydigan materiallarga bo‘lgan ehtiyoj yil sayin oshib borayotgan bir vaqtda mahalliy va sanoat chiqindilari asosida yuqori samaradorlikka ega kompozitsion materiallarni ishlab chiqarish ushbu dolzarb muammoni yechimlaridan biri bo‘la oladi.

Sanoat ishlab chiqarishning hozirgi o‘sishi tabiiy resurslarni iste’mol qilishning doimiy o‘sishiga, energiya iste’molining oshishiga, chiqindilarning ko‘payishiga va atrof-muhitning ifloslanishiga olib keladi. Zamonaviy qurilish materiallari ishlab chiqarish samaradorligini oshirish, texnologik jarayonlarning tannarxini va mehnat zichligini kamaytirish, tabiiy va energiya resurslaridan oqilona foydalanish kabi muammolarni hal qilish bilan chambarchas bog‘liq. Samarali konstruktiv va issiqlik o‘tkazmaydigan materiallarni yaratish murakkab jarayon bo‘lib, qurilish materiallarining ustuvor yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Aytish joizki, bu borada xom ashyodan oqilona foydalanish, texnogen chiqindilarni ishlab chiqarishga to‘liq jalb etish ustuvor ahamiyatga ega. Sanoat chiqindilaridan foydalanish qurilish materiallarini ishlab chiqarish xarajatlarini tabiiy xom ashyolardan ishlab chiqarishga nisbatan 10-30 foizga kamaytirish imkonini beradi.

Adabiyotlar tahlili. Bugungi kunda yengil betonga bo‘lgan talab ortib bormoqda. Bunga sabab bugungi kundagi qurilishda og‘ir beton o‘rniga zamonaviy yengil issiqlik o‘tkazmaydigan betonlarni ishlatish bir qancha qulayliklarni yaratmoqda. Yengil betonda sement va to‘ldiruvchi o‘rnini bosuvchi sifatida chiqindilar va qo‘shimcha mahsulotlardan foydalanish hisoblandi. Shunday chiqindilardan biri issiqlik elektr stansiyalarida qo‘shimcha mahsulot sifatida ko‘p miqdordagi uchuvchan kullar bo‘ladi. Kulning katta qismi foydalanilmay qolib, atrof-muhit va saqlash muammolarini keltirib chiqarmoqda. Uchuvchan kul bilan yengil beton ishlab chiqarish ko‘p miqdorda kulni qayta ishlashning samarali usuli hisoblanadi. Sanoat chiqindilari asosida yengil beton olish bo‘yicha bir qancha xorijiy olimlar ilmiy-tadqiqot ishlarini olib borishgan.

1. Yexab Moxamed Xossni Ragab “Ichi bo‘sh kul mikrosferalari bo‘lgan kompozit bog‘lovchilarga asoslangan issiqqa chidamli yengil betonlar” (Жаростойкие легкие бетоны на композиционных вяжущих с полыми зольными микросферами) nomli tadqiqot ishini olib borgan. Mazkur tadqiqot ishida Yexab Moxamed Xossni Ragab tomonidan kompozitsion bog‘lovchilar va ichi bo‘sh kul mikrosferalari asosida yengil issiqlikka chidamli betonlar olish masalalari o‘rganilgan. Tadqiqotda issiqlik elektr stansiyalari chiqindisi hisoblangan kul mikrosferalaridan mikrofiller sifatida foydalanish orqali betonning yengilligi va yuqori haroratga chidamliligini oshirish imkoniyatlari tahlil qilingan. Muallif tomonidan kompozitsion bog‘lovchilar tarkibi va ularning fizik-mexanik xossalarga ta’siri o‘rganilib, olingan natijalar yengil beton ishlab chiqarishda sanoat chiqindilaridan samarali foydalanish mumkinligini ko‘rsatgan. Shuningdek, tadqiqotda betonning mustahkamligi, zichligi va issiqlikka bardoshliligi kabi ko‘rsatkichlarni yaxshilashga erishilgani qayd etilgan [4].

2. Soshkina Galina Nikolaevna “Mineral paxta ishlab chiqarish chiqindisi va kul asosidagi yengil avtoklavlanmagan beton” (Легкие бетоны неавтоклавного твердения на основе зол и отходов производства минеральной ваты) nomli tadqiqot ishini olib borgan. Mazkur tadqiqot ishida Soshkina Galina Nikolaevna tomonidan mineral paxta ishlab chiqarish chiqindilari va issiqlik elektr stansiyalari kuli asosida yengil avtoklavlanmagan betonlar olish texnologiyasi o‘rganilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi sanoat chiqindilaridan samarali foydalanish orqali yengil betonning optimal tarkibini aniqlash va uning fizik-mexanik xossalarini tadqiq qilishdan iborat bo‘lgan. Muallif tomonidan beton tarkibida kul va mineral paxta chiqindilaridan foydalanish betonning

zichligi, mustahkamligi hamda issiqlik o‘tkazmaslik xossalariga ijobiy ta’sir ko‘rsatishi aniqlangan. Shuningdek, tadqiqot natijalari avtoklavlanmagan yengil beton ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashtirish va resurs tejamkor qurilish materiallarini yaratish imkoniyatini ko‘rsatgan [5].

3. Koval Yelena Sergeevna “Ko‘mirni yonishidan qolgan kultoshqol chiqindi asosida g‘ovakli betonlar” (Ячеистые бетоны на основе золошлаковых отходов от сжигания угля) nomli tadqiqot ishini olib borgan. Mazkur tadqiqot ishida Koval Yelena Sergeevna tomonidan ko‘mir yoqish jarayonida hosil bo‘ladigan kul va toshqol chiqindilari asosida g‘ovakli betonlar olish masalalari tadqiq qilingan. Tadqiqotning asosiy maqsadi kul va toshqol materiallaridan to‘ldiruvchi hamda murakkab bog‘lovchi sifatida foydalanib, yengil betonning optimal tarkibini ishlab chiqishdan iborat bo‘lgan. Muallif tomonidan kultoshqol chiqindilarining beton tuzilmasiga ta’siri, ularning zichligi, mustahkamligi va issiqlik o‘tkazmaslik xossalariga ta’siri o‘rganilgan. Olingan natijalar sanoat chiqindilaridan foydalanish orqali resurs tejamkor va ekologik samarali g‘ovakli beton materiallarini ishlab chiqarish mumkinligini ko‘rsatgan [6].

4. Mehmet Oğuzhan Kale, Hakan Çağlar, Arzu Çağlar, Ahmet Celal Apay, Selçuk Çimen, “Nevshehir hududidan uchuvchi kul o‘rniga pemza to‘ldirgichini ishlatish bilan ishlab chiqarilgan yengil betonning xossalarini yaxshilash (Improving of Lightweight Concrete Properties Produced with Pumice Aggregate of Nevşehir Region with Fly Ash Substitutio) nomli tadqiqot ishini olib borishgan. Ushbu ilmiy tadqiqotda Nevshehir hududidan olingan uchuvchan kul (fly ash) o‘rniga pemza to‘ldirgichni qo‘shish orqali tayyorlangan yengil beton tarkibi va uning fizik-mexanik xossalarini yaxshilash imkoniyatlari o‘rganilgan. Tajribalarda uchuvchan kul sementning qisman o‘rnini bosuvchi material sifatida 1%, 3% va 5% miqdorlarda qo‘llanilgan.

Olib borilgan tahlillar shuni ko‘rsatadiki, uchuvchan kul qo‘shilishi betonning ichki tuzilishini yanada zichlashtirib, uning mustahkamligi va umumiy texnik tavsiflariga ijobiy ta’sir ko‘rsatadi. Ayniqsa, ma’lum optimal miqdorlarda qo‘llanilganda yengil betonning sifati sezilarli darajada yaxshilanishi qayd etilgan [7].

Umuman olganda, tadqiqot natijalari sanoat chiqindisi hisoblangan uchuvchan kulni yengil beton ishlab chiqarishda samarali mineral qo‘shimcha sifatida qo‘llash mumkinligini ko‘rsatadi. Bu yondashuv bir vaqtning o‘zida ham beton xossalarini yaxshilashga, ham ekologik barqarorlikni ta’minlashga xizmat qiladi (Kale va boshq., 2021).

5. Mohammed Tijani “Yengil beton konstruksiyalarini ishlab chiqarish uchun ko‘p miqdorda uchuvchi kuldan foydalanish (Incorporation Of High-Volume Fly Ash To Produce Structural Lightweight Concrete)” nomli tadqiqot ishini olib borgan. Ushbu tadqiqotda yuqori hajmli uchuvchi kul (high-volume fly ash) qo‘llash orqali konstruktiv yengil beton ishlab chiqarish imkoniyatlari o‘rganilgan. Asosiy e’tibor sanoat chiqindilari va qo‘shimcha mahsulotlarni keng miqyosda foydalanish orqali ekologik va texnik jihatdan samarali beton olishga qaratilgan.

Tadqiqotda yengil yirik to‘ldiruvchi sifatida kengaytirilgan slanes va keramzit qo‘llanilgan. Sementning katta qismi o‘rniga uchuvchi kul 50% va 70% miqdorlarda ishlatilgan holda beton qorishmalari tayyorlangan.

Natijalarga ko‘ra, siqilishga va egilishga mustahkamlik, 28 va 56 kunlik davrida elastiklik moduli hamda kirishish deformatsiyasi kabi mexanik ko‘rsatkichlar tahlil qilingan. Shuningdek, yangi tayyorlangan betonning zichligi, cho‘kishi va solishtirma og‘irligi ham baholangan [8].

6. Seyed Navid Hashem Moniri, Fathoni Usman “Uchuvchi kul bilan aralashtirilgan yengil ko‘pik beton blokining tavsiflari” (Characteristics of Lightweight Foamed Concrete Brick Mixed with Fly Ash) nomli tadqiqot ishini olib borishgan. Ushbu tadqiqotda uchuvchan kul qo‘shilgan yengil ko‘pik beton asosida tayyorlangan bloklarning asosiy fizik-mexanik xossalari o‘rganilgan. Tadqiqotning maqsadi bunday materialning siqilishga va egilishdagi mustahkamligi hamda suv shimuvchanligi kabi ko‘rsatkichlarini baholashdan iborat bo‘lgan.

Tajribalarda uchuvchan kul va ko‘pik miqdori 10% dan qilib qabul qilingan namunalar tayyorlanib, ular 28 kun davomida suv muhitida qotirilgan. Olingan natijalarga ko‘ra, ushbu tarkibdagi blok namunalari eng yuqori mexanik ko‘rsatkichlarni namoyon etgan bo‘lib, siqilishdagi mustahkamligi taxminan 9,1 MPa, egilishdagi mustahkamligi esa taxminan 3 MPa tashkil etgan.

Tadqiqot xulosalari shuni ko‘rsatadiki, uchuvchan kulni ko‘pik beton tarkibiga qo‘shish materialning mustahkamligini oshirish bilan birga, uning konstruktiv xususiyatlarini yaxshilash imkonini beradi. Shu bilan birga, bunday yondashuv yengil va tejamkor qurilish materiallarini ishlab chiqarishda samarali yechim hisoblanadi (Moniri va Usman, 2019) [9].

7. Vu Kim Zien, Bajenova S.I., Tang Van Lam “Ko‘pik betonning mexanik xossalariga mineral qo‘shimchalar, uchuvchi kul, domen toshqollarining ta’siri (Влияние минеральных добавок, летучей золы, доменного шлака на механические свойства пенобетона)” nomli tadqiqot ishini olib borishgan. Ushbu tadqiqotda mineral qo‘shimchalar (uchuvchan kul, domna toshqoli va mikrokremnezem) hamda kimyoviy qo‘shimcha — SR-5000F (SilkRoad-5000/SR-5000F) superplastifikator ko‘pik betonning mexanik xossalariga birgalikdagi ta’siri o‘rganilgan. Asosiy e’tibor organik va mineral tashkil etuvchilarning ta’siri orqali materialning mustahkamligini oshirish imkoniyatlarini baholashga qaratilgan.

Tajribalarda turli nisbatlarda uchuvchan kul, domna toshqoli va mikrokremnezem qo‘llanilib, ko‘pik beton namunalari tayyorlangan. Olingan natijalarga ko‘ra, qo‘shimchalar miqdorining o‘zgarishi materialning egilish va siqilishdagi mustahkamliklariga sezilarli ta’sir ko‘rsatgan.

Xususan, egilishdagi mustahkamligi 0,526 MPa dan 1,061 MPa gacha, siqilishdagi mustahkamligi esa 1,69 MPa dan 8,22 MPa gacha o‘zgarganligi qayd etilgan. Bu esa mineral va kimyoviy qo‘shimchalarning birgalikda qo‘llanilishi ko‘pik betonning konstruktiv xossalarini sezilarli darajada yaxshilashini ko‘rsatadi.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari ko‘pik beton tarkibida uchuvchan kul va boshqa faol mineral qo‘shimchalardan foydalanish, uning mustahkamligi va ishonchliligini oshirishda samarali usul ekanligini tasdiqlaydi (Vu Kim Zien va boshq., 2020) [10].

Olib borilgan adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, uchuvchan kul asosida tayyorlangan yengil betonlar va ko‘pik betonlarda bir qator tadqiqotlarida ijobiy natijalarga erishilgan. Jumladan, uchuvchan kulni sement o‘rnini bosuvchi mineral qo‘shimcha sifatida qo‘llash betonning ichki tuzilishini zichlashtirishi, mustahkamlik ko‘rsatkichlarini oshirishi hamda suv shimuvchanlik kabi foydalanish xossalarini yaxshilashi aniqlangan. Shu bilan birga, keramzit, pemza va kengaytirilgan slanes kabi yengil to‘ldiruvchilar bilan birgalikda qo‘llanilganda konstruktiv yengil betonlar yetarli mexanik barqarorlikni namoyon etgan.

Tadqiqotlarda uchuvchan kulning 1-70% gacha bo‘lgan turli miqdorlarda qo‘llanilishi materialning fizik-mexanik xossalariga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi qayd etilgan. Shuningdek, ko‘pik beton tarkibida mineral va kimyoviy qo‘shimchalarni birgalikda qo‘llash orqali egilish va siqilishdagi mustahkamlik ko‘rsatkichlarini sezilarli darajada oshirish mumkinligi tasdiqlangan.

Biroq tahlil qilingan ishlar shuni ham ko‘rsatadiki, issiqlik o‘tkazuvchanligiga mo‘ljallangan yengil va g‘ovak tuzilmali betonlarning uzoq muddatli foydalanish barqarorligi, issiqlik o‘tkazuvchanlik xossalarini kompleks yaxshilash hamda kimyoviy qo‘shimchalarning optimal kompozitsiyasini aniqlash bo‘yicha yetarli darajada chuqur va tizimli ilmiy tadqiqotlar olib borilmagan. Shu bois, mazkur yo‘nalishdagi izlanishlarni davom ettirish resurs tejamkor va energiya samarador qurilish materiallarini yaratishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi.

Tadqiqot metodologiyasi. Issiqlik elektr stansiyalarining kul va toshqollari – qattiq yoqilg‘ining yonishi natijasida mineral qoldiq hisoblanadi. Har yili o‘rtacha quvvatga ega bitta issiqlik elektr stansiyasi 1 million tonnagacha kul va toshqol chiqindilari hosil qiladi.

Yengil betonlarga kul changini qo‘shilma sifatida kiritish orqali qumning bir qismini almashtirish va sement sarfini kamaytirish mumkin. Yengil betonga qo‘shiladigan kul miqdori 150-250 kg/m^3 va undan ko‘p olinadi. Yengil beton tarkibiga dispersligi 3000-4500 sm^2/g bo‘lgan kullar 70-90 kg/m^3 qo‘shilganda yengil betonning suv talabchanligini amalda o‘zgartirmaydi. Kul miqdori 300 kg/m^3 va undan ortiq bo‘lganda esa yengil betonning suv talabchanligi har 50 kg kulga 5-6% ortadi. Kimyoviy tarkibiga ko‘ra, yoqilg‘i kul va toshqol SiO_2, $A1_2O_3$, Fe_2O_3, CaO, MgO va boshqalar iborat (yonmagan yoqilg‘ini ham o‘z ichiga oladi).

Kul va toshqol yillik ishlab chiqarishning atigi 3-4% ishlatiladi.

Uchuvchan kul mikron o‘lchamdagi juda mayda dispers zarrachalardan iborat bo‘lib, ularning o‘lchami 0,14 mm gacha yetishi mumkin. Bunday zarrachalar yonish jarayonida hosil bo‘lgan tutun gazlari tarkibidan siklonlar va elektr filtrlar orqali ajratib olinadi, keyin esa maxsus kul yig‘ish tizimlari yordamida quruq holda to‘planadi.

Uchuvchan kul zarrachalarining asosiy qismi sharsimon shaklga ega bo‘lib, ularning yuzasi silliq va shishasimon tuzilishda namoyon bo‘ladi. Bu xususiyatlar uning fizik-kimyoviy faolligi va qurilish materiallaridagi bog‘lovchi tashkil etuvchi sifatidagi samaradorligiga ijobiy ta’sir ko‘rsatadi.

Biroq ushbu jarayonda tutun gazlari bilan birga mayda zarrachalarning chiqishi atmosfera muhitini ifloslantirish xavfini keltirib chiqarishi mumkin. Shuningdek, qozon agregatlarida erigan kul yuqori harorat ta’sirida qozon devorlarining issiqlik almashinuvchi yuzalar va quvurlar yuzasida o‘tirib qolib, qotgan toshqol qatlamlarini hosil qiladi, bu esa uskunalar ishlash samaradorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin.

Turli xil yoqilg‘ilarning yonishidan hosil bo‘lgan kul asosan kremniy, aluminiy, temir, kalsiy, magniy, kaliy, natriy, titan va oltingugurt kabi turli xildagi elementlarning oksidlaridan iborat bo‘lib, butun davriy jadval bo‘ylab har xil elementlarni o‘z ichiga olishi mumkin. Kimyoviy tarkibi va tuzilmaviy xossalariga ko‘ra, kul-toshqol materiallari shishasimon, kristall va organik materiallarga bo‘linishi mumkin. Shishasimon tashkil etuvchilar yuqori bosim ta’sirida hosil bo‘ladi.

Issiqlik elektr stansiyalarining kuli mayda dispers aralashma bo‘lib, asosan kulrang tusga ega. Xom ashyo materiallarining asosiy ko‘rsatkichlaridan biri ularning granulometrik tarkibi hisoblanadi. Mikrodispers zarrachalar miqdorining ko‘payishi materialning plastikligini oshiradi. Shunday qilib, xom ashyo kuchli bog‘lanishni namoyon qiladi, bu esa tayyor mahsulotlarning mustahkamlik xossalariga ijobiy ta’sir ko‘rsatadi. Bundan tashqari, granulometrik tarkib materialning adsorbsion xususiyatlarini aniqlashda muhim ahamiyatga ega. Zarrachalarning o‘lchamlari bo‘yicha taqsimlanish natijalari: 10% gacha kul (hajm bo‘yicha) diametri 11,53 mkm gacha bo‘lgan zarrachalardan iborat. Kulning 50% gacha qismini diametri 71,11 mkm gacha bo‘lgan zarralar tashkil etadi. Kulning 90% diametri 160,82 mkm gacha bo‘lgan zarrachalar tashkil etadi. Zarrachalarning o‘rtacha diametri 80,93 mkm. Harorat 1000°C gacha qizdirilganda yo‘qotishlar 5,2% tashkil etadi. Skanerlovchi elektron mikroskop yordamida olingan va mayda ko‘mir zarrachalarining aksariyati notekis g‘ovak yuzali shar shaklida bo‘lib, diametri 80 dan 200 mikrometrgacha bo‘ladi.

Tadqiqot metodologiyasida qo‘shimcha sifatida Vu Kim Zien, Bajenova S.I. Tang Van Lam “Ko‘pik betonning mexanik xossalariga mineral qo‘shimchalar, uchuvchi kul, domen toshqollarining ta’siri (Vliyanie mineralnых dobavok, letuchey zolы, domennogo shlaka na mexanicheskie svoystva penobetona)” nomli tadqiqot ishi ko‘rib chiqildi. Ushbu tadqiqot metodikasida organik-mineralning birgalikdagi ta’siri baholanadi. SR-5000F (SilkRoad-5000/SR-5000F) yuqori samarali superplastifikator (polikarboksilat asosidagi suyuq qo‘shimcha) va faol mineral qo‘shimchalar – kul, toshqol va mikrokremnezem MK-90 ko‘pik betonning xossalari bo‘yicha qorishmaning nisbatlari hisoblanadi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, olingan egilishdagi va siqilishdagi mustahkamliklar ko‘pik betonda mos ravishda 0,526 dan 1,061 MPa va 1,69 dan 8,22 MPa gacha o‘zgaradi.

Tadqiqot-sinov usullari. Tadqiqot ishda xom ashyo sifatida kvars qumi, uchuvchi kul, yuqori granulali domna toshqoli, mikrosilikat va portlandsement ishlatildi. Haqiqiy zichligi 2,66 g/sm^3 va o‘lchamlari 0,14 mm dan 1,25 mm gacha bo‘lgan kvars qumi zarralari beton qorishmalari uchun nozik to‘ldiruvchi sifatida olindi. Bundan tashqari, haqiqiy zichligi 2,34 g/sm^3 bo‘lgan issiqlik elektr stansiyasi uchuvchi kuli va haqiqiy zichligi 2,29 g/sm^3 yuqori granulali domna toshqolidan foydalanildi. Shuningdek, qo‘shimcha sifatida beton qorishmasiga haqiqiy zichligi 2,15 g/sm^3 bo‘lgan mikrokremnezem (MK-90) ishlatildi. Tadqiqotlarni o‘tkazish uchun portlandsement SEM I 42,5N olindi. Materiallarning fizik-kimyoviy tavsiflari 1-jadvalda keltirilgan [11].

1-jadval

Materiallarning fizik-kimyoviy tavsiflari

O‘rtacha kimyoviy tarkibi, % mass.	Sement	Uchuvchan kul	Domna toshqoli	Mikrokremnezem MK-90
SiO_2	22,56	59,91	35,45	91,63
Al_2O_3	5,29	23,29	13,52	2,24
Fe_2O_3	3,47	5,67	-	2,48
SO_3	-	0,49	0,14	-
K_2O	0,61	-	0,28	-
Na_2O	0,14	-	-	0,56
MgO	2,01	1,45	7,89	-
CaO	63,37	1,68	40,88	0,52
TiO_2	-	-	0,50	-
Qizdirish paytida yo‘qotish	2,55	7,51	1,34	2,57
Umumiy zichlik, kg/m^3	1100	850	830	760
Maxsus yuza maydoni, sm^2/g	3660	3980	4550	10150

Plastifikatsiyalovchi qo‘shimcha sifatida SR-5000F (SilkRoad-5000/SR-5000F) superplastifikatoridan foydalanildi. SR-5000F (SilkRoad-5000/SR-5000F) suv sarfini kamaytiradi. Uning 25±5°C haroratdagi zichligi 1,1 g/sm^3 teng bo‘ladi. Superplastifikatorning optimal me’yori 1,5% tashkil etadi, portlandsementning massasi beton qorishmalarida suv sarfini 30% kamaytirish imkonini beradi. G‘ovakli tuzilmani yaratish uchun haqiqiy zichligi 1,02 g/sm^3 ga teng bo‘lgan EABASSOC (E-A-B Associates Bayley-Edge Ltd. Angliya) ko‘pik hosil qiluvchi ishlatildi. Ushbu tadqiqotda ko‘pik hosil qiluvchi EABASSOC suv bilan 2,5% nisbatda suyultirildi. Ko‘pikning barqarorligi ko‘pik hosil qilish xususiyatlari usuli bilan baholandi. Yuqori tezlikda aralashtirish uchun 100 ml hajmli EABASSOC (2,5%) ko‘pik hosil qiluvchi moddani zanglamaydigan po‘latdan tayyorlangan 300 ml hajmli idishga solinadi va 10000 ayl/min tezlikda 10 daqiqa davomida parrakli aralashtirgichda aralashtiriladi. Ko‘pik o‘lchov kolbasiga (200 ml) o‘tkazildi va darhol ko‘pik hajmi o‘lchanadi [11].

EABASSOC ko‘pik hosil qiluvchi vositaning sinov natijalari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

Ko‘pik hosil qiluvchi vositani baholash testi

Hajmiy massasiga nisbatan zichligi, g/l	45		
Test vaqti, soat	1	2	3
Ko‘pik hosil bo‘lish barqarorligi, %	92	76	65

Sinovdan o‘tkazilgan barcha beton namunalarining zichligi 900 kg/m^3, tanlangan ko‘pik beton kompozitsiyalarining qattiqlashtirilgan holatda siqilishdagi mustahkamligi 7,5÷10 MPa tashkil etdi. Beton qorishmalarining tarkibini hisoblashda quyidagi qoidalar hisobga olindi: Superplastifikatorsiz ko‘pik beton qorishmalari uchun suv-sement nisbati W/S=0,5% bo‘lishi kerak. Tadqiqotlar natijasida qorishmalar uchun SR-5000F (SilkRoad-5000/SR-5000F) superplastifikatorli ko‘pik beton W/S=0,25% ekanligi aniqlandi. Nazorat tarkibli ko‘pik beton namunasi (Kn-1) mineral qo‘shimchalarni o‘z ichiga olmaydi (uchuvchan kul, yuqori granulali domna toshqoli, mikrokremnezem va superplastifikator). Ko‘pik beton Kb-2 va Kb-3 kompozitsiyalarida W/(S+MK-90)=0,5% bilan 30% qumni massasi bo‘yicha almashtirish uchun domna toshqoli va uchuvchan kul ishlatildi. Ko‘pik beton Kb-4, Kb-5, Kb-6 va Kb-7 tarkibiga SR-5000F (SilkRoad-5000/SR-5000F) superplastiklashtiruvchi va 10% sement o‘rnini bosuvchi mikrokremnezem MK-90 ishlatildi. Bundan tashqari, ushbu kompozitsiyalar og‘irlik bo‘yicha 30% va 100% qumni almashtirish uchun domna toshqoli va uchuvchan kuldan foydalanildi. Ko‘pik beton qorishmalarining kompozitsiyalari 3-jadvalda keltirilgan [12].

3-jadval

Ko‘pik beton qorishmalarining tarkibi

Namunalar	W/S nisbati	Domna toshqoli/ko‘pik nisbati	Uchuvchan kul/ko‘pik nisbati	SR-5000F /sement nisbati	Mikrokremnezem MK-90 /sementnisbati	Sement	Ko‘pik
Kb-1 (nazorat namunasi)	0,5	-	-	-	-	350	375
Kb-2	0,5	-	0,3	-	-	350	263
Kb-3	0,5	0,3	-	-	-	350	263
Kb-4	0,25	-	0,3	0,015	0,1	315	345
Kb-5	0,25	0,3	-	0,015	0,1	315	345
Kb-6	0,25	-	1,0	0,015	0,1	315	-
Kb-7	0,25	1,0	-	0,015	0,1	315	-
Namunalar	SR-5000F /sement nisbati	Domna toshqoli/ko‘pik nisbati	Uchuvchan kul/ko‘pik nisbati	Mikrokremnezem MK-90/sementnisbati	Suv	Suv*	Ko‘pik, m^3
Kn-1 (nazorat namunasi)	-	-	-	-	175	175	0,571
Kb-2	-	-	113	-	175	186,3	0,565
Kb-3	-	113	-	-	175	197,6	0,564
Kb-4	5,25	-	113	35	88	98,8	0,612
Kb-5	5,25	113	-	35	88	110,1	0,611
Kb-6	5,25	-	458	35	88	133,3	0,594
Kb-7	5,25	458	-	35	88	179,1	0,590

Quruq holatda portlandsement, qum, uchuvchan kul, yuqori granulali domna toshqoli va mikrokremnezem “MasterMix” rusumli qorishtirgichiga solinadi va 50 ayl/min tezlikda 20°S haroratda 1 daqiqadan 3 daqiqagacha qorishtiriladi, keyin suv va superplastifikator qo‘shilib, 2 daqiqa davomida aralashtiriladi. Bu vaqtda EABASSOC ko‘pik hosil qiluvchi generatorga uzatilib turiladi. Generator yordamida ko‘pik beton qorishtirgichga purkaladi va 1 daqiqa davomida aralashtiriladi. Qorishtirilgandan so‘ng, darhol ko‘pik beton qolipga quyiladi va 24 soat davomida statik holatda ushlab turiladi.

GOST 12730.1-78 (Betonning zichligini aniqlash usullari) talablariga muvofiq, 150×150×150 mm o‘lchamdagi kub namunalar sinash orqali aniqlanadi. Ko‘pik betonning siqilishdagi mustahkamligi (MPa) 1, 3, 7, 14 va 28 kunlarda aniqlandi, shu bilan birga ko‘pik betonning egilishdagi mustahkamligi (MPa) 100×100×400 mm o‘lchamdagi namunalarida aniqlandi.

Tahlil va natijalar. Tarkibida portlandsement, qum, uchuvchan kul, yuqori granulali domna toshqoli, mikrokremnezem va SR-5000F (SilkRoad-5000/SR-5000F) superplastifikatori bo‘lgan ko‘pik beton namunalari 1, 3, 7, 14 va 28 kunlarda egilishdagi va siqilishdagi mustahkamlik chegaralari aniqlandi. Aniqlangan natijalar 4-jadvalda keltirilgan.

4-jadval

Ko‘pik beton namunalari bo‘yicha aniqlangan mustahkamlik natijalari

Namunalar	Zichlik, kg/m^3	1, 3, 7, 14 va 28 kunlikda siqilishdagi mustahkamligi, MPa					28 kunlikda egilishdagi mustahkamligi, MPa
		1	3	7	14	28	
Kb-1 (nazorat namunasi)	855	0,54	1,03	1,1	1,38	1,69	0,526
Kb-2	861	0,49	1,17	1,37	1,87	2,46	0,578
Kb-3	866	0,65	1,23	1,69	2,5	3,23	0,631
Kb-4	848	1,66	3,61	4,12	5,01	5,53	0,787
Kb-5	852	1,77	4,01	4,58	5,55	5,91	0,841
Kb-6	836	2,47	6,76	7,76	8,07	8,22	1,061
Kb-7	841	2,38	6,37	7,14	7,68	7,89	1,034

Beton namunalarining 28 kunlikda egilishdagi mustahkamlik va siqilishdagi mustahkamlik qiymatlari kun davomida 0,526÷1,061 MPa va 1,69÷8,22 MPa oralig‘ida bo‘ldi. Barcha ko‘pik beton namunalarning quruq holatdagi zichligi 900 kg/m^3 tashkil etdi.

Xulosa. Sanoat korxonalari chiqindilari, xususan, metallurgiya toshqollaridan beton to‘ldiruvchilar sifatida foydalanish natijasida to‘ldiruvchi va yengil betonning tannarxi pasayadi. Chiqindilarni tashish, utilizatsiya qilish xarajatlarini kamayishiga, atrof-muhit va ekologik tozaligiga erishiladi, korxonaning iqtisodiyoti o‘sishi ta’minlanadi. Ko‘rib chiqilgan Kb-6, Kb-7 (8,22 MPa va 7,89 MPa) tarkibli ko‘pik betonning siqilishdagi mustahkamligi bo‘yicha yuk ko‘tarish xususiyati ancha yaxshi natija berdi va bu natija bilan mos ravishda keramik g‘ishtning mustahkamligi (≥7,5 MPa) bilan taqqoslanganda, g‘ishtni ko‘pik beton bloklarga almashtirish imkoniyatini yaratadi. Bundan ko‘rinib turibdiki, sanoat korxonalari chiqindilari qo‘shilgan holatda arzon va mustahkamligi bo‘yicha yangi qurilish materiallarini yaratish imkoniyatini yaratadi.

Adabiyotlar

[1]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 20-fevraldagi “Qurilish materiallari sanoatini tubdan takomillashtirish va kompleks rivojlantirish chora tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-4198-sonli qarori (Qonun hujjatlari ma’lumotlari milliy bazasi, 20.02.2019 y., 07/19/4198/2640-son; 23.05.2019 y., 07/19/4332/3174-son; Qonunchilik ma’lumotlari milliy bazasi, 22.02.2022 y., 07/22/139/0159-son; 02.12.2025 y., 07/25/365/1120-son).

[2]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 23-maydagi “Qurilish materialari 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; Qonunchilik ma’lumotlari milliy bazasi, 16.12.2021 y., 06/21/34/1164-son; 07.07.2023 y., 06/23/108/0460-son; 11.11.2023 y., 06/23/193/0844-son).

[3]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025-yil 1-dekabrdagi “Qurilish materiallari sanoatini rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-365-sonli qarori (Qonunchilik ma’lumotlari milliy bazasi, 02.12.2025 y., 07/25/365/1120-son).

[4]. Yexab Moxamed Xossni Ragab “Жаростойкие легкие бетоны на композиционных вяжущих с полыми зольными микросферами”. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва-2015 г. https://www.dissercat.com/content/zharostoikie-legkie-betony-na-kompozitsionnykh-vyazhushchikh-s-polymi-zolnymi-mikrosferami

[5]. Сошкина Галина Николаевна “Легкие бетоны неавтоклавного твердения на основе зол и отходов производства минеральной ваты”. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Новосибирск-2002 г. https://www.dissercat.com/content/legkie-betony-neavtoklavnogo-tverdeniya-na-osnove-zol-i-otkhodov-proizvodstva-mineralnoi-vat

[6]. Коваль Елена Сергеевна “Ячеистые бетоны на основе золошлаковых отходов от сжигания угля”. Магистерская диссертация, Красноярск 2022 г. https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/149613

[7]. Mehmet Oğuzhan Kale, Hakan Çağlar, Arzu Çağlar, Ahmet Celal Apay, Selçuk Çimen “Improving of Lightweight Concrete Properties Produced with Pumice Aggregate of Nevşehir Region with Fly Ash Substitutio”. Academic Platform Journal of Engineering and Science 9-2, 302-308, 2021. https://dergipark.org.tr/en/pub/apjes/issue/61426/732592

[8]. Mohammed Tijani “Incorporation Of High-Volume Fly Ash To Produce Structural Lightweight Concrete”. A thesis submitted to the Graduate Council of Texas State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science with a Major in Engineering August 2021. https://digital.library.txst.edu/items/041761fd-f88c-4dfd-a831-42ff1f9a43eb/full.

[9]. Seyed Navid Hashem Moniri, Fathoni Usman, “Characteristics of Lightweight Foamed Concrete Brick Mixed with Fly Ash”. SSRG International Journal of Civil Engineering. 2019 g. https://www.internationaljournalssrg.org/IJCE/paper-details?Id=323

[10]. By Ким Зиен, Баженова С.И., Танг Ван Лам “Влияние минеральных добавок, летучей золы, доменного шлака на механические свойства пенобетона”. Журнал “Строительство и реконструкция” 2020 г. https://construction.elpub.ru/jour/article/view/265

[11]. Klara Krizova, Jan Bubenik, Martin Sedlmajer. Use of Lightweight Sintered Fly Ash Aggregates in Concrete at High Temperatures. “Journal Buildings” Czech Republic, 29 November 2022. https://www.mdpi.com/2075-5309/12/12/2090

[12]. Павленко Т.М. Новая технология золошлаковых бетонов. Вестник Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры, 2017, №3 (229-230) ISSN 2312-2676. https://cyberleninka.ru/article/n/novaya-tehnologiya-zoloshlakovyh-betonov

УДК 621.86.065

НАГРУЗКИ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ГРУЗОЗАХВАТНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Б.К. Рахманов

Ферганский государственный технический университет
(Получена 06.04.2026 г.)

Аннотация. *В статье описаны устройство, принцип действия и область применения грузозахватных устройств, предназначенных для перегрузки строительных грузов и монтажа конструкций в строительстве. Изложены рекомендации по эксплуатации, устройству и выбору основных параметров грузозахватных устройств, нагрузки воздействующие на грузозахватные устройства.*

Ключевые слова: строительно-монтажные работы, монтажные механизмы и оборудования, грузы, съемные грузозахватные приспособления.

Abstract. *The article describes the device, the principle of operation and scope of load -griping devices designed to overload building goods and installation of structures in construction. The recommendations for the operation, device and selection of the main parameters of rental devices, static and dynamic, loads affecting the loading devices are presented.*

Keywords: *construction and installation work, installation mechanisms and equipment, cargo, removable lifting devices.*

Введение. При непрерывном ускорении научно-технического прогресса, инновационных технологий и применении современного сложного высокопроизводительного оборудования и материалов необходимы большая точность монтажа строительных конструкций, технологического оборудования, погрузо-разгрузочных работ и высокая квалификация монтажников, внедрение эффективных методов выполнения монтажных работ с использованием более совершенных грузоподъемных средств, способствующих значительному сокращению сроков и снижению стоимости работ [1-3].

Каждому типу грузозахватного устройства соответствует вполне определенный характер приложения и распределения нагрузки. В процессе всего цикла работы грузозахватного устройства должны соблюдаться условия надежного удержания груза. Безопасная эксплуатация ГЗП для каждого из типов требует учета соответствующих коэффициентов запаса по силам удержания груза (прочности). Значения этих коэффициентов обычно принимают с учетом условий эксплуатации и возможности точного расчета грузозахватного устройства [4-8].

Методы исследования. Расчет звеньев ГЗП сводится к определению возникающих в них нормальных напряжений от растяжения и изгиба. В звеньях запас прочности на

растяжения n_p определяется из условия

$$n_p = \frac{\sigma_b}{\sigma_p} \geq 5n$$

где, σ_b – временное сопротивление разрыву;

σ_p – напряжение от растяжения.

Для изгибающей нагрузки запас прочности $n_{изг.}$ определяется из условия

$$n_{изг} = \frac{M_{пр}}{M_{изг}} = \frac{\sigma'_m}{\sigma_{изг}} \geq 1,25$$

Где, M_p – предельный изгибающий момент; $M_{изг}$ – изгибающий момент в сечении;

σ'_m – предел текучести изгиба одном из крайних волокон сечения;

$\sigma_{изг}$ – напряжение изгиба одном из крайних волокон сечения.

Стропы из стальных канатов должны изготавливаться с коэффициентом запаса прочности не менее 6 (шестикратный запас прочности). В случае отклонения угла α от расчетного в сторону его увеличения коэффициент запаса K будет резко уменьшатся [9-10].

Дополнительная нагрузка на элементы стропового грузозахвата может возникнуть от неравномерного распределения действующих сил за счет перекоса при подвешивании груза. Перераспределение нагрузки может вызвать форма груза, изготовленного с отклонениями от правильных геометрических размеров, например, строительного элемента из железобетона с неправильно заделанными монтажными петлями [11].

В условиях, когда грузозахват, удерживающий груз, неподвижен или перемещается с постоянной скоростью по прямолинейному пути, на него действует только статическая нагрузка. В процессе перемещения грузозахвата с переменной скоростью и вращения на него действует кроме статической еще и динамическая нагрузка. Динамические нагрузки возникают в периоды пуска и торможения механизмов крана вследствие действия ускорения или замедления, а также результате толчков и ударов. Кран представляет собой упругую систему, поэтому силы инерции вызывают колебание его элементов, которые продолжаются некоторое время и после окончания переходных процессов [12].

Так как рабочие операции крана часто совмещаются (подъем, перемещение, опускание, поворот), то возможно наложение колебаний, возникающих в результате действия сил инерции различных сборочных единиц, что может привести к их нарастанию. Это возможно и вследствие изменения длины подвеса груза. Ударные силы могут возникнуть при изменении положения центра груза в процессе подъема. Расчет ударной силы хотя и возможен, но вызывает ряд трудностей из-за непостоянства факторов, вызывающих возникновение этой силы [13]. Динамические нагрузки, возникающие при работе механизма подъема, рассмотрены в литературе [14, 15,].

Источниками больших динамических нагрузок являются толчки и удары, достигающие большой силы при больших зазорах в передачах механизмов, неисправных стыках рельсовых путей, износе опорно-поворотных устройств.

Основная динамическая нагрузка на грузозахват возникает в процессе подъема груза [14], причем возможны два варианта возникновения ее: первый вариант предусматривает подъем груза «с веса», второй – подъем груза «с подхватом». Во втором случае груз расположен на каком-либо основании, канаты провисают и, следовательно, в этот момент нагрузка на захват равна нулю.

В первом варианте нагрузка на грузозахват $P_{г.з.}$ будет являться суммой статической нагрузки Q_c и динамической, $P_{дин}$ являющейся функцией избыточной движущей силы $P_{изг}$

зависящий от характера ее развития во времени (t) и упругости опорной конструкции (r), т.е. $P_{дин} = f(t,r)$. Следовательно, $P_{г.з.} = Q_c + P_{дин}$

Во втором варианте нагружения динамическая нагрузка возникает в период, когда к подъемному канату, движущемуся с номинальной скоростью (V), будет мгновенно приложена нагрузка от веса груза. Нагрузка на грузозахват $P_{г.з.}$ будет также являться суммой статической нагрузки Q_c динамической, $P_{дин}$ в этом случае являющейся функцией скорости каната и упругости опорной конструкции (r), то есть $P_{дин}(V,r)$. Для обоих вариантов динамический коэффициент будет равен

$$K_{дин} = \frac{P_{г.з.}}{Q_c} = 1 + \frac{P_{дин}}{Q_c}$$

В общем виде кран с грузом на крюке представляет собой трехмассовую систему с двумя упругими связями, одной из которых является упругость конструкции самого крана, а второй – упругость канатов, на которых подвешен грузозахват [14-18].

При подъеме груза «с веса» динамическая деформация конструкции крана мало отличается от статической (рис. 5). Данную систему можно свести к двухмассовой, заменив жесткость канатов r_n и жесткость конструкции крана $r_к$ приведенной жесткостью r:

$$R = \frac{r_n r_к}{r_n + r_к}.$$

Упрощенная система может быть представлена как состоящая из двух масс: $m_р$ – массы ротора двигателя и приведенных к нему масс механизма подъема и $m_г$ – массы груза, связанных между собой упругим элементом с приведенной жесткостью r.

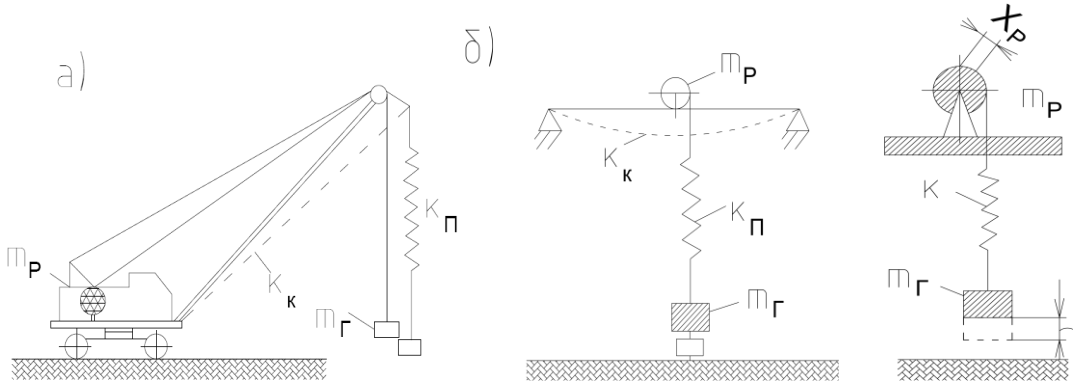


Рис.5. Схема динамического нагружения грузозахвата при подъеме груза «с веса», *а* – на стреловом кране; *б* – на мостовом кране; *в* – расчетная схема.

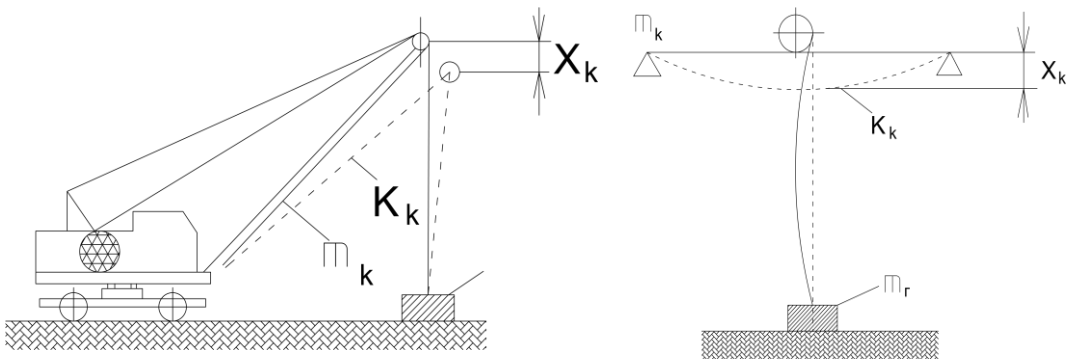


Рис.6. Схема динамического нагружения грузозахвата при подъеме груза «с подхватом», *а* – на стреловом кране; *б* – на мостовом кране.

Из решения уравнений движения для рассматриваемого случая подъема груза динамическая нагрузка определится по формуле:

$$P_{дин} = 2\varphi Q_c \frac{m_г}{m_г + m_p} = 2\varphi g \frac{m_г^2}{m_г + m_p}$$

Где, $\varphi = \frac{T_{изг}}{Q_c}$. Коэффициент динамичности равен: $K_{дин} = 1 + 2\varphi \frac{m_г}{m_г + m_p}$.

При определении динамического нагружения массы m_p и $m_г$ следует отнести к периферии барабана, причем масса $m_г$ пропорциональна квадрату отношения числа ветвей грузового полиспаста, навиваемых на барабан, к общему числу ветвей, на которых висит груз Q_c.

При торможении опускающегося груза $P_{дин}$ коэффициент динамичности $K_{дин}$ можно определять по тем же формулам, но под $T_{изб}$ следует понимать разность между тормозным усилием, приведенным к грузу, и весом груза.

Выполненный расчет динамического нагружения грузозахвата, подвешенного на четырех ветвях каната, при подъеме груза массой 10 т «с веса» со скоростью 30 м/мин при среднем режиме работы крана показал, что максимальный коэффициент динамичности будет равен:

$$K_{дин} = 1 + 2\varphi \frac{m_г}{m_г + m_p} = 1 + 2 \cdot 1{,}8 \cdot 0{,}093 = 1{,}33$$

При анализе динамики колебательного процесса, происходящего при подъеме груза с учетом податливости металлоконструкций крана, следовало бы в общем случае рассматривать систему, состоящую из массы груза $m_г$, массы крана $m_к$ и массы ротора m_p, электродвигателя и элементов подъемного механизма, связанных между собой упругими звеньями с жесткостями подъемных канатов r_n и металлоконструкции крана $r_к$ (рис.6).

Процесс подъема груза при принятом допущении протекает следующим образом.

На первом этапе происходит выбор слабины каната: на втором этапе происходит процесс упругой деформации всех элементов конструкции, который продолжается до тех пор, пока усилие P на грузозахвате, возрастая от нуля, не станет равным $Q_c = m_г g$. Лишь после этого на третьем этапе начинается подъем груза.

Из решения уравнений движения для рассматриваемого случая подъема груза [13] динамическая нагрузка на грузозахват определится из формулы:

$$P_{дин} = -\frac{Q_c}{g} \upsilon \rho \sin \rho t,$$

Где, g – ускорение свободного падения;

υ – установившаяся скорость подъема груза;

t – текущее время;

$\rho = \sqrt{\frac{r_к}{m_к}}$ – частота круговых колебаний;

$$r_к = \frac{Q_c}{y_{ст}};$$

$y_{ст}$ – прогиб конструкции от статической нагрузки.

Максимальное значение динамической нагрузки при $\sin \rho t = -1$ будет

$$P_{дин}^{макс} = Q_c \frac{v}{g} \rho = Q_c \frac{v}{g} \sqrt{\frac{r_к}{m_{кг}}},$$

Где, $r_к$ – жесткость конструкции крана.

Полная нагрузка на грузозахват определяется по формуле:

$$P_{г.з} = Q_c + P_{дин}^{макс} = Q_c\left(1+\frac{v}{g}\sqrt{\frac{r_к}{m_{кг}}}\right),$$

А коэффициент динамичности будет

$$K_{дин} = \frac{Q_c + P_{дин}^{макс}}{Q_c} = 1+\frac{v}{g}\sqrt{\frac{r_к}{m_к + m_г}}.$$

Последняя формула удобна для практического использования и в допустимой мере достоверна, хотя и учитывает влияния второго элемента жесткости, имеющегося в рассматриваемой системе [13].

Для грузозахвата, не связанного с определенным краном, необходимо определять экстремальное значение возможного коэффициента динамичности $K_{дин}$.

Заключение. Проведенные расчеты показывают, что при нормальных эксплуатационных условиях вертикальное динамическое воздействие на грузозахват следует учитывать только при работе механизма подъема груза. При работе механизма передвижения крана и вращения его поворотной части в нормальных условиях эксплуатации динамическая перегрузка не превышает 5–6% статической.

При вертикальном транспортировании (подъеме) груза при верхнем его захвате и существующих скоростях в механизмах подъема строительных кранов до 20 – 40 м/мин силы лобового сопротивления незначительны по сравнению с весом груза и другими нагрузками на него.

При транспортировании груза захватом в вертикальном положении или близком ему, особенно плоских крупноразмерных конструкций, необходимо учитывать ветровые нагрузки, действующие на груз.

Список литературы

[1]. ГОСТ 25573-82 Межгосударственный стандарт. «Стропы грузовые канатные для строительства». Технические условия. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004.

[2]. Сулейманова Л.А., Кочерженко В.В., Солодов Н.В., Рахманов Б.К. Перспективные направления развития технологии такелажных работ с использованием стропов на текстильной основе в условиях реконструкции, ремонта и устранения завалов // Строительство: новые технологии − новое оборудование. 2018. №12. С.54−62.

[3]. ГОСТ 25032-81 Средства грузозахватные. Классификация и общие технические требования. М. Изд-во стандартов, 1992. 4 с.

[4]. Зияев М.Қ., Абдуллаев И.Н., Рахманов Б.К. Инновации в строительной технологии: производство и применение в Узбекистане строп из текстильных лент и комбинированных канатов // Архитектура. Строительство. Дизайн. ТАСИ. Научно-практический журнал. 2019. №7. С.25-31.

[5]. Абдуллаев И.Н., Рахманов Б.К. Проблемы производства и применения грузозахватных приспособлений из синтетических лент и канатов в Узбекистане // Подъемно-транспортное дело. Научно-технический, производственно-экономический и информационный журнал. Москва. 2018. № 6. С. 5–7.

[6]. И.Н. Абдуллаев, Б.К. Рахманов. Распределение монтажных элементов зданий по массе для подбора грузозахватных синтетических строп в строительстве. Наука и инновации в строительстве. 2019. С. 188-192.

[7]. И.Н. Абдуллаев, Ж.Д. Ахмедов, Б.К. Рахманов. Исследование проблем применения синтетических тканых лент в Узбекистане. Наука и инновации в строительстве. 2020. С. 202-207.

[8]. С.Ж. Раззаков, И.Н. Абдуллаев, Б.К.Рахманов, Р.Т. Журабаева. Изучение ткацкой конструкции синтетических лент для грузозахватных приспособлений. «Современные ресурсосберегающие материалы и технологии: перспективы и применение». «Качество. Технологии. Инновации». 2021. С.221-225.

[9]. S.J. Razzakov, B.K. Rakhmanov, J.D. Akhmedov. Study Of The Influence Of Light Weather On The Mechanical Properties Of Para-Aramid Filaments // The American Journal of Engineering and Technology. 2021. № 04. P.35-41.

[10]. Б. К. Рахманов, Б. А. Алиматов. Специальные строповочные устройства. Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов Международной научно-практической конференции (к 165-летию со дня рождения В.Г. Шухова). 2018. С. 264-267.

[11]. Л.А. Сулейманова, Б.К. Рахманов, В.В. Кочерженко, Н.В. Солодов, “Перспективные направления развития технологии такелажных работ с использованием стропов на текстильной основе”. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, №7. 2018 г. БГТУ, Россия, ФерПИ, Узбекистан.
[12]. Б.К. Рахманов, С.Ж. Раззаков, И.Н. Абдуллаев. Составные компоненты деформирования и разрушения синтетических тканых лент // Научно-технический журнал ФерПИ. 2021. Том 25, № 2. С. 74.
[13]. А.А. Вайнсон, А.Ф. Андреев. Специализированные крановые грузозахваты для штучных грузов. М., Машиностроение, 1982, 200с.
[14]. А.Ф Андреев. Грузозахватные устройства с автоматическим и дистанционным управлением, М., Стройиздат, 1979. 170 с.
[15]. А.А. Смехов, Н.И. Ерофеев. Оптимальное управление подъемно-транспортными машинами. М., Машиностроение. 1985, 239 с.
[16]. S. Razzakov, B. Raxmannov. TECHNOLOGISTSI RIGGING WORKS USING SYNTHETIC. Збірник наукових праць ΛΌГОΣ. 2021/11/20.
[17]. Б.К. Рахманов, С.Ж. Раззаков, И.Н. Абдуллаев. Исследование деформирования и разрушения синтетических тканых лент. «Качество. Технологии. Инновации». 2021. С.177-184.
[18]. S.J. Razzakov, I.N. Abdullayev, B.K. Raxmanov. Components of deformation and failure of synthetic woven tapes. Scientific-technical journal, 2021. №2. С. 23-28.

UDK: 691.5:666.9

OHAK CHIQINDISINING REOLOGIK XOSSALARIGA REDISPERSIBLE POLYMER POWDER KIMYOVIY QO‘SHIMCHASINING TA’SIRI

mustaqil tadqiqotchisi J.N. Akbarov

Farg‘ona davlat texnika universiteti
jahongir_nematovich@mail.ru
(Qabul qilindi 04.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Mazkur tadqiqot ishida ohak chiqindisi va Redispersible Polymer Powder (RPP) kimyoviy qo‘shimchasi asosida tayyorlangan gipsobetonlarning tarkibi, reologik xossalari hamda fizik-mexanik ko‘rsatkichlari o‘rganildi. Tajribalar davomida G-4 va G-6 markali qurilish gipsi bog‘lovchi sifatida qo‘llanilib, ohak chiqindisi turli miqdorlarda to‘ldiruvchi sifatida kiritildi. Laboratoriya sinovlari natijasida gipsobeton qorishmalarining oquvchanligi, qotish jarayoni, o‘rtacha zichligi, egilish va siqilishga mustahkamligi baholandi. Tadqiqotlar natijasida ohak chiqindisi va polimer qo‘shimchaning optimal miqdori aniqlanib, ularning gips matritsasi mikrostrukturasi shakllanishiga ijobiy ta’sir ko‘rsatishi isbotlandi. Natijada gipsobeton namunalarning mustahkamligi oshishi, suv shimuvchanligi kamayishi hamda materialning issiqlik izolyatsion xususiyatlari yaxshilanishi kuzatildi. Olingan natijalar sanoat chiqindilaridan samarali foydalanish, resurs tejamkor texnologiyalarni joriy etish hamda ekologik toza qurilish materiallari ishlab chiqarish uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.*

Kalit so‘zlar: *gipsobeton, ohak chiqindisi, Redispersible Polymer Powder, reologik xossalar, qurilish gipsi, mikrostruktura, siqilish mustahkamligi, egilish mustahkamligi, g‘ovaklik, qurilish materiallari.*

Аннотация. *В данной работе исследовано влияние отходов извести и химической добавки Redispersible Polymer Powder (RPP) на реологические свойства и физико-механические характеристики гипсобетона. В экспериментах в качестве вяжущего использовались строительные гипсы марок Г-4 и Г-6, а отходы извести применялись в качестве заполнителя в различных количествах. В ходе лабораторных испытаний определялись текучесть смеси, кинетика твердения, средняя плотность, прочность при изгибе и сжатии образцов. Результаты показали, что добавление отходов извести и полимерной добавки способствует формированию более плотной и устойчивой микроструктуры гипсовой матрицы. Установлено, что оптимальное соотношение компонентов позволяет повысить прочностные показатели гипсобетона, снизить водопоглощение и улучшить теплоизоляционные свойства материала. Полученные результаты могут быть использованы при разработке ресурсосберегающих технологий производства строительных материалов и рациональном использовании промышленных отходов.*

Ключевые слова: *гипсобетон, отходы извести, Redispersible Polymer Powder, реологические свойства, строительный гипс, микроструктура, прочность на сжатие, прочность при изгибе, пористость, строительные материалы.*

Abstract. *This study investigates the influence of lime waste and Redispersible Polymer Powder (RPP) chemical additive on the rheological properties and physical-mechanical characteristics of gypsum*

concrete. In the experiments, construction gypsum grades G-4 and G-6 were used as binders, while lime waste was introduced as a filler in different proportions. Laboratory tests were carried out to determine the workability of the mixture, setting kinetics, average density, flexural strength, and compressive strength of the samples. The results showed that the addition of lime waste and polymer additive contributes to the formation of a denser and more stable microstructure of the gypsum matrix. It was found that the optimal proportion of components improves the strength characteristics of gypsum concrete, reduces water absorption, and enhances the thermal insulation properties of the material. The obtained results provide a scientific basis for the development of resource-efficient technologies and the effective utilization of industrial waste in the production of environmentally friendly construction materials.

Keywords: *gypsum concrete, lime waste, Redispersible Polymer Powder, rheological properties, construction gypsum, microstructure, compressive strength, flexural strength, porosity, construction materials.*

Kirish. Zamonaviy qurilish sanoatida energiya va resurslarni tejash, ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish hamda ekologik muammolarni bartaraf etishga qaratilgan texnologiyalarni joriy etish muhim ahamiyat kasb etmoqda. Ayniqsa, sanoat chiqindilaridan samarali foydalanish orqali yangi qurilish materiallarini yaratish bugungi kunda ilmiy tadqiqotlarning dolzarb yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Bunday yondashuv nafaqat tabiiy xomashyo resurslarini tejashga, balki atrof-muhitni muhofaza qilishga ham xizmat qiladi. Shu nuqtai nazardan, sanoat chiqindisi sifatida hosil bo‘ladigan ohak chiqindilaridan qurilish materiallari ishlab chiqarishda foydalanish muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Gipsli bog‘lovchilar asosida tayyorlangan gipsobeton qurilish materiallari yengilligi, yaxshi issiqlik saqlash xususiyati, ekologik xavfsizligi va ishlab chiqarish texnologiyasining nisbatan soddaligi bilan ajralib turadi. Ushbu materiallar turli konstruktiv elementlar, devor panellari, bloklar hamda issiqlik izolyatsion materiallar ishlab chiqarishda keng qo‘llaniladi. Biroq gipsobeton buyumlarining ayrim kamchiliklari ham mavjud bo‘lib, ular orasida mexanik mustahkamlikning nisbatan pastligi, namlikka sezgirligi hamda mikrostrukturadagi g‘ovaklarning notekis taqsimlanishi kabi omillarni ko‘rsatish mumkin. Ushbu kamchiliklar materialning ekspluatatsion barqarorligini pasaytirishi mumkin.

So‘nggi yillarda gipsobeton tarkibini modifikatsiyalash orqali uning fizik-mexanik xususiyatlarini yaxshilashga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar keng olib borilmoqda. Bunda turli mineral va kimyoviy qo‘shimchalardan foydalanish muhim natijalar bermoqda. Xususan, polimer asosidagi kimyoviy qo‘shimchalar gips matritsasining mikrostrukturaviy barqarorligini oshiradi, kapillyar g‘ovaklikni kamaytiradi hamda materialning mustahkamlik ko‘rsatkichlarini yaxshilaydi. Redispersible Polymer Powder (RPP) turidagi polimer qo‘shimchalari gips kompozitsiyalarida samarali modifikator sifatida keng qo‘llanilib, materialning yopishqoqligi, elastikligi va suvga chidamliligini oshirish imkonini beradi.

Adabiyotlar tahlili: So‘nggi yillarda qurilish materiallari ishlab chiqarishda sanoat chiqindilaridan samarali foydalanish masalasi ilmiy tadqiqotlarning muhim yo‘nalishlaridan biri bo‘lib bormoqda. Ayniqsa gips asosidagi kompozitsion materiallar tarkibini takomillashtirishda turli mineral va kimyoviy qo‘shimchalardan foydalanish materialning fizik-mexanik xossalarini yaxshilash hamda resurs tejamkor texnologiyalarni joriy etishga imkon yaratadi. Ilmiy manbalarda qayd etilishicha, gipsli bog‘lovchilar tarkibiga sanoat chiqindilarini qo‘shish materialning mikrostrukturasi shakllanishiga ijobiy ta’sir ko‘rsatadi, g‘ovaklik darajasini tartibga soladi va mustahkamlik ko‘rsatkichlarini oshiradi.

Tadqiqot metodologiyasi: Tadqiqot jarayonida ohak chiqindisi asosida tayyorlangan gipsobeton kompozitsiyasining optimal tarkibini aniqlash maqsadida tajribalarni rejalashtirishning matematik usullaridan foydalanildi. Tadqiqotda gipsobetonning fizik-mexanik xossalarini, ayniqsa siqilishga va egilishga mustahkamligini oshirish hamda qorishmaning reologik xususiyatlarini yaxshilash imkonini beruvchi optimal komponentlar miqdorini aniqlash asosiy vazifa sifatida belgilandi.

Tajribalarda bog‘lovchi sifatida G-6 markali qurilish gipsi, to‘ldiruvchi sifatida ohak chiqindisi, modifikatsiyalovchi kimyoviy qo‘shimcha sifatida esa Redispersible Polymer Powder

(RPP) qo‘llanildi. Mazkur komponentlar gipsobeton kompozitsiyasining strukturaviy shakllanishi, gidratlanish jarayonlari hamda materialning mexanik mustahkamligiga ta’sir etuvchi asosiy omillar sifatida tanlab olindi.

Gipsobeton qorishmasining asosiy texnologik omillari sifatida quyidagi o‘zgaruvchilar qabul qilindi: ohak chiqindisi miqdori (X_1), Redispersible Polymer Powder kimyoviy qo‘shimchasi miqdori (X_2) hamda suv-gips nisbati (X_3). Ushbu omillarning o‘zgarish chegaralari tajriba sharoitlarini hisobga olgan holda tanlab olindi va ular asosida tajribalar rejalashtirildi. Har bir omilning minimal, o‘rta va maksimal qiymatlari laboratoriya sinovlari orqali aniqlanib, gipsobetonning tarkibiy nisbatlariga ta’siri baholandi.

Gipsobeton tarkibini optimallashtirish uchun matematik modellashtirish usulidan foydalanilib, tajribalar to‘liq faktorli uch omilli eksperiment rejasiga muvofiq amalga oshirildi. Natijaviy ko‘rsatkich sifatida gipsobeton namunalarning siqilishga mustahkamligi hamda egilishga mustahkamligi tanlab olindi. Tajriba natijalari asosida olingan ma’lumotlar statistik tahlil qilinib, komponentlar miqdori bilan mexanik ko‘rsatkichlar o‘rtasidagi bog‘liqlik aniqlandi.

Tajriba sinov: Tajriba-sinov ishlari laboratoriya sharoitida amalga oshirilib, tayyorlangan gipsobeton qorishmalari 40×40×160 mm o‘lchamdagi metall qoliplarga quyildi. Namunalar standart sharoitda qotirilgandan so‘ng ularning o‘rtacha zichligi, egilishga va siqilishga mustahkamligi amaldagi standart sinov usullari asosida aniqlandi. Olingan natijalar asosida gipsobetonning optimal tarkibi hamda ohak chiqindisi va RPP qo‘shimchasining material xossalariga ta’siri ilmiy jihatdan baholandi.

Ohak chiqindisidan foydalanib samarali, keng ko‘lamli, tejamkor va ekologik toza optimal tarkibli gipsobeton buyumlar ishlab chiqarish texnologiyasining afzalliklarini aniqlash uchun ohak chiqindisidan foydalanib gipsobetonlarning samaradorligini oshishi bilan aniqlanadi. Gipsobetonlarini optimal tarkibini aniqlash uchun, bog‘lovchi sifatida G-4 va G-6 markali gips, to‘ldiruvchi sifatida ohak chiqindisi va Redispersible Polymer Powder kimyoviy qo‘shimchasidan turli miqdorlarda tayyorlangan gipsobetonlarning tajriba-sinovlari ikki turdagi qorishmalarni o‘z ichiga oladi.

Birinchi turdagi qorishma qurilish gips va ohak chiqindisining 10%, 15%, 20%, 25% va 30% miqdorlarga ko‘ra besh guruhga bo‘linib qorishmalar tayyorlanadi.

Ikkinchi turdagi qorishmalar to‘ldiruvchi sifatida oha chiqindisini 10%, 15%, 20%, 25% va 30% miqdorlarda qo‘shib, bog‘lovchi sifatida qurilish gipsi va Redispersible Polymer Powder kimyoviy qo‘shimchasidan foydalanib qorishmalar tayyorlandi.

1-jadval

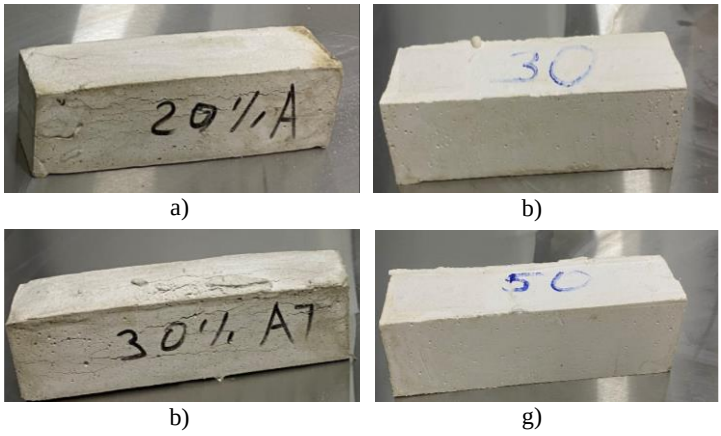
Gipsobeton namunalarning mustahkamligini aniqlash bo‘yicha olib borilgan tajriba-sinov natijalari.

T/r	Gips miqdori, %	RPP kimyoviy qo‘shimchasi, %	Ohak chiqindisining miqdori, %	G-4 markali gips namunalarning mustahkamligi, MPa		G-6 markali gips namunalarning mustahkamligi, MPa	
				R_{eg}	R_{sq}	R_{eg}	R_{sq}
1.	100	0	0	2,02	4,12	3,06	6,190
2.	100	1,2	0	3,08	4,11	3,56	6,189
3.	50	0,6	50	2,99	3,94	2,06	5,130
	60	0,8	40	3,28	3,37	2,856	5,630
	70	**1,2**	**30**	**3,95**	**5,048**	**4,678**	**7,456**
	80	1,4	20	2,97	3,90	3,160	5,923
	90	1,6	10	2,65	3,78	3,098	5,107

Ikki turdagi qorishmalar moylangan 40×40×160 mm o‘lchamdagi metall qoliplarga qorishmalar quyildi, 9±2 daqiqadan so‘ng namunalar qoliplardan olinadi va belgilar qo‘yiladi, 23±2°C haroratda va havoning nisbiy namligi 50±5% dan kam bo‘lmagan sharoitdagi kamerada 2

soat saqlandi va egilishga, siqilishga mustahkamligini aniqlashdagi tajriba-sinov natijalari, xom-ashyolarning tarkibi va miqdorlari 1-jadvalda ko‘rsatilgan.

Gipsobeton namunalarini optimal tarkibini aniqlashda foydalanilgan, ohak chiqindisi 20% va 30%, qurilish gipsi bilan tayyorlangan gipsobeton namunalari va ohak chiqindisi 30% va 50%, qurilish gipsi va Redispersible Polymer Powder kimyoviy qo‘shimchasi qo‘shib tayyorlangan 40×40×160 mm o‘lchamdagi gipsobeton namunalarining tasviri 1-rasmda keltirib o‘tilgan.



a) b)

b) g)

1-rasm. Gipsobeton namunalarining tasviri.
a –to‘ldiruvchi sifatida ohak chiqindisi 20% va bog‘lovchi sifatida 80% qurilish gipsi bilan tayyorlangan gipsobeton namunasi; b – to‘ldiruvchi sifatida ohak chiqindisi 30% va bog‘lovchi sifatida 70% qurilish gipsi bilan tayyorlangan gipsobeton namunasi; v – to‘ldiruvchi sifatida ohak chiqindisi 30%, bog‘lovchi sifatida 70% qurilish gipsi va Redispersible Polymer Powder kimyoviy qo‘shimchasi bilan tayyorlangan gipsobeton namunasi; g – to‘ldiruvchi sifatida ohak chiqindisi 20%, bog‘lovchi sifatida 80% qurilish gipsi va Redispersible Polymer Powder kimyoviy qo‘shimchasi bilan tayyorlangan gipsobeton namunasi.

Ohak chiqindisi, qurilish gipsi va Redispersible Polymer Powder (RPP) asosida tayyorlangan gipsobeton namunalari ustida olib borilgan tajriba-tadqiqot ishlari natijasida materialning fizik-mexanik hamda ekspluatatsion ko‘rsatkichlari kompleks tarzda baholandi va eng maqbul tarkibiy nisbatlar aniqlandi. Tadqiqot jarayonida namunalar standart laboratoriya sharoitida tayyorlanib, ularning zichligi, siqilishga mustahkamligi, suv shimuvchanligi, g‘ovaklik darajasi hamda issiqlik o‘tkazuvchanligi ko‘rsatkichlari aniqlab borildi.

Olingan natijalarga ko‘ra, gipsobeton namunalarining haqiqiy zichligi o‘rtacha 1300 kg/m3, quruq holatdagi o‘rtacha zichligi esa 900 kg/m3 ni tashkil etdi. Mazkur ko‘rsatkichlar materialning yengil konstruksion turga mansubligini ko‘rsatadi hamda yuklamani kamaytirish bilan birga yetarli darajadagi konstruktiv mustahkamlikni ta’minlay olishini tasdiqlaydi. Zichlikning nisbatan past bo‘lishi materialning issiqlik izolyatsion xususiyatlarini yaxshilaydi, bu esa uni ichki devor panellari, to‘ldiruvchi bloklar va issiqlikni tejovchi qurilish elementlari ishlab chiqarishda qo‘llash imkonini beradi.

Tadqiqot davomida G-6 markali qurilish gipsi bilan bog‘langan ohak chiqindisi miqdorining ortishi natijasida namunalar zichligining ma’lum darajada kamayishi kuzatildi. Ushbu holat ohak chiqindisi tarkibidagi mineral komponentlarning (asosan kalsiy gidroksid va silikat birikmalari) g‘ovak mikrostruktura shakllanishiga ta’siri bilan izohlanadi. Natijada materialning hajmiy massasi kamayib, ichki tuzilma yengillashadi. Biroq zichlikning haddan tashqari kamayishi mexanik mustahkamlikning pasayishiga olib kelishi mumkinligi sababli optimal nisbatni tanlash muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi.

Kompleks sinov natijalari asosida aniqlanishicha, optimal tarkibda tayyorlangan gipsobeton namunalarida siqilishga mustahkamlik ko‘rsatkichlari barqaror bo‘lib, suv shimuvchanlik darajasi me’yoriy chegaralarda saqlanadi. Polimer qo‘shimchaning mavjudligi suvga chidamlilikni oshiradi, kapillyar g‘ovaklikni kamaytiradi va ekspluatatsion ishonchlilikni yaxshilaydi. Issiqlik o‘tkazuvchanlik ko‘rsatkichlarining pastligi esa materialning energiya samaradorligini ta’minlaydi.

Tadqiqotlar natijalari ohak chiqindisini qayta ishlash orqali ekologik va iqtisodiy jihatdan samarali gipsobeton kompozitsiyasini yaratish mumkinligini ko‘rsatdi. Ishlab chiqilgan tarkib nafaqat qurilish materiallari sanoatida resurs tejamkor texnologiyalarni joriy etishga xizmat qiladi, balki sanoat chiqindilarini ikkilamchi xom ashyo sifatida qo‘llash orqali atrof-muhitga salbiy ta’sirni kamaytirishga ham imkon yaratadi.

Ohak chiqindisini gipsobeton tarkibiga kiritish. Gipsli bog‘lovchilar asosida tayyorlangan gipsobetonlarning laboratoriya tadqiqotlari shuni ko‘rsatdiki, qorishma tarkibiga ohak chiqindisini kiritish materialning fizik-mexanik va texnologik ko‘rsatkichlariga sezilarli ijobiy ta’sir ko‘rsatadi.

Mazkur ijobiy ta’sir, avvalo, gipsli kompozitsiyaning mikrotuzilmasi o‘zgarishi hamda gipsning gidratlanish jarayonlari faollashuvi bilan izohlanadi (3.6-bo‘limga qarang). Ohak chiqindisi tarkibidagi faol kalsiy birikmalari gipsning kristallanish jarayonini tezlashtiradi, kristall panjara shakllanishini tartibga soladi va natijada zichroq hamda mustahkam struktura hosil bo‘lishiga xizmat qiladi.

Gipsobeton qorishmasiga ohak chiqindisi kiritilishining samaradorligini baholashda bir qator asosiy texnologik va fizik-mexanik ko‘rsatkichlar mezon sifatida qabul qilindi. Jumladan, birinchi navbatda qorishmaning o‘rtacha zichligi aniqlanib, bu ko‘rsatkich material tarkibining bir jinsliligi va g‘ovaklik darajasini baholash imkonini berdi. Shuningdek, qorishmaning oquvchanligi, ya’ni uning reologik xususiyatlari o‘rganildi, chunki ushbu ko‘rsatkich qorishmaning qoliplanishi, zichlanishi va amaliy qo‘llanish qulayligini belgilaydi.

Bundan tashqari, gipsobetonning qotish kinetikasi, ya’ni boshlanish va yakuniy qotish vaqtlari tahlil qilindi. Mazkur parametrlar ohak chiqindisining gipsning gidratlanish jarayoniga ta’sirini hamda texnologik jarayonning davomiyligini aniqlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Yakuniy bosqichda esa qotgan namunalarining o‘rtacha zichligi va mustahkamlik ko‘rsatkichlari baholanib, materialning ekspluatatsion xususiyatlariga kompleks baho berildi..

Ohak chiqindisining gipsobeton xususiyatlariga ta’sirini aniqlash maqsadida tajribalarni rejalashtirishning matematik usuli (to‘liq faktorli eksperiment) asosida tadqiqotlar olib borildi. O‘zgaruvchan omillar sifatida ohak chiqindisi miqdori va suv-gips nisbati qabul qilindi. Natijada D900 markadagi gipsobeton namunalarining optimal tarkibi aniqlanib, ular 2-jadvalda keltirilgan.

Tajriba natijalari shuni ko‘rsatdiki, ohak chiqindisi miqdori 10–15% oralig‘ida bo‘lganda gipsobeton qorishmasining oquvchanligi me’yoriy darajada saqlanib qoladi hamda qotish jarayoni bir maromda kechadi. Ushbu nisbatda hosil bo‘lgan kompozit struktura kapillyar g‘ovaklikni kamaytiradi, natijada materialning o‘rtacha zichligi va bosimga mustahkamligi ortadi. 20% va undan yuqori miqdorlarda esa suv talabi ortishi hamda ichki g‘ovaklikning ko‘payishi kuzatildi, bu esa ayrim hollarda mustahkamlik ko‘rsatkichlarining pasayishiga olib kelishi mumkin.

2-jadval

Gipsobetonlarining tarkibi va fizik-mexanik xossalari

T/r	Gips, g	Xom ashyo materiallari			Yoyiluvchanligi, mm
		Ohak chiqindisi, % / g	Suv, g	RPP, g	
1.	300	0	0,165	0,1	180
2.	265	15 / 45	167	0,1	180
3.	240	20 / 60	168	0,1	180
4.	**225**	**25 / 75**	**171**	0,1	**180**
5.	210	30 / 90	175	0,1	180
6.	195	35 / 105	178	0,1	180

2-jadvalning davomi

Namunaning o‘lchamlari a×b×s, mm.	O‘rtacha zichligi, kg/m^3	Egilishga mustahkamligi, MPa	Siqilishga mustahkamligi, MPa
40×40×160	945	3,90	5,81
40×40×160	901	3,89	5,96
40×40×160	912	4,10	6,09
40×40×160	**901**	**4,67**	**7,41**
40×40×160	885	3,45	6,31
40×40×160	875	3,17	5,02

Gipsobeton qorishmasini tayyorlash laboratoriya sharoitida betonqorgichda bir bosqichli usul asosida amalga oshirildi.

Xulosa. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, ohak chiqindisini gipsobeton tarkibiga kiritish materialning fizik-mexanik va ekspluatatsion xossalarini sezilarli darajada yaxshilaydi. Redispersible Polymer Powder (RPP) qo‘shimchasi gipsobetonning yopishqoqligini oshiradi, mikroyoriqlar rivojlanishini kamaytiradi hamda egiluvchanlik va mustahkamlik ko‘rsatkichlarini oshiradi. Optimal tarkibda (ohak chiqindisi 10–15%, RPP 0,1%) gipsobetonning zichligi, siqilishga va egilishga mustahkamligi barqaror bo‘lib, suv shimuvchanligi me’yoriy chegaralarda saqlanadi. Shu bilan birga, materialning issiqlik izolyatsion xususiyatlari va energiya samaradorligi yaxshilanadi. Olingan natijalar ohak chiqindisini qayta ishlash orqali ekologik va iqtisodiy jihatdan samarali gipsobeton ishlab chiqarish imkoniyatini tasdiqlaydi.

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).

ASSESSING GROUNDWATER DYNAMICS IN THE MONITORING OF IRRIGATED AGRICULTURAL LANDS: FROM TRADITIONAL MEASUREMENTS TO SPATIAL DIGITAL MODELS

Kh.T. Murodilov

Fergana State Technical University
**Corresponding author, e-mail: xasanboy.murodilov@fstu.uz*
(Received on April 4 th, 2026)

Abstract. *This article analyzes the evolution of methods for monitoring groundwater dynamics in irrigated agricultural lands. Traditional field measurements (observation well networks) have limited spatial coverage and do not fully meet the requirements of modern land resource management. The study comparatively examines international scientific literature dedicated to the integration of remote sensing (Landsat, Sentinel), Geographic Information Systems (GIS), and hydrogeological modeling (specifically, MODFLOW) technologies. The analysis results show that the complex integration of traditional methods with digital spatial-dynamic models provides the highest accuracy in efficiently assessing land reclamation status, preventing soil salinity, and optimizing crop placement in arid regions. This review serves as a methodological foundation for improving digital cadastre and land monitoring systems in the conditions of Central Asia in the future.*

Keywords: *land resource management, groundwater monitoring, spatial-dynamic modeling, remote sensing, GIS, MODFLOW, irrigated lands, reclamation status.*

Аннотация. *В данной статье анализируется эволюция методов мониторинга динамики уровня грунтовых вод на орошаемых сельскохозяйственных землях. Традиционные полевые измерения (сеть наблюдательных скважин) имеют ограниченный пространственный охват и не в полной мере отвечают современным требованиям управления земельными ресурсами. В исследовании проводится сравнительный анализ международной научной литературы, посвященной интеграции технологий дистанционного зондирования (Landsat, Sentinel), геоинформационных систем (ГИС) и гидрогеологического моделирования (в частности, MODFLOW). Результаты анализа показывают, что комплексное объединение традиционных методов с цифровыми пространственно-динамическими моделями обеспечивает максимальную точность при эффективной оценке мелиоративного состояния земель, предотвращении засоления почв и оптимизации размещения сельскохозяйственных культур в засушливых регионах. Данный обзор служит методологической основой для дальнейшего совершенствования систем цифрового кадастра и мониторинга земель в условиях Центральной Азии.*

Ключивые слова*: управление земельными ресурсами, мониторинг грунтовых вод, пространственно-динамическое моделирование, дистанционное зондирование, ГИС, MODFLOW, орошаемые земли, мелиоративное состояние.*

Annotatsiya. *Ushbu maqolada sug'oriladigan qishloq xo'jaligi yerlarida sizot suvlari dinamikasini monitoring qilish usullarining evolyutsiyasi tahlil qilingan. An'anaviy dala o'lchovlari (kuzatuv quduqlari tarmog'i) cheklangan fazoviy qamrovga ega bo'lib, zamonaviy yer resurslarini boshqarish talablariga to'liq javob bermaydi. Tadqiqotda masofadan zondlash (Landsat, Sentinel), Geografik axborot tizimlari (GIS) hamda gidrogeologik modellashtirish (xususan, MODFLOW) texnologiyalarining integratsiyasiga bag'ishlangan xalqaro ilmiy adabiyotlar qiyosiy o'rganildi. Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, an'anaviy usullarni raqamli fazoviy-dinamik modellar bilan kompleks birlashtirish qurg'oqchil mintaqalarda yerlarning meliorativ holatini samarali baholash, sho'rlanishning oldini olish va ekinlarni to'g'ri joylashtirishda eng yuqori aniqlikni ta'minlaydi. Ushbu sharh kelgusida Markaziy Osiyo sharoitida raqamli kadastr va yer monitoringi tizimlarini takomillashtirish uchun uslubiy asos bo'lib xizmat qiladi.*

Tayanch so'zlar: *yer resurslarini boshqarish, sizot suvlari monitoringi, fazoviy-dinamik modellashtirish, masofadan zondlash, GIS, MODFLOW, sug'oriladigan yerlar, meliorativ holat.*

I. Introduction

1.1. Relevance and global importance of the topic

Irrigated land is a major source of food security in global agriculture. However, due to irrational irrigation and land resource management deficiencies, groundwater levels have become a global problem. According to the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), millions of hectares of fertile land worldwide are annually exposed to secondary salinization due to the proximity of groundwater [1]. In such conditions, accurate and continuous monitoring of groundwater dynamics is a top priority in order to maintain the land reclamation status.

1.2. International scientific views and approaches

Looking at international experience, the transition from traditional approaches to digital modeling in groundwater management is proceeding at a rapid pace. Scientists from the USA, the Netherlands, Australia, as well as Southeast Asian countries (such as Malaysia and Indonesia), which are leaders in integrating spatial data in agriculture, have achieved great results in this regard. For example, foreign researchers Smith et al. (2021) combined Landsat and Sentinel satellite data with GIS technologies in their work to develop a method for high-precision assessment of soil moisture and groundwater movement over large areas [2]. In the spatial-dynamic assessment of hydrogeological processes, models such as MODFLOW have risen to the international standard. Studies by Kumar et al. (2023) show that digital models increase the accuracy of groundwater forecasting by 40-50% compared to traditional point measurements [3].

1.3. The situation in Uzbekistan and the work of scientists

In Uzbekistan, in particular, in regions with unique relief, such as the Aral Sea basin and the Fergana Valley, land development and cadastral work are directly dependent on the regime of runoff waters. For many years, scientists of our country, including researchers such as Q. Ramazonov, G. Akhmedov [4, 5], have been conducting scientific research based on data from traditional monitoring wells to assess the land reclamation status. Although these methods were very effective at the time, they are currently physically difficult to cover every hectare of land throughout the country and require significant economic costs. In recent years, our republic has been taking the first steps towards the use of digital technologies (GIS and RS) in land resource management within the framework of the Digital Uzbekistan - 2030 strategy, but research on their comprehensive integration with hydrogeological models such as MODFLOW has not yet been sufficiently studied.

1.4. Purpose of this study

Therefore, it is important to conduct a comparative analysis of the methods used by international and local scientists in monitoring runoff. The main goal of this article is to analyze the stages of development of runoff monitoring in irrigated lands, from traditional field measurements to the most modern spatial-dynamic models, based on scientific literature, and to justify the most optimal numerical solutions for arid regions.

1.5. Development dynamics of wastewater monitoring and modeling technologies

Table 1 below shows the evolution of the use of subject-specific tools in international practice over the years. This analysis shows how quickly the problem is becoming digital.

Table 1.

Comparative evolution of methods for assessing and monitoring the dynamics of wastewater (based on an analysis of international and local literature)

Development stage	**Main methods and technologies used**	**Coverage and accuracy**	**Popular period in international practice**	**Status of use in Uzbekistan (currently)**
Stage I	Traditional field measurements (Observation wells, piezometers)	Point coverage; high local accuracy obtained in a timely manner	1960–1990	It is widely used as a primary monitoring tool.
Stage II	Basic digitization (2D maps, AutoCAD, simple GIS)	Improved spatial coverage; statistical visualization of the process	1990–2005	Partially implemented in state cadastral and land reclamation offices.
Stage III	Remote sensing and GIS (Landsat, Sentinel, NDVI, NDWI indices)	Continuous coverage of large areas; operational monitoring	2005–2015	It is used by scientific centers and some researchers.
Stage IV	Spatial-dynamic modeling integration (GIS + RS + MODFLOW/Artificial Intelligence)	3D and 4D (time-lapse) prediction; highest accuracy	From 2015 to present	It is just being introduced, it has not been fully implemented in practice.

II. Research Methodology

2.1. Data retrieval strategy

This study is based on a systematic review of published international and national scientific literature. The literature search was carried out through the main international scientific databases: Scopus, Web of Science, and Google Scholar platforms. In order to cover local studies relevant to the conditions of Uzbekistan, the eLibrary and the archive of national OAK journals were also used.

The following keywords and their logical combinations (Boolean operators) that fully correspond to the purpose of the article were used in the search process: ("groundwater monitoring" OR"sizot suvlari monitoringi") AND ("spatial-dynamic modeling" OR "GIS" OR "remote sensing" OR "Landsat" OR "Sentinel") AND ("MODFLOW") AND ("irrigated lands" OR "irrigable lands").

2.2. Literature selection criteria

- ✓ Strict criteria were set for including the sources found in the analysis. In particular, only the following were included in the study:
- ✓ Published in the last 10 years (2014–2024);
- ✓ It was related to the reclamation of agriculture and irrigated lands;
- ✓ Articles from peer-reviewed scientific journals and international conference proceedings were selected.
- ✓ The general search yielded more than 150 sources, and after reading their titles and abstracts, those that were not directly related to the topic were excluded. As a result, the most relevant 30-35 key scientific works were selected for in-depth comparative analysis.

2.3. Analysis and grouping method

The selected literature was divided into three logical groups according to the evolution of the technological approach:

- ✓ Traditional methods: Field work on assessing groundwater through observation wells;
- ✓ Spatial Analysis (GIS/RS): Research aimed at mapping spatial changes through satellite data;
- ✓ Hydrogeological modeling: Spatial-dynamic forecasting methods using programs such as MODFLOW.

Through this grouping, the specific advantages and limitations of each method were identified Figure 1.

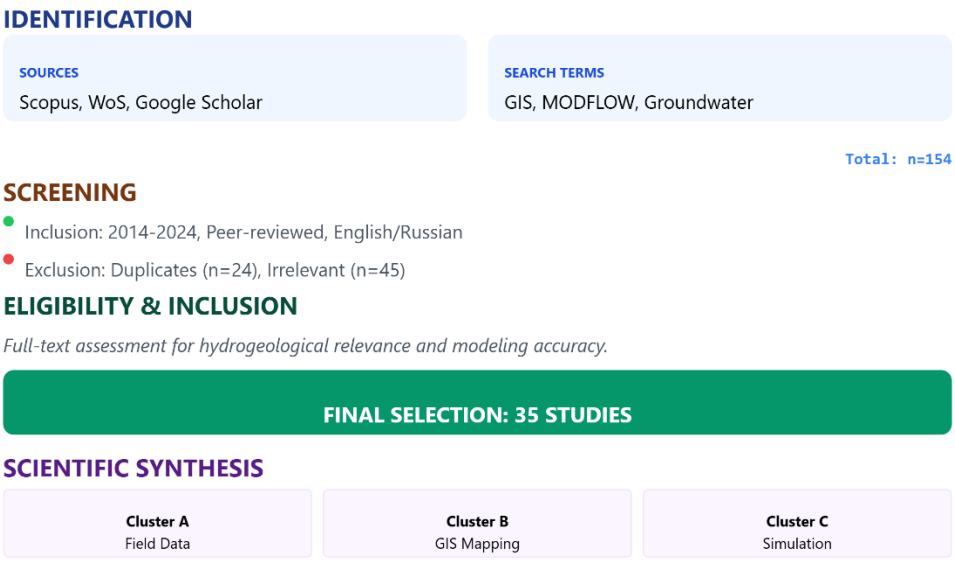


Figure 1. PRISMA model-based research methodology scheme.

III. Results

An analysis of 35 primary scientific sources selected as a result of a systematic search showed that research on the assessment of runoff dynamics in irrigated lands is rapidly changing from point (local) measurements to complex spatial-dynamic approaches. The results obtained were summarized in three main directions according to the technological approach.

3.1. Traditional methods: Point assessment through observation wells

The first group of literature reviews includes studies based on traditional field measurements. Researchers [6, 7] argue that piezometers and a network of melioration monitoring wells remain the most reliable (ground truth) source for determining groundwater levels and mineralization levels. However, a number of scholars have pointed out serious limitations of this method in modern land resource management:

Spatial gaps: Due to the long distance between wells, groundwater levels in the intermediate areas are estimated using mathematical interpolation methods (Kriging, IDW), which leads to large errors in areas with complex terrain [8].

Economical and time-consuming: Maintaining a monitoring network over large areas (e.g., an entire province) and collecting data manually on a regular basis is economically inefficient.

Nevertheless, the conclusions show that traditional measurements cannot be completely abandoned, as they serve as the only basis for calibrating numerical models in the next stage.

3.2. Remote Sensing (RS) and GIS: Mapping Spatial Change

The second group of studies focuses on the use of satellite data such as Landsat and Sentinel, as well as GIS technologies. This approach addresses the main drawback of traditional measurements - the problem of spatial coverage.

Indicator approach: International literature [9, 10] emphasizes that although optical satellites cannot directly see the surface water, they can track its consequences (indicators) on the soil surface with high accuracy. Scientists have identified areas near surface water by analyzing the dynamics of

NDVI (Normal Difference Vegetation Index), NDSI (Salinity Index) and LST (Soil Surface Temperature).

GIS integration: Researchers such as Smith et al. (2022) have visualized stormwater flow patterns by overlaying digital elevation models (DEMs) and soil maps with satellite data in a GIS environment [11].

The advantage of this method is the ability to monitor an entire region inexpensively in a short time. The disadvantage is that it only shows the process for the current or past time and cannot accurately predict the future.

3.3. Hydrogeological modeling: MODFLOW and spatial-dynamic forecasting

The third group of literature, which is the most modern and has high scientific potential, is dedicated to the integration of GIS and MODFLOW (Modular 3D Finite-Difference Groundwater Flow Model).

According to Kumar et al. (2023) [12], the MODFLOW program has the ability to reliably model groundwater movement in three-dimensional (3D) space and time (4D - dynamic).

Integrated approach: The best results were observed in studies that combined all three elements. That is, GIS and RS data were used to input model geometry and surface parameters, and traditional well data were used to calibrate and validate the model [13].

Such models allow not only to assess the current situation, but also to calculate what-if scenarios: "How will the runoff change if irrigation rates are increased or new ditches are dug?" This is an invaluable tool for proper crop placement and planning of land reclamation measures in land resource management.

IV. Discussion

A systematic literature review shows that no single technology can be a perfect solution for assessing runoff dynamics in irrigated agricultural areas. Most scholars [14, 15], while acknowledging the accuracy of traditional measurement methods, emphasize that they cannot meet the speed and spatial coverage requirements of modern land resource management. On the other hand, relying solely on satellite data (RS/GIS), although cheap and fast, does not allow predicting the movement of runoff in vertical layers and its future state [16].

Therefore, the international scientific community has come to the conclusion that the most optimal way is to use a complex integration (Hybrid approach) of these methods, rather than pitting them against each other. The studies discussed prove that the highest accuracy results are obtained based on the following algorithm:

1. GIS technologiesusing which the digital elevation model (DEM) of the area, a map of soil layers, and the topology of irrigation networks are collected into a single spatial database;
2. This spatial database is fed with historical data from traditional monitoring wells in the area, creating an initial state;
3. All data is transferred to the MODFLOW program, a spatial-dynamic model (mathematical model) of the movement of stormwater is created, and scenarios for the future are projected.

This three-dimensional approach not only solves hydrogeological problems, but also has an incomparable practical value for the field of "Land Resources Management and Cadastre". For example, through the created digital dynamic models, land planners can predict in which areas there is a risk of rising groundwater levels and salinization in the next 5 years. This, in turn, allows for planning the placement of drought-resistant crops in those areas instead of water-intensive crops (for example, cotton or rice), that is, rational land use and correct decision-making (Decision Support System). Especially in arid regions where climate change and water scarcity are becoming increasingly severe, the integration of these technologies has become not just a scientific novelty, but a vital necessity for ensuring agricultural sustainability.

V. Conclusion

A systematic literature review has shown the importance of monitoring runoff dynamics in land resource management and cadastral systems in irrigated farming regions. Based on the international and local studies reviewed, the following main conclusions were drawn:

The need for technological evolution: Although traditional field measurements (monitoring well networks) have been a reliable source of information for many years, their limited spatial coverage cannot fully meet the requirements of modern land monitoring. Therefore, there is a clear need to move from point measurements to spatial analyses covering the entire area in assessing the reclamation status of agricultural lands.

An integrated approach is the best solution: The complex combination of remote sensing (Landsat, Sentinel) and GIS technologies with hydrogeological models such as MODFLOW is the most advanced international method for predicting spatial-dynamic changes in groundwater levels with high accuracy.

Gaps in regional research: Despite the widespread use of these numerical models in international experience, comprehensive research on the full integration of these technologies in Central Asian conditions, including in the regions of Uzbekistan with complex terrain and intensively developed irrigated agriculture, is still lacking.

Based on the above, in order to improve the digital cadastre and intelligent land resources management system in our republic, it remains an urgent task to develop special digital models that take into account the soil-climatic and relief characteristics of specific regions. In particular, in the case of the Fergana region, where groundwater dynamics are complex, the creation of a spatial-dynamic model of groundwater levels based on modern GIS and satellite data was identified as a promising direction for future applied research. This digital model will serve as a basis for making strategic decisions on the optimal placement of crops and preventing soil salinization in future land management works.

References

[24]. García, M. et al. (2024)."Estimation of Groundwater Abstractions from Irrigation Wells in Mediterranean Agriculture: An Ensemble Approach Integrating Remote Sensing...". Sustainability (MDPI). (On water use in irrigated lands and the problem of global salinity).

[25]. Chen, Z., & Zhao, S. (2022)."Automatic monitoring of surface water dynamics using Sentinel-1 and Sentinel-2 data with Google Earth Engine". International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. (On Spatial Analysis via Sentinel and GIS).

[26]. Singh, A. et al. (2024)."Perspective Chapter: Groundwater Modeling, Planning for Aquifer Recharging and Management". IntechOpen. (On increasing accuracy over traditional measurements using MODFLOW).

[27]. Karimov, Y. et al. (2024)."Assessment of groundwater levels and mineralization in irrigated areas using geographic information systems (a case study of Buvayda district)". BIO Web of Conferences. (A local study on the assessment of groundwater levels and mineralization in irrigated areas using geographic information systems (a case study of Buvayda district)).

[28]. Aslanov, I. et al. (2025)."Groundwater level, mineralization, and pollution in Uzbekistan: An overview". American Journal of Education and Learning. (A recent review of groundwater status and monitoring in Uzbekistan, particularly in the Fergana Valley).

[29]. Tiwari, AK, Singh, AK, & Mahato, MK (2019)."Assessment of groundwater level fluctuations using observation well data in arid agricultural regions". Journal of Hydrology: Regional Studies, 24, 100615. (On conventional monitoring wells).

[30]. Mirzayev, S.S., & Mahmudov, E.J. (2018)."Melioration hydrogeology of irrigated lands of Uzbekistan and its modern problems". Journal of Agriculture of Uzbekistan, 4(12), 45-51. (On local traditional measurements and reliability).

[31]. Zhang, C. S., & Liu, C. W. (2020)."Spatial interpolation of groundwater levels using Kriging and IDW methods: Limitations and uncertainties". Water Resources Management, 34(3), 1021-1035. (On spatial gaps and interpolation errors).

[32]. Allbed, A., & Kumar, L. (2018)."Soil salinity mapping and monitoring in arid regions using remote sensing technology: A review". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 138, 16-33. (On optical satellites, NDVI, NDSI indicators).

[33]. Wang, J., Ding, J., & Yu, D. (2021)."Estimating groundwater depth in arid regions using satellite-derived land surface temperature (LST) and vegetation indices". Agricultural Water Management, 243, 106484. (On Sentinel/Landsat detection of seepage water).

[34]. Smith, R., Knight, R., & Fendorf, S. (2022)."Integrating DEM and multispectral satellite imagery for groundwater potential mapping in agricultural basins". Remote Sensing of Environment, 275, 113010. (on GIS, surface parameters and DEM integration).

[35]. Kumar, P., Singh, R., & Thakur, S. (2023)."Three-dimensional groundwater flow modeling using MODFLOW in heavily irrigated basins: A dynamic approach". Journal of Hydrogeology, 31(2), 405-422. (Regarding MODFLOW's 3D and 4D capabilities).

[36]. Rahman, A., et al. (2021)."A hybrid approach for groundwater modeling integrating Remote Sensing, GIS, and MODFLOW". Environmental Earth Sciences, 80(14), 485. (On combining the three elements (complex approach)).
[37]. Foster, S., & van der Gun, J. (2020)."The paradigm shift in groundwater management: from traditional measurements to digital monitoring". Water International, 45(4), 314-328. (Discussion on the inadequacy of traditional methods in modern requirements).
[38]. Mukhammadiev, B.M., & Qodirov, A. (2021)."The role of modern digital technologies in land cadastre and monitoring." Journal of Irrigation and Land Reclamation, 2(24), 67-73. (Problems of local land resource management).
[39]. Nhamo, L., Mabhaudhi, T., & Modi, AT (2020)."The role of earth observation in groundwater monitoring: limitations of surface-only assessments and future prospects". Water, 12(11), 2966. (Discussion on the disadvantages of relying solely on RS/GIS (inability to show vertical movement)).

PLASTIK CHIQINDILAR ASOSIDA POLIETILEN TEREFTALAT GRANULA ISHLAB CHIQARISH TEXNOLOGIYASIDA QO‘LLANILADIGAN ZAMONAVIY USKUNALAR

H.S. Solijonov[1], I.Q. Sharipov[2]

Farg‘ona davlat texnika universiteti
e-mail: solijonov_hojiakbar@mail.ru, ORCID: 0009-0009-2649-0371
e-mail: sharipovislomjon779@gmail.com, ORCID: 0009-0001-0254-0188
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada plastik chiqindilarni qayta ishlash asosida polietilen tereftalat granulalarini ishlab chiqarish texnologiyasida qo‘llaniladigan zamonaviy uskunalar tahlil qilinadi. Xususan, polietilen tereftalat chiqindilarni saralash, yuvish, maydalash, quritish va granulalash jarayonlarida ishlatiladigan texnologik qurilmalar va ularning ishlash prinsiplari yoritib beriladi. Shuningdek, avtomatlashtirilgan liniyalar, energiya tejamkor uskunalar hamda raqamli boshqaruv tizimlarining ishlab chiqarish samaradorligini oshirishdagi o‘rni ko‘rib chiqiladi. Maqolada zamonaviy texnologiyalarning qo‘llanilishi orqali chiqindilarni qayta ishlash darajasini oshirish, ekologik muammolarni kamaytirish va sifatli ikkilamchi xomashyo olish imkoniyatlari asoslab beriladi. Ushbu maqola plastik chiqindilarni qayta ishlash sohasini rivojlantirishga xizmat qilib, innovatsion ishlab chiqarishni samarali tashkil etishda muhim ahamiyat kasb etadi.*

Kalit so‘zlar: *Plastik chiqindilar, polietilen tereftalat, granula, konveyer, maydalagich, ekstruder, ikkilamchi xomashyo, atrof-muhit.*

Аннотация. *В данной статье анализируется современное оборудование, используемое в технологии производства гранул полиэтилентерефталата на основе переработки пластиковых отходов. В частности, освещаются технологические устройства и принципы их работы, используемые в процессах сортировки, промывки, измельчения, сушки и гранулирования полиэтилентерефталатных отходов. Также будет рассмотрена роль автоматизированных линий, энергосберегающего оборудования и цифровых систем управления в повышении эффективности производства. В статье обосновываются возможности повышения уровня переработки отходов, снижения экологических проблем и получения качественного вторичного сырья за счет применения современных технологий. Данная статья способствует развитию сферы переработки пластиковых отходов и имеет важное значение для эффективной организации инновационного производства.*

Ключевые слова *Пластиковые отходы, полиэтилентерефталат, гранулы, конвейер, измельчитель, экструдер, вторичное сырье, окружающая среда.*

Abstract. *This article analyzes modern equipment used in the technology for producing polyethylene terephthalate granules based on plastic waste recycling. In particular, the technological devices used in the processes of sorting, washing, grinding, drying, and granulating polyethylene terephthalate waste, as well as their operating principles, are highlighted. The role of automated lines, energy-efficient equipment, and digital control systems in increasing production efficiency will also be considered. The article substantiates the possibilities of increasing waste recycling levels, reducing environmental problems, and obtaining high-quality secondary raw materials through the application of modern technologies. This article serves to develop the field of plastic waste recycling and is of great importance for the effective organization of innovative production.*

Keywords: *Plastic waste, polyethylene terephthalate, granules, conveyor, crusher, extruder, secondary raw materials, environment.*

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 04-yanvardagi “Chiqindilarni boshqarish tizimini takomillashtirish va ularning ekologik vaziyatga salbiy ta’sirini kamaytirish bo‘yicha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi PF-5-sonli farmoni [1] hamda ushbu yo‘nalishga doir boshqa me’yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu maqola muayyan darajada xizmat qiladi.

Bugungi kunda plastik chiqindilar dunyo miqyosida eng dolzarb ekologik muammolardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, keng qo‘llaniladigan polietilen tereftalat mahsulotlari - ichimlik idishlari, qadoqlash materiallari va boshqa bir martalik buyumlar - qisqa vaqt foydalanilgandan so‘ng chiqindiga aylanadi (1-rasm).

1-rasm. Plastik butilkalar.

Plastikning asosiy muammosi shundaki, u tabiiy sharoitda juda sekin parchalanadi. Natijada tuproq, suv havzalari va hatto atmosfera ham ifloslanadi. Dengiz va okeanlarda plastik chiqindilar hayvonlar hayotiga jiddiy xavf tug‘diradi, mikroplastiklar esa oziq-ovqat zanjiri orqali inson salomatligiga ta’sir ko‘rsatishi mumkin.

Shu bilan birga, plastik chiqindilarni noto‘g‘ri boshqarish resurslarning isrof bo‘lishiga olib keladi. Aslida, qayta ishlash orqali ularni ikkilamchi xomashyo sifatida yana ishlab chiqarishda foydalanish mumkin. Zamonaviy texnologiyalar yordamida plastik chiqindilarni saralash, qayta ishlash va yangi mahsulotlarga aylantirish imkoniyatlari kengayib bormoqda.

“Shuliy Machinery” kompaniyasi yuqori sifatli plastik granulalarni yuqori qiymatga ega bo‘lishga intiladi. Bu kompaniyaning plastikni qayta ishlash mashinalariga va mijozlar uchun ishlab chiqarish samaradorligini oshirishga hamda plastikni qayta ishlashdan yuqori foyda olishga yordam beradi [2].

Polietilen tereftalat granula ishlab chiqarish texnologiyasi bosqichlari:

1-bosqich: plastik butilkalarni tashish va saralash;

2-bosqich: plastik butilka yorlig‘ini olib tashlash;

3-bosqich: plastik butilkalarni maydalash;

4-bosqich: plastik butilka parchalarini yuvish;

5-bosqich: plastik butilka parchalarini issiq suv bilan tozalash;

6-bosqich: plastik butilka parchalarini qayta tozalash;

7-bosqich: qayta tozalangan plastik butilka parchalarini quritish;

8-bosqich: quritilgan plastik butilka parchalarini ekstruder yordamida granula holiga keltirish;

9-bosqich: tayyor polietilen tereftalat granulalarini saqlash va qadoqlash [3].

Plastik butilkalar qayta ishlash korxonasiga xomashyo sifatida kelib tushgandan so‘ng dastlab qabul qilish va dastlabki tayyorlash bosqichidan o‘tkaziladi. Ushbu bosqichda butilkalar tarkibi va holatiga qarab saralash ishlari amalga oshiriladi. Saralash jarayoni avtomatlashtirilgan tizimlar yordamida bajariladi [3].

Saralangan plastik butilkalar keyingi texnologik bosqichga uzluksiz tarzda uzatiladi. Bunda konveyer tizimlari muhim rol o‘ynaydi, chunki ular material oqimini barqaror va boshqariladigan holda keyingi uskunalarga yetkazib beradi. Konveyer lentasi orqali butilkalar yorliq ajratish uskunasiga yuboriladi, 2-rasm: a), [4].

Yorliq ajratish uskunasi: plastik butilka yorlig‘ini olib tashlash, plastik butilkalarni qayta ishlash uchun juda muhim va plastik butilkalardan yoki suv idishlaridan yorliqlarni professional ravishda olib tashlaydi. Bu plastik butilkalarni qayta ishlash liniyasining samaradorligini oshiradi, 2-rasm: b), [4].

Plastik butilka yorlig‘ini olib tashlash uskunasi yuqori samaradorlik bilan mehnat xarajatlarini tejashga yordam beradi, ish tezligi taxminan 98% ni tashkil qiladi. Uskuna katta quvvatga ega hamda uskunada chidamlilik uchun po‘latdan yasalgan 300 dan ortiq maxsus pichoqlar mavjud.

Pichoqlarni sozlash orqali plastik butilkalarni qayta ishlashda turli o‘lchamdagi butilkalarni olib tashlash uchun foydalanish mumkin. Pichoqlar noyob tirnoq shaklidagi tishli dizaynga ega. Ushbu dizayn butilkalarni yorliqni olib tashlash mashinasi orqali silliq harakatlantirib, yorliqlarni samarali olib tashlaydi [4].

Plastik maydalagich: plastik maydalagich ishonchli va yuqori mahsuldorlik uchun mo‘ljallangan, 2-rasm: d). Plastik maydalagichning aqlli dizayni unga xomashyoni plastik chiqindilarni qayta ishlash uchun mayda bo‘laklarga maydalash imkonini beradi. Mashina plastik butilkalarini qayta ishlash liniyalari uchun mos keladi [4].

Mashina korpusi bardoshli po‘lat plastinkasidan yasalgan bo‘lib, ish paytida mustahkam tuzilish va minimal tebranishni ta’minlaydi. Asosiy dizayn xususiyati tashqi tomondan o‘rnatilgan podshipnik korpusidir. Bu asosiy podshipniklarni maydalash kamerasidan tashqarida joylashtiradi, ularni chang va suv kirishidan samarali himoya qiladi, ularning xizmat muddatini sezilarli darajada oshiradi va texnik xizmat ko‘rsatishni soddalashtiradi [4].

Plastik maydalagich bugungi jamiyatda zarur bo‘lgan ekologik toza qayta ishlash mashinasidir. Plastik maydalagich plastik chiqindilarning ko‘p qismini qayta ishlashi mumkin [4].

Plastik maydalagich:

-model: SL500, SL600, SL800, SL1000, SL1200;

-mahsuldorligi: 200-2500 kg/soat;

-xomashyo: polietilen tereftalat butilkalari;

-mashina brendi: Shuliy;

-kafolat: 12 oy [4].

Yuvish uskunasi: yuqori samarali yuvish idishi bo‘lib, suv oqimi, tezligi va bosimini boshqarish orqali plastik butilka fraksiyalarining idishda suzib yurishiga olib keladi, boshqa og‘irroq aralashmalar hamda ularning plastik bo‘laklari esa idishning tubiga cho‘kadi va yuqori samarali ajratishga erishiladi, 2-rasm: e), [4].

a) Konveyer | b) Yorliq ajratish uskunasi | d) Plastik maydalagich | e) Yuvish uskunasi

f) Issiq suv bilan tozalash uskunasi | g) Tozalash uskunasi | h) Quritish uskunasi | i) Ekstruder

2-rasm. Polietilen tereftalat granula ishlab chiqarish texnologiyasidagi uskunalar.

Shu bilan birga, polietilen tereftalat materiallarini keyingi qayta ishlash uchun mukammal darajada tozalaydi va yuvadi. Plastik yuvish idishi plastik muhandisligida ideal qurilma hisoblanadi. U poliesterni tozalashdan keyin iflosliklarni keyingi ajratish va yuvish uchun mos keladi, natijada polietilen tereftalat fraksiyalari toza va oqroq bo‘ladi. Oson ishlatish va aniq tozalash yuvish idishining afzalliklari hisoblanadi. U xavfsiz, ishonchli va uzoq xizmat qilish muddatiga ega. Ushbu plastik chiqindilarni ajratish idishi asosan iflos xomashyolarni maydalashdan keyin yuvish uchun ishlatiladi [4].

Plastik yuvish idishi kimyoviy moddalarni talab qilmaydi, bu uni ekologik toza ajratish uskunasiga aylantiradi. Shu bilan birga, plastik yuvish jarayoni kam energiya sarfiga ega, bu energiyani tejashga va chiqindilarni kamaytirishga hissa qo‘shadi [4].

Yuvish uskunasi:

-model: SL-500;

-mos materiallar: plastmassa;

-dvigatel quvvati: 3 kVt;

-hajmi: moslashtirilishi mumkin;

-qo‘llanilishi: plastik chiqindilarni maydalashdan keyin, keyingi tozalash va yuvish uchun ishlatiladi [4].

Issiq suv bilan tozalash uskunasi: plastik chiqindilarni qayta ishlash va boshqa sohalarda tozalash uchun keng qo‘llaniladi, 2-rasm: f), [4].

Issiq suv bilan tozalash uskunasi xususiyatlari:

-ichki qismi yuqori harorat va namlikka bardosh bera oladigan korroziyaga chidamli materialdan tayyorlangan;

-yuqori haroratli tozalash qoldiq moddalarni samarali ravishda olib tashlashi va mahsulot sifatini ta’minlashi mumkin [4].

Issiq suv bilan tozalash uskunasi:

-modeli: SL-500;

-balandligi: 2 m;

-diametri: 1,3 m;

-tashqi qalinligi: 4 mm;

-pastki qalinligi: 8 mm;

-material: po‘lat;

-quvvati: 4 kVt [4].

Issiq suv bilan tozalash uskunasi tashqi tuzilishi:

-ikki korpus: oyna bilan qoplangan ichki qism;

-ustki qopqoq: oson tozalash uchun qopqoq;

-aralashtirish moslamasi: vites qutisi chiqish vali va belkurak vali qulay qismlarga ajratish va tozalash uchun harakatlanuvchi mufta orqali ulangan;

-aralashtirish tezligi: daqiqasiga 15-120 marta [4].

Tozalash uskunasi: plastik tozalash uskunasining bir turi sifatida yuqori tezlikdagi tozalash uchun ishlatilganda o‘ziga xos funksiya va afzalliklarga ega, 2-rasm: g). Plastikni qayta ishlash liniyasida yuqori tezlikda aylanadigan vint materialni suv bilan to‘liq tozalash imkonini beradi. Material yuzasidagi aralashmalar ajratiladi va iflos materiallar toza suv bilan yuviladi. Noyob suv purkagich dizayni va yuqori tezlikda aylanadigan vint ajoyib tozalash natijalarini ta’minlaydi [4].

Tozalash uskunasining korpusi asosiy motor, dvigatel, oyoqlar, suv ta’minoti, yuklash porti, drenaj porti va boshqalardan iborat. Korpusning pastki qismida ingichka to‘rli filtr, yuqori qismida tashqi suv ta’minoti joylashgan va materiallar yuklash porti orqali yuklanadi. Yuqori tezlikda aylanadigan vint materialni oqayotgan suvga to‘liq ishqalash imkonini beradi va bu puxta tozalashni ta’minlaydi [4].

Tozalash uskunasi:

-ishlab chiqarish quvvati: 400-600 kg/soat;

-yuvish quvurining diametri: 0,4 m;

-suv kirish joyi: 40x40 sm;

-uskuna o‘lchamlari: 4,1x0,6x1,4 m;

-uskuna og‘irligi: 560 kg [4].

Quritish uskunasi: quritish jarayoni polietilen tereftalat parchalaridagi namlikni yo‘qotish uchun amalga oshiriladi. Bunda maxsus quritish uskunasi ishlatiladi, 2-rasm: h). Ushbu uskuna material tarkibidagi suv molekulalarini issiqlik va havo oqimi yordamida bug‘lantirib chiqaradi va polietilen tereftalat parchalarini to‘liq suvsizlantiradi [4].

Suvdan tozalangan polietilen tereftalat parchalari keyingi qayta ishlash bosqichlarida sifatli natija berishi uchun juda muhim hisoblanadi. Chunki namlik qolsa, eritish yoki qayta shakllantirish jarayonida materialning fizik va mexanik xususiyatlari buzilishi, tayyor mahsulotda nuqsonlar paydo bo‘lishi mumkin [4].

Shu sababli quritish bosqichi ishlab chiqarish texnologiyasining muhim qismi bo‘lib, u tayyor mahsulotning mustahkamligi, bir xilligi va saqlash sharoitlariga chidamliligini ta’minlashga xizmat qiladi. Natijada polietilen tereftalat asosidagi mahsulotlar (masalan, granula yoki tayyor plastik buyumlar) standart talablarga javob beradi va uzoq muddat sifatini saqlab qoladi [4].

Ekstruder: bu polimer materiallarni, xususan, polietilen tereftalatni qayta ishlash va granula shakliga keltirishda qo‘llaniladigan uzluksiz ishlov berish qurilmasidir, 2-rasm: i). Polietilen tereftalat granulalarini ishlab chiqarish jarayonida ekstruder asosiy texnologik jarayon bo‘lib, u xomashyoni eritish, gomogenlash va shakllantirish vazifalarini bajaradi [5].

Quritilgan xomashyo ekstruderning silindr qismiga uzatiladi va aylanuvchi shnek yordamida oldinga siljitiladi. Shnekning aylanishi natijasida material mexanik siqiladi, ishqalanish va tashqi isitish zonalari ta’sirida asta-sekin eritiladi va suyuq holatga o‘tadi [5].

Ekstruder ichida polietilen tereftalat eritmasining bir xilligi ta’minlanadi, bu esa yakuniy granulaning sifat ko‘rsatkichlarini belgilaydi. Jarayon davomida harorat odatda 260-280°C oralig‘ida nazorat qilinadi, chunki bu diapazon polietilen tereftalatning optimal qayta ishlanishini ta’minlaydi. Shu bilan birga, bosim va shnek tezligi ham muhim parametrlar hisoblanadi [5].

Eritilgan polietilen tereftalat massa ekstruderning chiqish qismida joylashgan maxsus qolip orqali ko‘p sonli ingichka iplar ko‘rinishida siqib chiqariladi. Ushbu iplar sovitish vannasidan o‘tkazilib, qattiqlashtiriladi. Keyingi bosqichda kesish qurilmasi yordamida bir xil o‘lchamdagi granulalarga ajratiladi [5].

Plastik granulalarni ishlab chiqarish jarayonining yakuniy bosqichlaridan biri - ularni saqlash va iste’molchiga yetkazish uchun tayyorlashdir. Bu bosqichda asosan saqlash bunkeri va qadoqlash mashinalari muhim texnologik ahamiyatga ega.

Saqlash bunkeri: bu tayyor plastik granulalarni vaqtincha yig‘ish va saqlash uchun mo‘ljallangan maxsus idish hisoblanadi (3-rasm). Saqlash bunkeri metall materiallardan tayyorlanib, katta hajmga ega bo‘ladi. Bunkerning asosiy vazifasi granulalarni tashqi muhit ta’siridan (namlik, chang, ifloslanish) himoya qilish hamda ularni uzluksiz ravishda keyingi bosqich ya’ni qadoqlash tizimiga yetkazib berishdir. Texnologik jihatdan bunkerlar konus shaklida loyihalanadi, bu esa granulalarning erkin oqimini ta’minlab, “tiqilib qolish” holatlarini kamaytiradi.

3-rasm. Polietilen tereftalat granula saqlash bunkeri.

Qadoqlash uskunasi: plastik granulalarni ma’lum og‘irlik yoki hajm bo‘yicha o‘lchab, maxsus qoplarga joylashtirish vazifasini bajaradi. Qadoqlangan granulalar keyinchalik transportirovka va saqlash uchun qulay holga keltiriladi.

Xulosa. Plastik chiqindilar asosida polietilen tereftalat granulalarini ishlab chiqarish texnologiyasi nafaqat sanoat samaradorligini oshiruvchi, balki ekologik muammolarni hal etishga xizmat qiluvchi muhim innovatsion yo‘nalishdir. Ushbu texnologik jarayonning mukammalligi, avvalo, unda qo‘llaniladigan zamonaviy uskunalarning texnik darajasi va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari bilan chambarchas bog‘liqdir. Ishlab chiqarishning barcha bosqichlari - chiqindilarni yig‘ish, saralash, maydalash, yuvish, quritish, eritish, granulyatsiya qilish, saqlash va qadoqlash - o‘zaro uzviy bog‘langan yagona texnologik tizimni tashkil etadi. Ushbu bosqichlarda yuqori samarali uskunalardan foydalanish xomashyoning maksimal darajada qayta ishlanishini, zararli aralashmalarning to‘liq bartaraf etilishini va yakuniy mahsulot sifatining yuqori darajada bo‘lishini ta’minlaydi. Ayniqsa, optik saralash qurilmalari, ko‘p bosqichli yuvish tizimlari va yuqori unumdor ekstruderlar jarayonning asosiy samaradorlik omillaridan biri hisoblanadi. Polietilen tereftalat granulalarini ishlab chiqarish iqtisodiy jihatdan ham samarali hisoblanadi. Chunki u birlamchi xomashyoga bo‘lgan ehtiyojni kamaytiradi, ishlab chiqarish tannarxini pasaytiradi va bozorda raqobatbardosh mahsulot yaratish imkonini beradi. Shu bilan birga, polietilen tereftalat granulalari turli sanoat tarmoqlarida qurilish va boshqa yo‘nalishlarda keng qo‘llanilishi mumkin. Plastik chiqindilarni qayta ishlash asosida polietilen

tereftalat granula ishlab chiqarishda zamonaviy uskunalardan kompleks foydalanish sanoatni ekologik va iqtisodiy jihatdan barqaror rivojlantirishning muhim omili hisoblanadi. Ushbu yo‘nalishni yanada takomillashtirish orqali chiqindisiz texnologiyalarga yaqinlashish va “yashil iqtisodiyot” tamoyillarini amaliyotga keng joriy etish mumkin.

Adabiyotlar

[1]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 04-yanvardagi “Chiqindilarni boshqarish tizimini takomillashtirish va ularning ekologik vaziyatga salbiy ta’sirini kamaytirish bo‘yicha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi PF-5-sonli farmoni.
[2]. https://www.shuliy.com
[3]. X.A. Mamatov, H.S. Solijonov, I.Q. Sharipov, “O‘zbekiston sharoitida plastik chiqindilarni qayta ishlash asosida betonlar uchun ekologik samarali fibra tolalar yaratish” Monografiya. Farg‘ona. Sunrise-Pro, 2026. - 92 b.
[4]. https://shuliyplastic.com/plastic-bottle-recycling-line/
[5]. N.A.Samig‘ov, “Qurilish materiallari va buyumlari”. Darslik. Toshkent: Cho‘lpon nomidagi NMIU 2013.

QURUQ ISSIQ IQLIM SHAROITIDA SUV PURKASH TIZIMI YORDAMIDA BINOLAR MIKROIQLIMINI YAXSHILASH VA ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISH

X.Sh. Nasriddinov

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
(biqxasanboy@gmail.com) tel: +99890 211-65-75,
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Mazkur maqolada quruq issiq iqlim sharoitida binolar mikroiqlimini yaxshilash hamda binolarning energiya samaradorligini oshirish maqsadida forsunkali suv purkash tizimining samaradorligi eksperimental va matematik modellashtirish usullari asosida tajribaviy tadqiqot asosida tadqiq qilingan. Tadqiqot davomida tashqi havo harorati, nisbiy namlik, quyosh radiatsiyasi hamda havo oqimlarining o‘zgarish qonuniyatlari aniqlangan. CFD modellashtirish yordamida suv aerozollarining konvektiv issiqlik almashinuvi jarayonlariga ta’siri baholangan. Tadqiqot natijalari quruq issiq iqlim sharoitida energiya tejamkor binolarni loyihalashda amaliy ahamiyatga ega.*

Kalit so‘zlar: *mikroiqlim, evaporativ sovitish, suv purkash tizimi, energiya samaradorligi, issiqlik almashinuvi, CFD modellashtirish, quyosh radiatsiyasi, konvektiv oqim.*

Аннотация: *В данной статье на основе экспериментальных исследований на основе методов экспериментального и математического моделирования исследована эффективность системы форсуночного орошения с целью улучшения микроклимата зданий и повышения энергоэффективности зданий в условиях сухого жаркого климата. В ходе исследования были определены закономерности изменения температуры наружного воздуха, относительной влажности, солнечной радиации и воздушных потоков. С помощью моделирования CFD оценено влияние водных аэрозолей на процессы конвективного теплообмена. Результаты исследования имеют практическое значение при проектировании энергоэффективных зданий в условиях сухого жаркого климата.*

Ключевые слова: *микроклимат, эвапоративное охлаждение, система распыления воды, энергоэффективность, теплообмен, моделирование CFD, солнечная радиация, конвективный поток.*

Abstract: *This article investigates the effectiveness of the nozzle water spraying system based on experimental and mathematical modeling methods to improve the microclimate of buildings and increase energy efficiency in dry hot climates. During the study, the patterns of changes in outdoor air temperature, relative humidity, solar radiation, and air currents were determined. Using CFD modeling, the influence of water aerosols on convective heat exchange processes was evaluated. The research results are of practical importance for the design of energy-efficient buildings in dry hot climates.*

Keywords: *microclimate, evaporative cooling, water injection system, energy efficiency, heat exchange, CFD modeling, solar radiation, convective flow.*

Kirish.

So‘ngi yillarda jahonda global iqlim o‘zgarishi va urbanizatsiya jarayonlarining jadallashuvi natijasida shahar hududlarida binolarga “issiqlik yuklamasi” kuchayib bormoqda. Ayniqsa quruq

issiq iqlim mintaqalarida yoz mavsumida tashqi havo haroratining yuqori qiymatlarga etishi binolarning ortiqcha qizishiga hamda ichki mikroiqlim ko‘rsatkichlarining me’yordan oshib yomonlashishiga olib kelmoqda. Natijada binolarda sovitish tizimlariga sarflanadigan elektr energiyasi miqdori keskin ortmoqda [9].

Ma’lumki, zamonaviy binolarda energiya sarfining asosiy qismi isitish va sovitish tizimlariga to‘g‘ri keladi. Shu sababli tashqi iqlimni boshqarish orqali binolar miqroiqlimini sovitish uchun elektr xarajatlarini kamaytirish. Suv purkagich tizimini qo‘llash binolarni energiya samaradorligini oshirishning muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi [1].

So‘nggi yillarda evaporativ sovitish texnologiyalaridan foydalanish binolar mikroiqlimni yaxshilashning energiya tejamkor usullaridan biri sifatida keng qo‘llanilmoqda [5]. Suv purkash tizimlarida mayda dispers suv tomchilari atmosfera havosi bilan intensiv issiqlik va massa almashinuvi jarayoniga kirishadi. Natijada suv tomchilarining bug‘lanishi hisobiga yashirin issiqlik yutiladi va tashqi muhit harorati pasayadi [6].

Xorijiy tadqiqotchilar tomonidan evaporativ sovitish tizimlarining mikroiqlimga ta’siri bo‘yicha qator ilmiy tadqiqotlar olib borilgan bo‘lsa-da, quruq issiq iqlim sharoitida binolar oralig‘ida suv purkash tizimlarining energiya samaradorligiga kompleks ta’siri etarlicha o‘rganilmagan [5,8].

Mazkur tadqiqotning maqsadi quruq issiq iqlim sharoitida binolar oralig‘ida qo‘llanilgan forsunkali suv purkash tizimining mikroiqlim va energiya samaradorligiga ta’sirini eksperimental tadqiqotlar hamda CFD matematik modellashtirish asosida baholashdan iborat.

Tadqiqot metodikasi.

Tadqiqot Farg‘ona viloyatining yozgi iqlim sharoitida olib borildi. Tajriba maydoni sifatida Farg‘ona davlat texnika universitetining ko‘p qavatli o‘quv binolari oralig‘i tanlandi. Tadqiqot davomida tashqi mikroiqlim parametrlarining o‘zgarishi eksperimental tadqiqotlar kuzatuvlari asosida va matematik modellashtirish usullari orqali baholandi [11,12].

Eksperimental tajriba tadqiqotlarda quyidagi o‘lchash asboblaridan foydalanildi:

1. Termogigrometr
2. Anemometr
3. Infraqizil termometr
4. Termometr
5. Psixrometr
6. Teplovizor

a) b) d)

1-rasm.Tadqiqot davomida foydalanilgan qurilmalar.
a) UNI-T UTi260B teplovizori; b) HoldPEAK HP-866B anemometri;
d) UNI-T A13T termogigrometr;

Suv purkash tizimi tarkibiga:

1. yuqori bosimli nasos
2. metall va plastik quvurlar
3. forsunkali purkagichlardan foydalanilgan.

Forsunkalar er sathidan 12 m balandlikda joylashtirildi. Suv purkash tizimida hosil bo‘lgan mayda dispers suv tomchilari tashqi muhit havosi bilan o‘zaro issiqlik almashinuvi jarayoniga kirishdi.

Tajriba davomida quyidagi parametrlar o‘lchandi:

- tashqi havo harorati
- havoning nisbiy namligi
- quyosh radiatsiyasi
- havo oqimi tezligi

CFD modellashtirish COMSOL dasturi asosida bajarildi. Hisoblash jarayonida turbulent oqimlarni aniqlash uchun k–ε turbulentlik modeli qo‘llanildi. Hisoblashlarda issiqlik va massa almashinuvi jarayonlari o‘zaro bog‘langan holda tahlil qilindi [8].

Purkalayotgan suv tomchilarining havo oqimi muhitida bug‘lanishi (fazaviy o‘tishi) hisobiga issiqlik muhitidan yutiladigan solishtirma issiqlik miqdori quyidagi termodinamik tenglama orqali aniqlanadi [6]:

$$Q = m \cdot r$$

Bu erda: Q — suv tomchilarining bug‘lanishi uchun atrof-muhitdan yutilgan issiqlik miqdori, [J]; m — to‘liq fazaviy o‘zgarishga uchragan (bug‘langan) suv massasi, [kg];
r — suvning harorat dinamikasiga bog‘liq bo‘lgan yashirin bug‘lanish issiqligi, [J/kg].

Vaqt birligi (dt) ichida tizimdan olib chiqib ketiladigan issiqlik oqimi quvvatini (W, Vattda) va sovitish intensivligini baholash uchun ushbu tenglamani vaqt differensialiga nisbatan quyidagicha ifodalaymiz:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dm}{dt} \cdot r \rightarrow N_b = g_{sm} \cdot r$$

Bu erda $g_{sm} = \frac{dm}{dt}$ — vaqt birligi ichida havoda bug‘lanayotgan suv massasining sarfi, [kg/s]; N_b — bug‘lanish hisobiga tizimning sovutish quvvati, [W]. Hisoblashlarda suvning yashirin bug‘lanish issiqligi (r) muhit haroratining (t) funksiyasi sifatida $r(t) \approx 2500 - 2.36 \cdot t$ [kJ/kg] empirik bog‘liqligi asosida qabul qilindi.

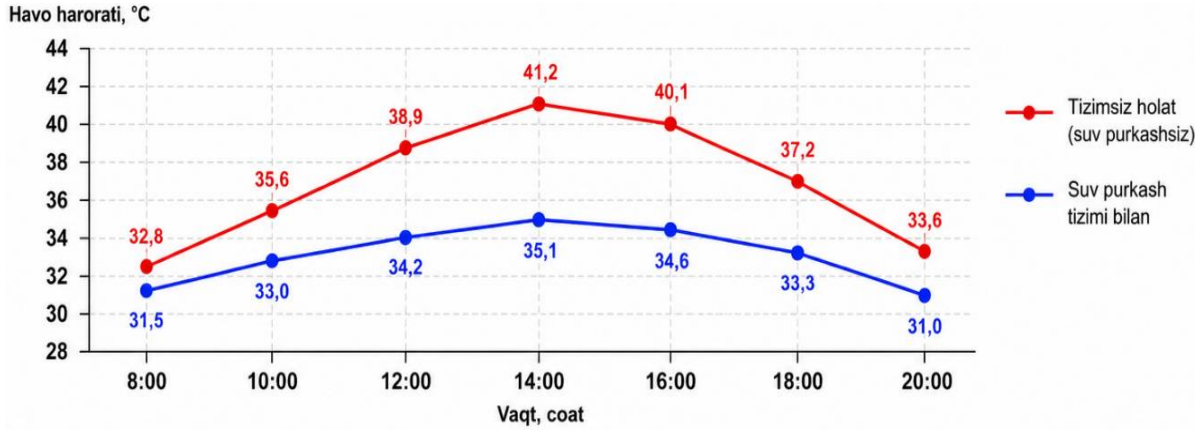
Suv purkash tizimining mikroiqlim parametrlariga ta’siri.

1-jadval

Ko‘rsatkich	Tizimsiz holat	Tizim bilan	O‘zgarish
Havo harorati	41°C	35°C	−6°C
Nisbiy namlik	22%	31%	+9%
Quyosh radiatsiyasi	46.0 W/m²	19.1 W/m²	−57,8%

Tadqiqot natijalari.

Tadqiqot natijalariga ko‘ra, suv purkash tizimi ishlatilganda tashqi muhit haroratining sezilarli pasayishi kuzatildi. Ayniqsa kunning eng issiq vaqtida evaporativ sovitish samaradorligi yuqori bo‘ldi. Suv tomchilarining bug‘lanishi natijasida havodan issiqlik yutilishi sodir bo‘ldi va bu tashqi muhit haroratining kamayishiga olib keldi.



1-rasm. Tashqi havo haroratining o‘zgarishi.

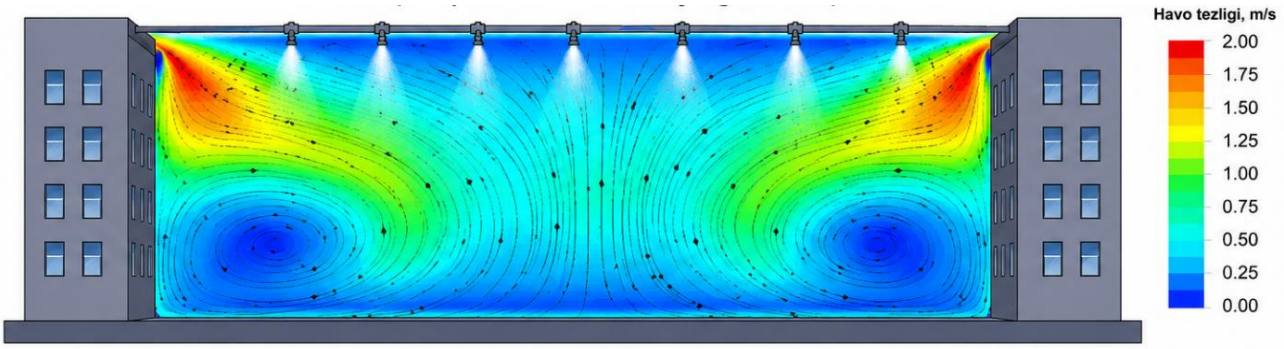
Natijalarga ko‘ra:

- havo harorati 5–6°C gacha kamaydi;
- havoning nisbiy namligi ortdi;
- quyosh radiatsiyasi ta’siri kamaydi.

Quyosh radiatsiyasining 57,8% ga kamayishi suv aerozollarining quyosh nurlanishini qisman yutishi va qaytarishi bilan izohlanadi. Natijada bino yuzalarining qizishi kamaydi hamda sovitish yuklamalari pasaydi [5].

CFD MODELLASHTIRISH NATIJALARI.

CFD modellashtirish natijalari suv purkash jarayonida konvektiv oqimlarning jadallashganini ko‘rsatdi. Modellashtirish davomida suv tomchilarining bug‘lanishi hisobiga havo oqimlari harakatining o‘zgarishi kuzatildi.



2-rasm. CFD modeli asosida havo oqimining taqsimlanishi (suv tizimi ishlayotgan holat).

Modellashtirish natijalariga ko‘ra:

- konvektiv oqimlar jadallashdi;
- issiqlik almashinuvi yaxshilandi;
- sovitish samaradorligi ortdi;
- tashqi mikroiqlim parametrlari barqarorlashdi.

Shuningdek, forsunkalarning joylashuv balandligi va ular orasidagi masofa mikroiqlim samaradorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi.

Muhokama.

Olingan natijalar xorijiy tadqiqotchilar tomonidan olingan natijalar bilan mos keladi. Tadqiqot davomida suv purkash tizimining samaradorligi tashqi havo harorati va havoning nisbiy namligiga bog‘liq ekanligi aniqlandi [5].

Ayniqsa:

- tashqi havo harorati +35 °C dan yuqori;
- havoning nisbiy namligi 30 % dan past bo‘lgan holatlarda evaporativ sovitish samaradorligi yuqori bo‘ldi.

Suv purkash tizimi yordamida tashqi mikroiqlimni boshqarish orqali binolarning sovitish yuklamalarini kamaytirish mumkinligi aniqlandi. Bu esa energiya sarfini kamaytirish hamda binolarning energiya samaradorligini oshirish imkonini beradi [5,9,11,12].

Xulosa.

Quruq issiq iqlim sharoitida forsunkali suv purkash tizimini qo‘llash tashqi mikroiqlim parametrlarini yaxshilashi aniqlandi.

Tadqiqot natijalariga ko‘ra:

- tashqi havo harorati 6 °C gacha pasaydi;
- havoning nisbiy namligi 8–10 % gacha ortdi;
- quyosh radiatsiyasi ta’siri 57,8 % gacha kamaydi;
- konvektiv issiqlik almashinuvi jadallashdi;
- sovitish samaradorligi oshdi.

CFD modellashtirish natijalari eksperimental tadqiqot natijalarini tasdiqladi. Tadqiqot natijalari quruq issiq iqlim sharoitida energiya tejamkor binolarni loyihalashda hamda tashqi mikroiqlimni boshqarish tizimlarini ishlab chiqishda amaliy ahamiyatga ega [1,3].

Adabiyotlar

[1]. Bogoslovskiy V.N. Stroitelnaya teplofizika. Moskva, 2018.
[2]. Fokin K.F. Stroitelnaya teplotexnika ograjdayushix konstruksiy. Moskva, 2016.
[3]. ASHRAE Standard 55-2020. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
[4]. O‘zbekiston Respublikasi QMQ 2.01.04–2018.
[5]. Hong B., Liu A., Su M. Outdoor evaporative cooling systems for urban microclimate improvement // Building and Environment. 2021.
[6]. Isachenko V.P. Teploperedacha. Moskva, Energiya, 1981.
[7]. Awbi H.B. Ventilation of Buildings. London, 2017.
[8]. Chen Q. Ventilation performance prediction for buildings: A method overview and recent applications // Building and Environment. 2009.
[9]. Oke T.R. Boundary Layer Climates. Routledge, 2002.
[10]. Santamouris M. Energy and Climate in the Urban Built Environment
[11]. Kvartira va uy-joylarning havo muhitini sun’iy tartibga solish tizimlari N.X.Shavkatovich
[12]. Spectrum Journal of Innovation, Reforms and Development №9, 169-174
[13]. Nasriddinov Xasan Shavkatovich Establishment of temperature and humidity in apartments and houses with the help of artificial phase artificial regulatory systems Spectrum Journal of Innovation, Reforms and Development №10 Dec., 2022 S 107-114

УДК 532.546 (075.8)

ICHIMLIK SUVI TOZALASH INSHOOTLARIDA RADIAL TINDIRGICHLARNING ISHLASH TAHLILI

V.Sh. Mamatov[1*], S.N. Xoshimov[2], Sh.J. Jetpisbaeva[3]

[1]Farg‘ona davlat texnika universiteti,
[2]Toshkent shahridagi Belarus-O‘zbekiston qo‘shma tarmoqlararo amaliy texnik kvalifikatsiyalar institute,
[3]Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" milliy tadqiqot universiteti.
**Mas’ul muallif, e-mail: vaxidjon.mamatov@mail.ru*

(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Mazkur maqolada ichimlik suvi tozalash inshootlarida qo‘llaniladigan radial tindirgichlarning ishlash samaradorligi va gidravlik xususiyatlari tahlil qilingan. Tadqiqot davomida suv oqimining harakatlanish qonuniyatlari, muallaq zarrachalarning cho‘kish jarayoni hamda tindirgich ichida oqimning taqsimlanish holati o‘rganildi. CFD modellashtirish va gidravlik tahlil usullari asosida turbulent zonalarning hosil bo‘lishi, cho‘kma yig‘ilish jarayonlari va konstruktiv elementlarning tindirish sifatiga ta’siri baҳоланди. Olingan natijalar radial tindirgichlarning optimal ish rejimlarini aniqlash, suvni tindirish samaradorligini oshirish va suv tozalash inshootlarini modernizatsiya qilishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega hisoblanadi.*

Tayanch so‘zlar: *radial tindirgich, ichimlik suvi, suv tozalash inshooti, gidravlik tahlil, CFD modellashtirish, tindirish jarayoni, muallaq zarrachalar, turbulent oqim, cho‘kma hosil bo‘lishi, suv oqimi, gidrodinamika, tindirish samaradorligi.*

Аннотация. *В данной статье проанализированы эффективность работы и гидравлические свойства радиальных отстойников, применяемых на очистных сооружениях питьевой воды. в ходе исследования были изучены закономерности движения потока воды, процесс осаждения взвешенных частиц, а также состояние распределения потока внутри отстойника. на основе методов моделирования cfd и гидравлического анализа оценено влияние образования турбулентных зон, процессов осадконакопления и качества отстаивания конструктивных элементов. полученные результаты имеют важное научно-практическое значение для определения оптимальных режимов работы радиальных отстойников, повышения эффективности отстаивания воды и модернизации водоочистных сооружений.*

Ключевые слова: *радиальный отстойник, питьевая вода, водоочистное сооружение, гидравлический анализ, моделирование CFD, процесс отстаивания, взвешенные частицы, турбулентный поток, образование осадка, поток воды, гидродинамика, эффективность отстаивания.*

Abstract. *This article analyzes the operational efficiency and hydraulic properties of radial settling tanks used in drinking water treatment facilities. During the study, the patterns of water flow movement, the settling process of suspended particles, and the distribution of flow within the settling tank were studied. Based on CFD modeling and hydraulic analysis methods, the formation of turbulent zones, sediment accumulation processes, and the influence of structural elements on settling quality were evaluated. The results obtained are of great scientific and practical importance in determining the optimal operating modes of radial settling tanks, increasing the efficiency of water settling, and modernizing water treatment facilities.*

Keywords: *radial settling tank, drinking water, water treatment plant, hydraulic analysis, CFD modeling, settling process, suspended particles, turbulent flow, sedimentation, water flow, hydrodynamics, settling efficiency.*

1. **Kirish.** Bugungi kunda aholini sifatli ichimlik suvi bilan ta’minlash dunyo miqyosidagi eng dolzarb ekologik va muhandislik muammolaridan biri hisoblanadi. Aholi sonining ortishi, sanoat korxonalarining ko‘payishi hamda suv manbalarining ifloslanishi natijasida suvni samarali tozalash texnologiyalariga bo‘lgan talab tobora ortib bormoqda. Shu sababli ichimlik suvi tozalash inshootlarining texnologik samaradorligini oshirish, energiya tejamkor va zamonaviy qurilmalarni joriy etish muhim аҳамият kasb etadi. Suvni tindirish jarayonida qo‘llaniladigan radial tindirgichlar yuqori unumdorligi, katta hajmdagi suvni uzluksiz tozalash imkoniyati hamda ekspluatatsion qulayligi bilan suv tozalash tizimlarining asosiy inshootlaridan biri hisoblanadi. O‘zbekiston Respublikasida ham suv xo‘jaligi va ichimlik suvi ta’minoti tizimini rivojlantirish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biri sifatida belgilangan. Jumladan, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 25-oktabrdagi PQ–408-sonli “2022-2023-yillarda mahallalar infratuzilmasini yanada yaxshilash bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar” to‘g‘risidagi qarorida ichimlik suvi ta’minoti tizimlarini modernizatsiya qilish, mavjud suv tozalash inshootlarini rekonstruksiya qilish va zamonaviy texnologiyalarni joriy etish vazifalari belgilab berilgan [1]. Shuningdek, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 11-sentabrdagi “O‘zbekiston — 2030” strategiyasi to‘g‘risida PF–158-sonli qarorida suv resurslaridan oqilona foydalanish va suv xo‘jaligi obyektlarining energiya samaradorligini oshirish bo‘yicha muhim vazifalar ko‘rsatib o‘tilgan [2]. Radial tindirgichlarning ishlash samaradorligi asosan suv oqimining gidravlik rejimi, tindirish vaqtining davomiyligi, cho‘kma harakati va konstruktiv elementlarning joylashuviga bog‘liq bo‘ladi. Noto‘g‘ri loyihalangan yoki eskirgan tindirgichlarda oqimning notekis taqsimlanishi, turbulent zonalarning hosil bo‘lishi va cho‘kmalarning qayta aralashishi kuzatiladi. Bu esa suvning loyqaligi va sifat ko‘rsatkichlariga salbiy ta’sir etadi. Shu jihatdan radial tindirgichlarning konstruktiv yechimlarini takomillashtirish hamda ularning gidravlik ish rejimlarini ilmiy asosda tahlil qilish dolzarb masala hisoblanadi.

2. **Adabiyotlar tahlili.** Ichimlik suvi tozalash tizimlarida radial tindirgichlarning samarali ishlashini таminlash bugungi kundagi dolzarb muammolardan biri xisoblanadi. Suv manbalarining turli mexanik va organik aralashmalar bilan ifloslanishi tindirish jarayonining texnologik samaradorligini oshirishni talab etmoqda. Ayniqsa, dastlabki tozalash bosqichida suv tarkibidagi muallaq zarrachalarni samarali ajratib olish keyingi filtratsiya va dezinfeksiya jarayonlarining barqaror ishlashiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli radial tindirgichlarning gidravlik ish rejimlari, konstruktiv yechimlari va oqim taqsimotini ilmiy asosda tahlil qilish muhim ahamiyat kasb etadi. ichimlik suvi tozalash inshootlarida radial tindirgichlarning ishlash tahlili bo‘yicha Elahe Chero., Mohammadamin Torabi., Hamidreza Zahabi., Anahita Ghafoorisadatieh., Keivan Bina., Jayen P. Veerapen, Brian J. Lowry va Michel F. Couturier., Lenin Samuel Marín García., Camilo Andrés Tabares Martínez., Andrés Escobar Díaz., Gabriel Alexandru Constantin., Bianca Stefania Zabava., Gheorghe Voicu., Georgiana Moiceanu., Irina Aura Istrate., Mihaela Nitu va boshqa olimlar tadqiqot ishlarini olib borishgan.

Elahe Chero., Mohammadamin Torabi., Hamidreza Zahabi., Anahita ghafoorisadatieh., Keivan Bina “Aylanma tindirgichning sonli tahlili (Numerical Analysis of the Circular Settling Tank)” nomli tadqiqot ishini olib borishgan. Tadqiqotda tindirgich ichimlik suvi tozalash inshootlarida qo‘llaniladigan radial tindirgichlarning ishlash samaradorligi va gidravlik xususiyatlari tahlil qilingan. Tadqiqot davomida tindirgich ichida suv oqimining harakatlanish qonuniyatlari, muallaq zarrachalarning cho‘kish jarayoni hamda oqimning taqsimlanish holati o‘rganildi. Radial tindirgichlarning konstruktiv tuzilishi, markaziy suv taqsimlash tizimi va cho‘kma yig‘ish mexanizmlarining tindirish sifatiga ta’siri baholandi. Shuningdek, gidravlik rejimlarning o‘zgarishi natijasida hosil bo‘ladigan turbulent zonalar va ularning tindirish samaradorligiga таъсири таҳлил қилинди. Tadqiqot natijalari radial tindirgichlarning optimal ish rejimlarini aniqlash, suvni tindirish sifatini oshirish hamda energiya sarfini kamaytirishga xizmat qiluvchi ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqishga imkon berdi. Olingan natijalar ichimlik suvi tozalash inshootlarini loyihalash va modernizatsiya qilish jarayonlarida samarali qo‘llanishi mumkin. [3].

Jayen P. Veerapen, Brian J. Lowry va Michel F. Couturier “Uyurmali separatorni loyihalash uslubi (Design methodology for the swirl separator)” nomli tadqiqot ishini olib borishgan. Tadqiqotda tindirgich girdobli ajratgich (swirl separator) qurilmalarini samarali loyihalash metodologiyasini ishlab chiqishga bag‘ishlangan. Ushbu qurilmalar suyuqlik tarkibidagi muallaq zarrachalarni ajratishda markazdan qochma kuchlardan foydalanadi va ayniqsa oqova hamda yomg‘ir suvlarini dastlabki tozalash bosqichida keng qo‘llaniladi. Tadqiqotda asosiy e’tibor qurilmaning gidravlik ish rejimi va konstruktiv parametrlariga qaratilgan. Mualliflar oqim tezligi, aylanish intensivligi, qurilmaning diametri va balandligi, shuningdek kirish va chiqish elementlarining joylashuvi kabi omillarning ajratish samaradorligiga ta’sirini chuqur tahlil qilgan. Ayniqsa, oqimning girdobli harakati qanday shakllanishi va bu jarayon zarrachalarning trayektoriyasiga qanday ta’sir ko‘rsatishi muhim ilmiy jihatdan asoslab berilgan. Ish jarayonida nazariy modellash, gidravlik hisoblashlar hamda tajribaviy kuzatuv natijalari o‘zaro solishtirilib, optimal loyihalash tamoyillari ishlab chiqilgan. Natijalarga ko‘ra, oqimning aylanish tezligini me’yorida boshqarish va qurilma geometriyasini to‘g‘ri tanlash zarrachalarning samarali ajralishini ta’minlaydi. Shu bilan birga, noto‘g‘ri loyihalangan qurilmalarda girdoblarning buzilishi yoki ortiqcha turbulensiya yuzaga kelib, ajratish samaradorligi pasayishi mumkinligi aniqlangan. Tadqiqot yakunida taklif etilgan metodologiya amaliy jihatdan muhim bo‘lib, u yuqori samarali, ixcham va energiya tejamkor ajratgichlarni loyihalash imkonini beradi. Ushbu yondashuv suv tozalash inshootlarini modernizatsiya qilishda hamda yangi texnologik tizimlarni ishlab chiqishda qo‘llanishi mumkin [4].

Lenin Samuel Marín García., Camilo Andrés Tabares Martínez., Andrés Escobar Díaz “Oqava suvlarni tozalash inshooti jarayonlarining tahlili, cho‘kish (Analisis of waste water treatment plant processes (wwtp) “sedimentation”) nomli tadqiqot ishini olib borishgan. Tadqiqotda ichimlik suvi tozalash inshootlarida radial tindirgichlarning ishlash jarayoni va tindirish samaradorligi tahlil qilingan. Tadqiqot davomida suv tarkibidagi muallaq zarrachalarning cho‘kish jarayoni, suv oqimining tindirgich bo‘ylab taqsimlanishi hamda gidravlik rejimlarning tindirish sifatiga ta’siri o‘rganildi. Radial tindirgichlarning konstruktiv elementlari, jumladan markaziy taqsimlash qurilmasi, suv chiqarish lotoklari va cho‘kma yig‘ish mexanizmlarining samaradorligi baholandi. Shuningdek, tindirgich ichida hosil bo‘ladigan turbulent oqim zonalari va ularning cho‘kma ajralish jarayoniga ta’siri ilmiy jihatdan tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari asosida tindirish jarayonining barqarorligini oshirish, suv sifatini yaxshilash va inshootlarning ekspluatatsion samaradorligini kuchaytirishga qaratilgan tavsiyalar ishlab chiqildi. Olingan natijalar ichimlik suvi tozalash tizimlarini loyihalash va modernizatsiya qilishda amaliy ahamiyatga ega hisoblanadi [5].

Gabriel Alexandru Constantin., Bianca Stefania Zabava., Gheorghe Voicu., Georgiana Moiceanu., Irina Aura Istrate., Mihaela Nitu “Cfd radial tindirgichda o‘rnatish jarayonining tahlili dekantour radiusi ichidagi dekantour jarayonlarini tahlil qilish (Cfd analysis of the settling process in a radial clarifier analiza cfd a procesului de decantare într-un decantoare radia) nomli tadqiqot ishini olib borishgan. Tadqiqotda ichimlik suvi tozalash inshootlarida qo‘llaniladigan radial

tindirgichlarning ishlash jarayoni gidrodinamik jihatdan tahlil qilingan. Tadqiqot davomida tindirgich ichida suv oqimining harakatlanishi, muallaq zarrachalarning cho‘kish jarayoni hamda oqim tezligining tindirish samaradorligiga ta’siri o‘rganildi. Hisoblash va modellashtirish usullari yordamida radial tindirgichlarda oqimning taqsimlanish holati, turbulent zonalarning hosil bo‘lishi va cho‘kma yig‘ilish jarayonlari baholandi. Shuningdek, tindirgichning konstruktiv elementlari, jumladan markaziy suv taqsimlash qurilmasi, suv chiqarish lotoklari hamda cho‘kma chiqarish mexanizmlarining ishlash samaradorligi tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari radial tindirgichlarning optimal gidravlik rejimlarini aniqlash, tindirish sifatini yaxshilash va suv tozalash tizimlarining ekspluatatsion samaradorligini oshirish imkonini berdi. Olingan ilmiy natijalar ichimlik suvi tozalash inshootlarini modernizatsiya qilish va zamonaviy texnologiyalarni joriy etishda amaliy ahamiyatga ega hisoblanadi [6].

3. Tadqiqot metodologiyasi. Gabriel Alexandru Constantin., Bianca Stefania Zabava., Gheorghe Voicu., Georgiana Moiceanu., Irina Aura Istrate., Mihaela Nitu “Cfd radial tindirgichda o‘rnatish jarayonining tahlili dekantour radiusi ichidagi dekantour jarayonlarini tahlil qilish tadqiqot metodologiyasi.tahlil qilindi. Mazkur tadqiqotda ichimlik suvi tozalash inshootlarida qo‘llaniladigan radial tindirgichlarning ishlash samaradorligini baholash uchun gidravlik va hisoblash modellashtirish usullaridan foydalanildi. Tadqiqotning asosiy maqsadi tindirgich ichida suv oqimining harakatlanish qonuniyatlarini, muallaq zarrachalarning cho‘kish jarayonini hamda oqimning tindirish samaradorligiga ta’sirini aniqlashdan iborat bo‘ldi. Tadqiqot jarayonida radial tindirgichning konstruktiv tuzilishi, geometrik o‘lchamlari va texnologik parametrlari asosida tahliliy model ishlab chiqildi. Suv oqimining markaziy qismdan periferiyaga qarab harakatlanishi, oqim tezligining o‘zgarishi va turbulent zonalarning hosil bo‘lishi hisoblash usullari orqali baholandi. Shuningdek, tindirgich ichida muallaq zarrachalarning cho‘kish tezligi va ularning suv oqimi bilan o‘zaro ta’siri o‘rganildi. Hisoblash jarayonida gidrodinamik modellashtirish tamoyillariga asoslangan CFD (Computational Fluid Dynamics) usullaridan foydalanildi. Model yordamida tindirgich ichidagi suv oqimining tezlik maydoni, bosim taqsimoti va cho‘kma qatlamining shakllanish jarayonlari tahlil qilindi. Olingan natijalar asosida oqimning notekis taqsimlanishi kuzatiladigan hududlar hamda tindirish samaradorligiga salbiy ta’sir etuvchi omillar aniqlandi. Tadqiqot davomida radial tindirgichning kirish va chiqish zonalari, markaziy suv taqsimlash qurilmasi hamda cho‘kma yig‘ish mexanizmlarining ishlash holati alohida baholandi. Shuningdek, turli gidravlik yuklamalar ostida tindirish samaradorligining o‘zgarishi solishtirma tahlil asosida o‘rganildi. Tadqiqot natijalari radial tindirgichlarning optimal ish rejimlarini aniqlash va suvni tindirish sifatini oshirish bo‘yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqishga xizmat qildi [5].

4. **Tahlil va natijalar.** Tadqiqot davomida ichimlik suvi tozalash inshootlarida qo‘llaniladigan radial tindirgichlarning gidravlik ish rejimi va tindirish samaradorligi tahlil qilindi. Hisoblash va modellashtirish natijalari shuni ko‘rsatdiki, tindirgich ichida suv oqimining harakat tezligi markaziy qismdan periferiyaga tomon asta-sekin kamayib boradi. Bu holat muallaq zarrachalarning cho‘kishiga qulay sharoit yaratadi. Biroq ayrim zonalarda oqim tezligining ortishi va turbulent oqimlarning hosil bo‘lishi cho‘kmalarning qayta aralashishiga sabab bo‘lishi aniqlandi.

Tahlillar natijasida radial tindirgichning markaziy suv taqsimlash qurilmasi oqimning bir tekis taqsimlanishida muhim rol o‘ynashi kuzatildi. Suv oqimining notekis kirishi tindirgich ichida aylanish oqimlarini hosil qilib, tindirish samaradorligini pasaytirishi aniqlandi. Ayniqsa, yuqori gidravlik yuklama sharoitida tindirgichning ayrim qismlarida oqim tezligi ortib, cho‘kish jarayoni sekinlashishi kuzatildi.

CFD modellashtirish natijalari asosida tindirgich ichida turbulent zonalar asosan kirish qismi va suv chiqarish lotoklari yaqinida hosil bo‘lishi aniqlandi. Ushbu zonalarda muallaq zarrachalarning cho‘kish tezligi kamayib, suvning loyqaligi oshishi mumkinligi qayd etildi. Shu bilan birga, tindirgich diametrining ortishi va suvning aylanish tezligini me’yoriy darajada ushlab turish tindirish samaradorligini oshirishi kuzatildi.

Tadqiqot davomida cho‘kma yig‘ish mexanizmlarining ishlash samaradorligi ham baholandi. Natijalar cho‘kma yig‘uvchi qurilmalarning muntazam va barqaror ishlashi tindirgich

tubida cho‘kmalarning to‘planib qolishini kamaytirishini ko‘rsatdi. Bu esa inshootning ekspluatatsion ishonchliligini oshirish bilan birga suv sifatining yaxshilanishiga xizmat qiladi.

Olingan natijalarga ko‘ra, radial tindirgichlarning konstruktiv elementlarini takomillashtirish, suv oqimining bir tekis taqsimlanishini таminlash hamda optimal gidravlik rejimlarni tanlash orqali tindirish samaradorligini sezilarli darajada oshirish mumkinligi aniqlandi. Tadqiqot natijalari ichimlik suvi tozalash inshootlarini modernizatsiya qilish va energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega hisoblanadi [5].

Xulosa. Tahlil qilingan ilmiy maqolalar radial tindirgichlar va aylana tindirish inshootlarida suv oqimining gidravlik xususiyatlarini chuqur o‘rganishga qaratilganligi bilan ahamiyatli hisoblanadi [6]. Tadqiqotlarda tindirish jarayonining samaradorligi asosan suv oqimining taqsimlanishi, muallaq zarrachalarning cho‘kish tezligi hamda tindirgichning konstruktiv tuzilishiga bog‘liq ekanligi aniqlangan [7]. Ayniqsa, CFD modellashtirish usullaridan foydalanish tindirgich ichida hosil bo‘ladigan turbulent zonalarni aniqlash va oqim harakatini vizual baholash imkonini bergan. Elahe Chero va hammualliflar tomonidan olib borilgan tadqiqotda aylana tindirgich ichidagi suv oqimining gidrodinamik holati sonli modellashtirish asosida tahlil qilinib, oqim tezligining notekis taqsimlanishi tindirish samaradorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi qayd etilgan. Lenin Samuel Marín García va hammualliflarning tadqiqotida esa tindirish jarayoni oqava suvlarni tozalashning asosiy bosqichlaridan biri sifatida baholanib, cho‘kma hosil bo‘lishining texnologik ahamiyati yoritilgan. Gabriel Alexandru Constantin va hammualliflar tomonidan bajarilgan CFD tahlillari radial tindirgichlarda oqimning aylanish xarakteri, turbulent zonalar va cho‘kma qatlamining shakllanish jarayonlarini aniq baholash imkonini ko‘rsatib berdi. Olib borilgan tahlillar natijasida radial tindirgichlarning samarali ishlashi uchun suv oqimining bir tekis taqsimlanishini ta’minlash, markaziy suv taqsimlash qurilmalarini takomillashtirish hamda optimal gidravlik rejimlarni tanlash muhimligi aniqlandi [8]. Shuningdek, zamonaviy modellashtirish usullaridan foydalanish tindirish jarayonini optimallashtirish, energiya sarfini kamaytirish va suv tozalash inshootlarining ekspluatatsion samaradorligini oshirish imkonini berishi asoslab berildi [9]. Shu sababli radial tindirgichlarning konstruktiv va gidravlik parametrlarini chuqur tadqiq etish ichimlik suvi tozalash tizimlarini modernizatsiya qilishning muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

Adabiyotlar

[1]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 25-oktabrdagi “2022-2023-yillarda mahallalar infratuzilmasini yanada yaxshilash bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar” to‘g‘risidagi PQ–408-sonli qarori (Qonunchilik ma’lumotlari milliy bazasi, 25.10.2022-y., 07/22/408/0954-son)

[2]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 11.09.2023 yildagi “O‘zbekiston — 2030” strategiyasi to‘g‘risida PF-158-son qaori (Qonunchilik ma’lumotlari milliy bazasi, 12.09.2023-y., 06/23/158/0694-son; 29.12.2023-y., 06/23/214/0984-son; 21.03.2025-y., 06/25/51/0261-son; 26.03.2025-y., 06/25/56/0274-son; 22.12.2025-y., 06/25/254/1195-son;

[3]. Elahe Chero., Mohammadamin Torabi., Hamidreza Zahabi., Anahita ghafoorisadatieh., Keivan Bina. // Numerical Analysis of the Circular Settling Tank. // https://dwes.copernicus.org/preprints/dwes-2019-6/dwes-2019-6-manuscript-version5.pdf

[4]. Lenin Samuel Marín García., Camilo Andrés Tabares Martínez., Andrés Escobar Díaz. //Analisis of waste water treatment plant processes (wwtp) “sedimentation”. Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Technological Faculty. // https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8083023.pdf

[5]. Gabriel Alexandru Constantin., Bianca Stefania Zabava., Gheorghe Voicu., Georgiana Moiceanu., Irina Aura Istrate., Mihaela NITU. // Cfd analysis of the settling process in a radial clarifier analiza cfd a procesului de decantare într-un decantoare radia. // Vol. 70, No. 2 / 2023 INMATEH - Agricultural Engineering

[6]. Самиев Л.,Оқимдаги чўкинди заррачаларни фракциялар бўйича бошқаришнинг аҳамияти// Тошкент, “Агро илм” журнали, 2011. 58-59 б.

[7]. Бобохўжаев И. И.,Узоқов П. У.Тупроқшунослик Т.,Уқитувчи, 1995 й.–321 б.

[8]. Samiev, L., Shaymardanov, S., Xoshimov, S., Mamadiyorov, O. Dynamics of sediment formation in natural lakes and reservoirs E3S Web of Conferences, 2023, 452, 02019

[9]. Samiev, L., Vokhidova, U., Tursunova, E., ... Babajanov, F., Shaymardonov, S. Analysis of the causes of silting of natural channels E3S Web of Conferences, 2024, 508, 07006.

УДК 532.546 (075.8)

RADIAL TINDIRGICHLARDA OQIZIQ ZARRACHALARNING CHO‘KISH JARAYONINI TAKOMILLASHTIRISH TAHLILLARI

I.O. Umiriddinov[1*], S.N. Xoshimov[2], Sh.J. Jetpisbaeva[3]

[1]*Farg‘ona davlat texnika universiteti,*
[2]*Toshkent shahridagi Belarus-O‘zbekiston qo‘shma tarmoqlararo amaliy texnik kvalifikatsiyalar instituti,*
[3] *Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" milliy tadqiqot universiteti.*
**Mas’ul muallif, e-mail: umirdinov93i@gmail.com*
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada radial tindirgichlarda oqiziq zarrachalarning cho‘kish jarayonini takomillashtirish masalalari o‘rganilgan. Tadqiqot davomida zarrachalar konsentratsiyasi, oqim tezligi va zarracha o‘lchamining tindirish samaradorligiga ta’siri tahlil qilindi. Eksperimental va hisobiy usullar asosida olingan natijalar radial tindirgichlarda optimal gidravlik sharoitlarni tanlash muhim ekanligini ko‘rsatdi. Shuningdek, oqimni bir tekis taqsimlash va koagulyatsiya jarayonini samarali tashkil etish orqali cho‘kish jarayonini yaxshilash mumkinligi aniqlandi. Olingan natijalar suv tozalash inshootlarining samaradorligini oshirish hamda ularni modernizatsiya qilishda amaliy ahamiyatga ega.*

Tayanch so‘zlar: *radial tindirgich, cho‘kish jarayoni, oqiziq zarrachalar, gidravlik rejim, tindirish samaradorligi, zarracha o‘lchami, oqim tezligi, konsentratsiya, og‘ir metallar, suv tozalash, modellashtirish, optimallashtirish, ikki bo‘limli tindirgich, gidravlik hisob, suv sifatini yaxshilash.*

Аннотация. *В данной статье рассматриваются вопросы совершенствования седиментации осадочных частиц в радиальных отстойниках. в ходе исследования было проанализировано влияние концентрации частиц, скорости потока и размера частиц на эффективность осаждения. результаты, полученные экспериментальными и вычислительными методами, показали важность выбора оптимальных гидравлических условий в радиальных отстойниках. улучшение процесса осаждения за счет равномерного распределения потока и эффективной организации процесса коагуляции.*

Ключевые слова: *радиальный отстойник, процесс седиментации, осадочные частицы, гидравлический режим, эффективность осаждения, размер частиц, расход, концентрация, тяжелые металлы, очистка воды, моделирование, оптимизация, двухсекционный отстойник, гидравлический расчет, улучшение качества воды.*

Abstract. *This article examines the issues of improving the sedimentation of sedimentary particles in radial settling tanks. During the study, the influence of particle concentration, flow velocity, and particle size on settling efficiency was analyzed. The results obtained through experimental and computational methods showed the importance of selecting optimal hydraulic conditions in radial settling tanks. Improving the precipitation process through uniform flow distribution and the effective organization of the coagulation process.*

Keywords: *radial settling tank, sedimentation process, sedimentary particles, hydraulic regime, settling efficiency, particle size, flow rate, concentration, heavy metals, water purification, modeling, optimization, two-section settling tank, hydraulic calculation, water quality improvement.*

1. **Kirish.** Hozirgi davrda ichimlik suvi bilan ta’minlash tizimlarini barqaror rivojlantirish va suv resurslaridan samarali foydalanish masalalari muhim strategik ahamiyat kasb etmoqda. Aholi sonining o‘sishi, urbanizatsiya jarayonlarining jadallashuvi hamda sanoat va qishloq xo‘jaligining kengayishi suv manbalariga tushayotgan antropogen yuklamani oshirmoqda. Natijada tabiiy suvlarning sifati yomonlashib, ularni tozalash texnologiyalarini yanada takomillashtirish zarurati yuzaga kelmoqda. Shu nuqtai nazardan, suv tozalash inshootlarining ishonchli va samarali ishlashini ta’minlash dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Mamlakatimizda ushbu yo‘nalishda tizimli islohotlar amalga oshirilmoqda. Xususan, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 24.10.2023-yildagi “Ichimlik suv ta’minoti va oqova suv tizimini yanada takomillashtirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar” tog’risidagi PQ-343-sonli qarorida suv ta’minoti va kanalizatsiya tizimlarini modernizatsiya qilish, mavjud inshootlarni rekonstruksiya qilish va energiya tejamkor

texnologiyalarni keng qo‘llash zarurligi alohida ta’kidlangan [1]. Ushbu me’yoriy hujjatlar suv tozalash inshootlarining texnik darajasini oshirish va ularning samaradorligini kuchaytirishni talab etadi. Suvni tozalash jarayonida tindirish bosqichi muhim ahamiyatga ega bo‘lib, ayniqsa radial tindirgichlar keng qo‘llaniladi. Ushbu inshootlar suv tarkibidagi oqiziq zarrachalarni tortish kuchi ta’sirida cho‘ktirish orqali dastlabki tozalashni amalga oshiradi. Ularning samarali ishlashi keyingi texnologik bosqichlarning barqarorligini ta’minlaydi. Biroq amaliyotda radial tindirgichlarning ishlashida ayrim kamchiliklar kuzatiladi. Jumladan, oqimlarning notekis taqsimlanishi, lokal girdoblarning hosil bo‘lishi, ortiqcha gidravlik yo‘qotishlar va zarrachalarning to‘liq cho‘kmasligi kabi holatlar uchraydi. Bu esa tindirish samaradorligining pasayishiga va filtratsiya jarayoniga qo‘shimcha yuk tushishiga olib keladi. Shu sababli radial tindirgichlarda oqiziq zarrachalarning cho‘kish jarayonini chuqur o‘rganish, unga ta’sir etuvchi gidravlik va fizik omillarni aniqlash hamda mavjud tizimlarni takomillashtirish muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega. Ushbu yo‘nalishda olib boriladigan tadqiqotlar suv tozalash inshootlarining samaradorligini oshirish, energiya sarfini kamaytirish va ichimlik suvi sifatini yaxshilashga xizmat qiladi.

2. **Adabiyotlar tahlili.** Radial tindirgichlar sohasida olib borilayotgan ilmiy tadqiqotlarning dolzarb yo‘nalishlaridan biri suv tarkibidagi oqiziq zarrachalarni samarali cho‘ktirishni ta’minlash, energiya tejamkor, yuqori samarador va kam xarajat talab qiladigan texnologik yechimlarni ishlab chiqish hisoblanadi. Ayniqsa, suvni dastlabki tozalash bosqichida tindirish jarayonining sifati keyingi filtratsiya va dezinfeksiya jarayonlariga bevosita ta’sir ko‘rsatadi.

Shu nuqtai nazardan, radial tindirgichlarda qo‘llaniladigan kimyoviy reagentlar va ularning suv muhitidagi dispers tizimga ta’sirini o‘rganish muhim ahamiyatga ega. Xususan, koagulyant va flokulyantlarning suvning fizik-kimyoviy xossalariga, jumladan, zarrachalarning agregatsiyalanish darajasi va cho‘kish tezligiga ta’siri tadqiqotlarning asosiy yo‘nalishlaridan biridir. Radial tindirgichlarda zarrachalarning agregatsiyalanish darajasi va cho‘kish tezligiga ta’siri bo‘yicha Yingxia Li, Joo-Hyon Kang ., Sim-Lin Lau., Jayen P. Veerapen, Brian J. Lowry va Michel F. Couturier., Abdumalik Rizaev, Dilshod Khushvaktov, Umarkhodzha Bakhramov, Gulchehra Rikhsihodzhaeva., Uchkun Umarov va boshqa olimlar tadqiqot ishlarini olib borishgan.

Yingxia Li, Joo-Hyon Kang va Sim-Lin Lau “Tindirgich konstruksiyasini optimallashtirish zarrachalar va metallarni yo‘q qilish (Optimization of Settling Tank Design to Remove Particles and Metals)” nomli tadqiqot ishini olib borishgan. Tadqiqotda tindirgich (settling tank) konstruksiyasini takomillashtirish orqali suv tarkibidagi muallaq zarrachalar hamda metall ionlarini samarali ajratib olish masalasi o‘rganilgan. Tadqiqotda tindirish jarayonining samaradorligi asosan gidravlik sharoitlar, inshoot geometriyasi va oqimning taqsimlanish xususiyatlariga bog‘liqligi asoslab berilgan.

Ish davomida tindirgichning asosiy parametrlaridan bo‘lgan suvning ushlanish vaqti, kirish va chiqish qurilmalarining joylashuvi, oqim tezligi kabi omillar tizimli ravishda tahlil qilingan. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, ushbu parametrlarni to‘g‘ri tanlash zarrachalarning cho‘kish jarayonini yaxshilaydi va metallarning suvdan ajralib chiqish darajasini sezilarli oshiradi.

Shuningdek, maqolada oqimni bir maromda taqsimlash va girdob zonalarini kamaytirish orqali tindirgichning umumiy samaradorligini oshirish mumkinligi ko‘rsatib o‘tilgan. Olingan natijalar suv tozalash inshootlarini loyihalash va modernizatsiya qilishda amaliy ahamiyatga ega bo‘lib, energiya va resurslarni tejashga xizmat qiladi [2].

Jayen P. Veerapen, Brian J. Lowry va Michel F. Couturier “Uyurmali separatorni loyihalash uslubi (Design methodology for the swirl separator)” nomli tadqiqot ishini olib borishgan. Tadqiqotda tindirgich girdobli ajratgich (swirl separator) qurilmalarini samarali loyihalash metodologiyasini ishlab chiqishga bag‘ishlangan. Ushbu qurilmalar suyuqlik tarkibidagi muallaq zarrachalarni ajratishda markazdan qochma kuchlardan foydalanadi va ayniqsa oqova hamda yomg‘ir suvlarini dastlabki tozalash bosqichida keng qo‘llaniladi.

Tadqiqotda asosiy e’tibor qurilmaning gidravlik ish rejimi va konstruktiv parametrlariga qaratilgan. Mualliflar oqim tezligi, aylanish intensivligi, qurilmaning diametri va balandligi, shuningdek kirish va chiqish elementlarining joylashuvi kabi omillarning ajratish samaradorligiga ta’sirini chuqur tahlil qilgan. Ayniqsa, oqimning girdobli harakati qanday shakllanishi va bu jarayon

zarrachalarning trayektoriyasiga qanday ta’sir ko‘rsatishi muhim ilmiy jihatdan asoslab berilgan. Ish jarayonida nazariy modellash, gidravlik hisoblashlar hamda tajribaviy kuzatuv natijalari o‘zaro solishtirilib, optimal loyihalash tamoyillari ishlab chiqilgan. Natijalarga ko‘ra, oqimning aylanish tezligini me’yorida boshqarish va qurilma geometriyasini to‘g‘ri tanlash zarrachalarning samarali ajralishini ta’minlaydi. Shu bilan birga, noto‘g‘ri loyihalangan qurilmalarda girdoblarning buzilishi yoki ortiqcha turbulensiya yuzaga kelib, ajratish samaradorligi pasayishi mumkinligi aniqlangan.

Tadqiqot yakunida taklif etilgan metodologiya amaliy jihatdan muhim bo‘lib, u yuqori samarali, ixcham va energiya tejamkor ajratgichlarni loyihalash imkonini beradi. Ushbu yondashuv suv tozalash inshootlarini modernizatsiya qilishda hamda yangi texnologik tizimlarni ishlab chiqishda qo‘llanishi mumkin [3].

Abdumalik Rizaev, Dilshod Khushvaktov, Umarkhodzha Bakhramov, Gulchehra Rikhsihodzhaeva va Uchkun Umarov “Oqova suvlar uchun gorizontal cho‘ktirish havzalarida muallak qattiq jismlarning cho‘ktirilish jarayonini o‘rganish (Study of the sedimentation process of suspended solids in horizontal sedimentation tanks for wastewater) nomli tadqiqot ishini olib borishgan. Tadqiqotda oqova suvlarni tozalashda qo‘llaniladigan gorizontal tindirgichlarda muallaq zarrachalarning cho‘kish jarayonini o‘rganishga bag‘ishlangan.

Tadqiqotda asosiy e’tibor tindirish jarayonining samaradorligiga ta’sir etuvchi gidravlik omillarni aniqlashga qaratilgan. Jumladan, suv oqimining tezligi, tindirgichning uzunligi va chuqurligi, zarrachalarning o‘lchami hamda konsentratsiyasi kabi ko‘rsatkichlarning o‘zaro bog‘liqligi tahlil qilingan. Mualliflar tomonidan cho‘kish jarayonining nazariy asoslari hamda amaliy kuzatuv natijalari birgalikda o‘rganilib, jarayonning real sharoitdagi xususiyatlari yoritib berilgan.

Natijalar shuni ko‘rsatadiki, gorizontal tindirgichlarda oqimning bir tekis taqsimlanishi va optimal gidravlik rejimni ta’minlash zarrachalarning samarali cho‘kishini sezilarli darajada yaxshilaydi. Aksincha, oqimning notekisligi va ortiqcha turbulensiya zarrachalarning qayta ko‘tarilishiga olib kelib, tindirish samaradorligini pasaytiradi.

Shuningdek, tadqiqotda tindirgichlarning konstruktiv parametrlarini to‘g‘ri tanlash va ularni ekspluatatsiya sharoitlariga moslashtirish orqali tozalash samaradorligini oshirish mumkinligi asoslab berilgan. Olingan natijalar oqova suvlarni tozalash inshootlarini loyihalash va modernizatsiya qilishda muhim amaliy ahamiyatga ega bo‘lib, ularning ishonchliligi va samaradorligini oshirishga xizmat qiladi [4].

O. R. Karataev va E. S. Karataeva “Zarrachalarning tanlov konsentratsiyasiga asoslangan mexanik filtrlash suvni tozalashning innovatsion usuli sifatida (Mechanical filtration, based on elective concentration of particles, as an innovative method of water treatment) nomli tadqiqot ishini olib borishgan. Tadqiqotda suvni tozalashning innovatsion usullaridan biri sifatida selektiv konsentratsiyaga asoslangan mexanik filtrlash jarayonini o‘rganishga bag‘ishlangan. Ushbu yondashuvda suv tarkibidagi zarrachalar ularning fizik xususiyatlari, o‘lchami va zichligiga qarab ma’lum sharoitlarda ajratilib, yuqori samaradorlik bilan ushlab qolinadi.

Tadqiqotda mexanik filtrlash jarayonining nazariy asoslari hamda uning amaliy qo‘llanilishi batafsil tahlil qilingan. Mualliflar filtratsiya jarayonida zarrachalarning harakati, ularning to‘planishi va qatlam hosil qilishi kabi jarayonlarni chuqur o‘rganib, selektiv ajratish mexanizmini izohlab berganlar. Shuningdek, suv oqimining tezligi, filtr materialining xossalari va zarracha konsentratsiyasi kabi omillarning filtratsiya samaradorligiga ta’siri aniqlangan.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, selektiv konsentratsiyaga asoslangan mexanik filtrlash an’anaviy usullarga nisbatan samaraliroq bo‘lib, suv tarkibidagi mayda dispers zarrachalarni ham samarali ushlab qolish imkonini beradi. Bundan tashqari, ushbu usul energiya sarfini kamaytirish va filtratsiya tizimlarining ish unumdorligini oshirishga xizmat qiladi.

Tadqiqot yakunida taklif etilgan yondashuv suv tozalash inshootlarini modernizatsiya qilishda, ayniqsa ichimlik va oqova suvlarni tozalash jarayonlarida qo‘llash uchun istiqbolli yechim sifatida baholanadi [5].

3. Tadqiqot metodologiyasi. Mazkur tadqiqot ishida radial tindirgichlarda oqiziq zarrachalarning cho‘kish jarayonini takomillashtirish maqsadida bir nechta ilmiy-uslubiy

yondashuvlar qo‘llanildi. Asosiy e’tibor tindirish samaradorligiga ta’sir etuvchi gidravlik va fizik omillarni aniqlash hamda ularni optimallashtirishga qaratildi. Birinchi metod sifatida eksperimental tadqiqot usuli qo‘llanildi. Ushbu usul doirasida laboratoriya sharoitida suv tarkibidagi muallaq zarrachalarning cho‘kish jarayoni modellashtirildi. Tajribalar davomida suvning loyqaligi (konsentratsiya), harorati, zarracha o‘lchami hamda oqim tezligi kabi asosiy parametrlar o‘zgartirilib, ularning cho‘kish tezligiga ta’siri o‘rganildi. Har bir tajriba natijasida zarrachalarning cho‘kish vaqti, suvning tiniqlashish darajasi va cho‘kma miqdori aniqlanib, olingan ma’lumotlar statistik usullar yordamida qayta ishlanib tahlil qilindi. Ikkinchi metod sifatida gidravlik hisoblash va modellashtirish usulidan foydalanildi. Ushbu yondashuvda radial tindirgich ichidagi oqim harakati, tezlik maydoni va zarrachalarning trayektoriyasi nazariy tenglamalar asosida baholandi. Shuningdek, oqimning bir tekis taqsimlanishi, girdob zonalarining hosil bo‘lishi va gidravlik yo‘qotishlar aniqlanib, ularning tindirish samaradorligiga ta’siri o‘rganildi. Hisoblash natijalari orqali tindirgichning optimal geometrik va texnologik parametrlarini tanlash imkoniyati yaratildi.

4. **Tahlil va natijalar.** Olib borilgan tajriba-sinov va hisoblash ishlari natijasida radial tindirgichlarda oqiziq zarrachalarning cho‘kish jarayoniga ta’sir etuvchi asosiy omillar chuqur tahlil qilindi. Tadqiqot davomida suv tarkibidagi zarrachalar konsentratsiyasi, oqim tezligi, zarracha o‘lchami hamda suv harorati kabi parametrlarning tindirish samaradorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, zarrachalar konsentratsiyasi ortishi bilan aralashmaning zichligi oshadi va bu holat cho‘kish jarayonining tezlashishiga ma’lum darajada ijobiy ta’sir ko‘rsatadi. Biroq juda yuqori konsentratsiyalarda zarrachalar o‘zaro to‘qnashib, agregatsiyalanish jarayoni murakkablashadi va natijada cho‘kish tezligi kamayishi mumkin.

Oqim tezligi ham muhim omillardan biri bo‘lib, optimal qiymatdan yuqori tezliklarda tindirgich ichida girdoblar hosil bo‘lishi kuzatildi. Bu esa cho‘kkan zarrachalarning qayta ko‘tarilishiga olib kelib, umumiy samaradorlikni pasaytiradi. Aksincha, me’yoriy va barqaror oqim rejimida zarrachalar bir tekis cho‘kib, tindirish jarayoni samarali kechadi. Zarracha o‘lchami tahlili shuni ko‘rsatdiki, yirik dispers zarrachalar tezroq cho‘kadi, mayda dispers zarrachalar esa uzoqroq vaqt talab qiladi. Shu sababli koagulyatsiya va flokulyatsiya jarayonlarini to‘g‘ri tashkil etish zarrachalarni yiriklashtirib, tindirish samaradorligini oshiradi. Tajriba natijalari asosida radial tindirgichning gidravlik parametrlarini optimallashtirish orqali samaradorlikni oshirish mumkinligi aniqlandi. Jumladan, oqimni teng taqsimlash, kirish va chiqish qurilmalarini takomillashtirish hamda gidravlik yo‘qotishlarni kamaytirish orqali tindirish samaradorligi sezilarli darajada yaxshilanishi kuzatildi. Umuman olganda, olib borilgan tadqiqotlar radial tindirgichlarda oqiziq zarrachalarning cho‘kish jarayonini boshqarish va takomillashtirish imkoniyatlarini ochib berdi hamda suv tozalash inshootlarining samarali ishlashini ta’minlash uchun ilmiy asoslangan xulosalar olish imkonini yaratdi.

Xulosa. Olib borilgan tadqiqotlar natijasida radial tindirgichlarda oqiziq zarrachalarning cho‘kish jarayoniga gidravlik va fizik omillar sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi [6]. Ayniqsa, oqim tezligi, zarracha o‘lchami va konsentratsiyasi tindirish samaradorligini belgilovchi asosiy ko‘rsatkichlar ekanligi isbotlandi [7].

Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, optimal gidravlik rejim ta’minlanganda zarrachalar barqaror cho‘kadi va tindirish samaradorligi oshadi. Oqimning notekis taqsimlanishi va ortiqcha turbulensiya esa jarayonni salbiy tomonga o‘zgartiradi [8].

Shuningdek, koagulyatsiya jarayonini to‘g‘ri tashkil etish orqali mayda zarrachalarni yiriklashtirish va ularning cho‘kish tezligini oshirish mumkinligi aniqlanib, bu tindirgich samaradorligini oshirishda muhim omil ekanligi asoslandi [9].

Natijada radial tindirgichlarning konstruktiv va gidravlik parametrlarini optimallashtirish orqali suvni dastlabki tozalash samaradorligini sezilarli darajada yaxshilash mumkinligi ilmiy jihatdan asoslab berildi.

Adabiyotlar

[1]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 24.10.2023-yildagi “Ichimlik suv ta’minoti va oqova suv tizimini yanada takomillashtirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar” tog’risidagi PQ-343-sonli (Qonunchilik ma’lumotlari milliy bazasi, 31.10.2023-y., 07/23/343/0812-son; 30.12.2024-y., 07/24/455/1092-son)

[2]. Yingxia Li, Joo-Hyon Kang va Sim-Lin Lau. // Optimization of Settling Tank Design to Remove Particles and Metals" . // Journal of environmental engineering. // Discussion open until April 1, 2009. Separate discussions must be submitted for individual papers. The manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on March 5, 2007; approved on March 18, 2008.
[3]. Jayen P. Veerapen, Brian J. Lowry va Michel F. Couturier. // Design methodology for the swirl separator Aquacultural Engineering. // Department of Chemical Engineering, University of New Brunswick, P.O. Box 4400, 15 Dineen Drive, Fredericton, NB, Canada E3B 5A3 Received 31 May 2004; accepted 1 November 2004 https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/74751/1/ersps_2018_133.pdf
[4]. Abdumalik Rizaev, Dilshod Khushvaktov, Umarkhodzha Bakhramov, Gulchehra Rikhsihodzhaeva., Uchkun Umarov. // Study of the sedimentation process of suspended solids in horizontal sedimentation tanks for wastewater. // CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE DOI - 10.32743/UniTech.2023.108.3.15138
[5]. O. R. Karataev va E. S. Karataeva. // Mechanical filtration, based on elective concentration of particles, as an innovative method of water treatment. // IETEM IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 412 (2018) 012030 doi:10.1088/1757-899X/412/1/012030
[6]. Самиев Л.,Оқимдаги чўкинди заррачаларни фракциялар бўйича бошқаришнинг аҳамияти// Тошкент, "Агро илм" журнали, 2011. 58-59 б.
[7]. Бобохўжаев И. И.,Узоқов П. У.Тупроқшунослик Т.,Уқитувчи, 1995 й.–321 б.
[8]. Samiev, L., Shaymardanov, S., Xoshimov, S., Mamadiyorov, O. Dynamics of sediment formation in natural lakes and reservoirs E3S Web of Conferences, 2023, 452, 02019
[9]. Samiev, L., Vokhidova, U., Tursunova, E., ... Babajanov, F., Shaymardonov, S. Analysis of the causes of silting of natural channels E3S Web of Conferences, 2024, 508, 07006.

SUG'ORILADIGAN YERLARNING MELIORATIV HOLATINI INNOVATSION TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA AGROEKOLOGIK BAHOLASH

M.A. Abdukadirova*, M.M. Ergasheva

Farg'ona davlat texnika universiteti
**Mas'ul muallif, e-mail: muharramabdukadyrova@gmail.com*
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Maqolada sug'oriladigan yerlarning meliorativ holatini agroekologik baholashda masofadan zondlash, GIS, IoT-datchiklar, dron monitoringi va raqamli tuproq xaritalarini integratsiyalashning ilmiy-amaliy asoslari yoritilgan. Jahon tajribasi hamda FAO va Jahon banki ma'lumotlari asosida tuproq sho'rlanishi, grunt suvlari, vegetatsiya stressi, irrigatsiya-drenaj samaradorligi va suv resurslaridan foydalanish holati tizimli tahlil qilindi. Natijada sug'oriladigan yerlar uchun meliorativ-agroekologik xavf indeksi (MAKI) hamda uni GIS muhitida xaritalashga yo'naltirilgan takomillashtirilgan baholash yondashuvi taklif etildi.*

Kalit so'zlar: *sug'oriladigan yerlar, meliorativ holat, agroekologik baholash, tuproq sho'rlanishi, GIS, masofadan zondlash, NDVI, NDMI, drenaj, IoT.*

Аннотация*. В статье рассматриваются научные и практические основы интеграции дистанционного зондирования, ГИС, датчиков IoT, мониторинга с помощью дронов и цифровых почвенных карт в агроэкологическую оценку состояния восстановления орошаемых земель. На основе мирового опыта и данных ФАО и Всемирного банка проведен систематический анализ засоленности почв, грунтовых вод, стресса растительности, эффективности орошения-дренажа и использования водных ресурсов. В результате был предложен усовершенствованный подход к оценке индекса агроэкологического риска рекультивации (MAKI) для орошаемых земель и его картированию в среде ГИС.*

Ключевые слова: *орошаемые земли, состояние рекультивации, агроэкологическая оценка, засоление почвы, ГИС, дистанционное зондирование, NDVI, NDMI, дренаж, IoT.*

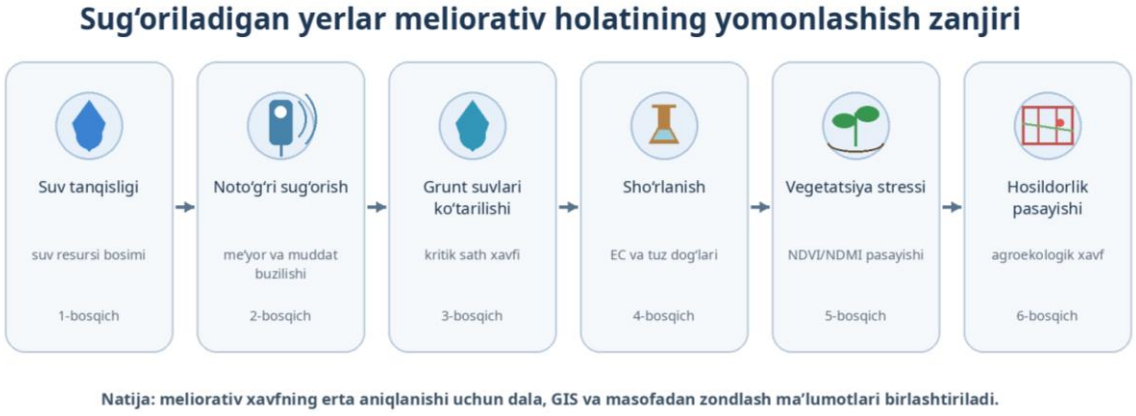
Abstract. *The article covers the scientific and practical foundations of integrating remote sensing, GIS, IoT sensors, drone monitoring and digital soil maps in the agroecological assessment of the reclamation state of irrigated lands. Based on world experience and data from FAO and the World Bank, a systematic analysis of soil salinity, groundwater, vegetation stress, irrigation-drainage efficiency and water resource use was carried out. As a result, an improved assessment approach was proposed for the reclamation-agroecological risk index (MAKI) for irrigated lands and its mapping in a GIS environment.*

Keywords: *irrigated land, reclamation status, agroecological assessment, soil salinity, GIS, remote sensing, NDVI, NDMI, drainage, IoT.*

Kirish

Sug‘oriladigan yerlar qishloq xo‘jaligi ishlab chiqarishining eng yuqori mahsuldor resurslaridan biri bo‘lib, ayniqsa arid va yarim arid mintaqalarda oziq-ovqat xavfsizligini ta’minlashda strategik ahamiyatga ega. FAO ma’lumotlariga ko‘ra, sug‘oriladigan dehqonchilik global ekin maydonlarining taxminan 20 foizida joylashgan bo‘lsa-da, dunyo oziq-ovqat ishlab chiqarishining qariyb 40 foizini ta’minlaydi [1]. Shu bilan birga, noto‘g‘ri sug‘orish, kollektor-drenaj tizimlarining eskirishi, grunt suvlari sathining ko‘tarilishi va tuproq sho‘rlanishi sug‘oriladigan agrolandshaftlarning meliorativ barqarorligini pasaytirmoqda.

FAO Global Map of Salt-Affected Soils ma’lumotlarida dunyo bo‘yicha 424 mln gektardan ortiq ustki tuproq qatlami va 833 mln gektardan ortiq pastki qatlam sho‘rlanish ta’sirida ekani qayd etilgan [2]. O‘zbekiston sharoitida muammo yanada dolzarb: Jahon banki ma’lumotlariga ko‘ra, mamlakatda sug‘orish uchun jihozlangan yerlar taxminan 4,3 mln gektarni tashkil etadi, 2019-yilda amalda sug‘orilgan maydon esa 2,6 mln gektar atrofida bo‘lgan [3]. Demak, meliorativ monitoringni faqat dala kuzatuvlari asosida emas, balki masofadan zondlash, GIS, IoT va raqamli tahlil bilan uyg‘unlashtirilgan holda olib borish zarur.



1-rasm. Sug‘oriladigan yerlar meliorativ holatining yomonlashish zanjiri.

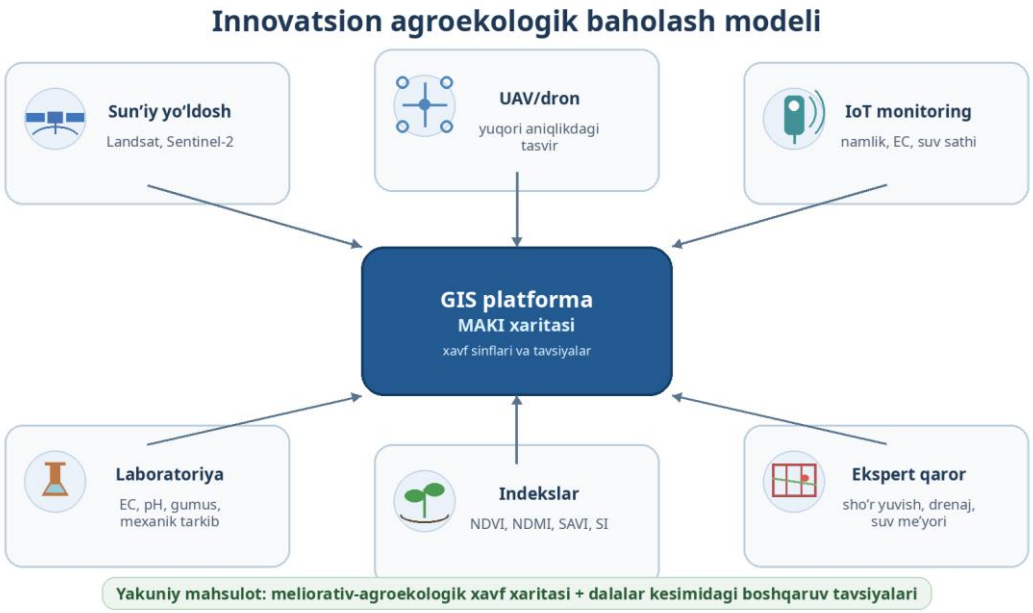
Tadqiqot maqsadi va metodologiyasi

Tadqiqotning maqsadi — sug‘oriladigan yerlarning meliorativ holatini innovatsion texnologiyalar asosida agroekologik baholashni takomillashtirishdan iborat. Buning uchun tuproq sho‘rlanishi, grunt suvlari, vegetatsiya stressi, irrigatsiya samaradorligi, drenaj holati va relyef omillarini birlashtiruvchi indikatorlar tizimi ishlab chiqildi. Metodologik asos sifatida tizimli tahlil, qiyosiy geografik yondashuv, masofadan zondlash indekslari, GIS-modellashtirish, laboratoriya tahlillari va ekspert ballash usullaridan foydalanildi.

1-jadval.

Agroekologik-meliorativ baholash indikatorlari

Indikator guruhi	Ko‘rsatkich	Ma’lumot manbasi	Agroekologik talqin
Tuproq sho‘rlanishi	EC, pH, quruq qoldiq	Dala/laboratoriya, Sentinel-2	ildiz zonasi stressi va hosildorlik pasayishi
Gidrogeologik holat	grunt suvlari chuqurligi va minerallashuvi	kuzatuv quduqlari, IoT	ikkilamchi sho‘rlanish xavfi
Vegetatsiya holati	NDVI, EVI, SAVI	Landsat, Sentinel-2, UAV	biomassa va stress darajasi
Namlik rejimi	NDMI, NDWI, tuproq namligi	SAR, multispektral tasvirlar	suv yetishmovchiligi yoki ortiqcha namlanish
Drenaj-irrigatsiya	drenaj oqimi, suv sarfi	GIS, SCADA, suv o‘lchagichlar	suv-tuz balansining barqarorligi



2-rasm. Innovatsion agroekologik baholash modeli.

Natijalar va muhokama

Jahon tajribasi shuni ko‘rsatadiki, meliorativ holatni samarali boshqarish suv hisobi, masofadan monitoring, raqamli xaritalash va avtomatlashtirilgan qaror qabul qilish tizimlari bilan bog‘liq. Isroilda tomchilatib sug‘orish va fertigasiyalash, Avstraliyada Murray–Darling havzasi miqyosida salinitetni boshqarish, AQShda evapotranspiratsiyani sun’iy yo‘ldosh asosida baholash, Xitoy va Hindistonda esa Sentinel-2 hamda mashinali o‘qitish orqali sho‘rlanishni xaritalash keng qo‘llanmoqda [4; 5; 6].

2-jadval.

Jahon tajribasi va O‘zbekiston uchun qo‘llash imkoniyatlari

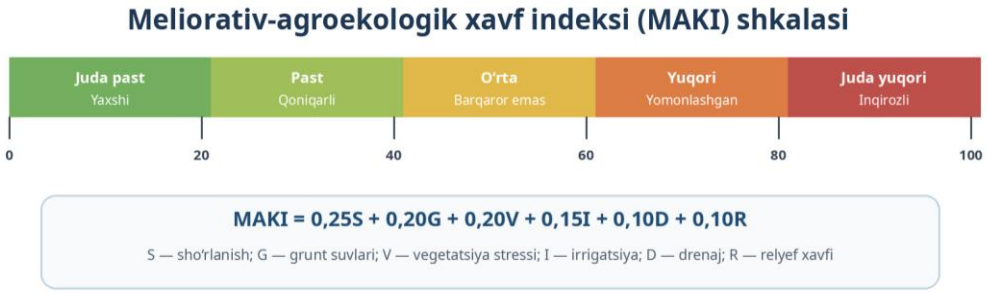
Mamlakat/hudud	Asosiy tajriba	Texnologiya	O‘zbekiston uchun ahamiyati
Isroil	aniq sug‘orish va fertigasiyalash	tomchilatib sug‘orish, sensorlar	suv tanqis hududlarda hosildorlikni saqlash
Avstraliya	havzaviy salinitet boshqaruvi	GIS, drenaj monitoringi	kollektor-drenaj tizimlarini havza bo‘yicha boshqarish
AQSh	ET asosida suv sarfini hisoblash	Landsat, OpenET, METRIC	dalalar kesimida suv iste’molini baholash
Xitoy/Hindiston	sho‘rlanishni spektral baholash	Sentinel-2, ML algoritmlari	sho‘rlangan maydonlarni tezkor xaritalash
Niderlandiya	boshqariladigan drenaj	avtomatlashtirilgan gidroinshootlar	grunt suvlari sathini me’yorlashtirish

Statistik tahlil natijalari sug‘oriladigan yerlar monitoringida raqamli yondashuvlar zarurligini tasdiqlaydi. O‘zbekiston irrigatsiya-drenaj sektorini modernizatsiya qilish bo‘yicha 2025-yilda Jahon banki tomonidan 200 mln AQSh dollari miqdorida imtiyozli kredit ajratilishi tasdiqlangan bo‘lib, loyiha suv yo‘qotishlarini kamaytirish va sug‘orish xizmatlari sifatini oshirishga qaratilgan [4]. Bu yo‘nalishda meliorativ quduqlar, nasos stansiyalari, suv sarfi o‘lchagichlar va GIS monitoring tizimlarini yagona raqamli platformaga ulash ilmiy-amaliy jihatdan muhimdir.

3-rasm. Global va milliy statistik ko‘rsatkichlar infografikasi.

Taklif etilayotgan indeks va baholash shkalasi

Tadqiqotda sug‘oriladigan yerlarning meliorativ-agroekologik xavfini baholash uchun MAKI indeksi taklif etildi. U tuproq sho‘rlanishi (S), grunt suvlari xavfi (G), vegetatsiya stressi (V), irrigatsiya samaradorligi (I), drenaj holati (D) hamda relyef-fazoviy xavf omillarini (R) vaznli integratsiya qiladi. Indeks qiymati 0–100 ball oralig‘ida normalizatsiya qilinadi va har bir dala konturi bo‘yicha GIS muhitida xaritalanadi.



4-rasm. Meliorativ-agroekologik xavf indeksi (MAKI) shkalasi.

3-jadval.

MAKI bo‘yicha xavf darajalari va tavsiyalar

MAKI balli	Baholash darajasi	Meliorativ holat	Tavsiya etiladigan chora
0–20	juda past xavf	yaxshi	mavsumiy monitoringni davom ettirish
21–40	past xavf	qoniqarli	sug‘orish grafigini optimallashtirish
41–60	o‘rta xavf	barqaror bo‘lmagan	drenajni tozalash, sho‘r yuvish
61–80	yuqori xavf	yomonlashgan	kollektor-drenaj rekonstruksiyasi, suv tejovchi texnologiyalar
81–100	juda yuqori xavf	inqirozli	kompleks tiklash, mos ekinlar, vaqtincha konservatsiya

Xulosa

Sug‘oriladigan yerlarning meliorativ holatini agroekologik baholash qishloq xo‘jaligi barqarorligi, suv resurslaridan oqilona foydalanish va oziq-ovqat xavfsizligi bilan bevosita bog‘liq. Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, an’anaviy dala kuzatuvlari muammoni lokal darajada aniqlasa-da, xavfli zonalarning fazoviy tarqalishi va dinamikasini to‘liq ifodalash uchun yetarli emas. Shuning uchun masofadan zondlash, GIS, IoT, dron tasvirlari va laboratoriya tahlillarini birlashtirgan indikatorlar tizimi eng maqbul yondashuv hisoblanadi.

Taklif etilgan MAKI indeksi sug‘oriladigan yerlarni “yaxshi”, “qoniqarli”, “o‘rta xavfli”, “yuqori xavfli” va “inqirozli” sinflarga ajratish, sho‘rlanish va botqoqlanish xavfini erta aniqlash hamda meliorativ chora-tadbirlarni ustuvor hududlar bo‘yicha rejalashtirish imkonini beradi. Mazkur yondashuv O‘zbekiston sharoitida raqamli yer monitoringi, suv tejovchi texnologiyalarni hududiy asoslash va meliorativ boshqaruv qarorlarini ilmiy jihatdan kuchaytirishga xizmat qiladi.

Adabiyotlar

[1] FAO AQUASTAT. Coping with water scarcity: the role of agriculture. https://www.fao.org/aquastat/en/activities/prev-projects/

[2] FAO Global Soil Partnership. Global Map of Salt-Affected Soils (GSASmap). https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/global-map-of-salt-affected-soils/en/

[3] World Bank. Uzbekistan: Policy Perspectives for Irrigation and Drainage Sector Development. 2024. https://documents.worldbank.org/

[4] World Bank. Uzbekistan to Modernize Its Irrigation Infrastructure with World Bank Support. 2025. https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2025/05/21/uzbekistan-to-modernize-its-irrigation-infrastructure-with-world-bank-support

[5] World Bank. Estimating Evapotranspiration Using Satellites. https://blogs.worldbank.org/en/water/thin-air-and-seen-space-estimating-evapotranspiration-using-satellites

[6] Mzid N. et al. Salinity Properties Retrieval from Sentinel-2 Satellite Data and Machine Learning Algorithms. Agronomy, 2023, 13(3), 716.

[7] Hart B. et al. Salinity management in the Murray–Darling Basin, Australia. Water, 2020, 12(6), 1829.

[8] O‘zbekiston Respublikasi atrof-muhit holati to‘g‘risidagi milliy ma’ruza. 2024. https://www.iisd.org/system/files/2024-03/uzbekistan-state-of-the-environment-uz.pdf

[9] Uzbekistan Country Climate and Development Report. World Bank Group, 2023. https://api.mf.uz/media/document_files/file_F2XaRnt.pdf

TEXTIL KORXONASIDA ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISHNI SOLISHTIRMA ELEKTR ENERGIYA ISTE'MOLI ASOSIDA TAHLIL

I.X. Xoliddinov, I.A.Boxodirov, Sh.M. Nabiyev

Farg'ona davlat texnika universiteti
(islomjon.boxodirov@fstu.uz)
(Qabul qilindi 04.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Maqolada tekstil korxonasida elektr energiyasi iste'molining mahsulot ishlab chiqarish hajmiga nisbatan shakllanishi 2024–2025-yillarga oid elektr energiyasi sarfi, tayyor mahsulot hajmi va solishtirma elektr energiyasi iste'moli ko'rsatkichlari asosida shakllantirildi. Maqolada solishtirma energiya iste'moli asosiy energiya samaradorligi ko'rsatkichi - sifatida baholanib, yillik va choraklik kesimlarda fakt hamda me'yor qiymatlar taqqoslandi. Natijada 2024-yilda korxonada mahsulot birligiga to'g'ri keladigan elektr energiyasi sarfi nisbatan barqaror bo'lganini, 2025-yilda esa ayniqsa III chorakda me'yordan 18,5 % yuqori og'ish yuzaga kelganini ko'rsatdi. IV chorakda esa 2,18 ming kW·soat/tonna natija qayd etilib, bu davr korxona uchun energiya boshqaruvining ijobiy amaliyoti sifatida qaralishi mumkin.*

Kalit so'zlar: *tekstil korxonasi, solishtirma energiya iste'moli, energiya auditi, ISO 50001, elektr energiyasi, energiya samaradorligi, ishlab chiqarish hajmi, me'yoriy ko'rsatkich.*

Аннотация. *В статье рассмотрено формирование потребления электрической энергии на текстильном предприятии по отношению к объему выпускаемой продукции на основе показателей расхода электроэнергии, объема готовой продукции и удельного потребления электроэнергии за 2024–2025 годы. Удельное потребление энергии оценено как основной показатель энергоэффективности, а фактические и нормативные значения были сопоставлены в годовом и квартальном разрезах. В результате установлено, что в 2024 году расход электроэнергии на единицу продукции на предприятии был относительно стабильным, тогда как в 2025 году, особенно в III квартале, наблюдалось отклонение от нормы на 18,5 %. В IV квартале был зафиксирован показатель 2,18 тыс. кВт·ч/тонну, что может рассматриваться как положительная практика управления энергопотреблением на предприятии.*

Ключевые слова: *текстильное предприятие, удельное потребление энергии, энергетический аудит, ISO 50001, электрическая энергия, энергоэффективность, объем производства, нормативный показатель.*

Abstract. *The article examines the formation of electricity consumption in a textile enterprise in relation to production volume based on electricity consumption, finished product output, and specific electricity consumption indicators for 2024–2025. Specific energy consumption was evaluated as the main indicator of energy efficiency, and actual and standard values were compared on annual and quarterly bases. The results showed that in 2024 the electricity consumption per unit of production remained relatively stable, while in 2025, especially in the third quarter, a deviation of 18.5% above the standard value was observed. In the fourth quarter, a result of 2.18 thousand kWh/ton was recorded, which can be considered a positive practice of energy management at the enterprise.*

Keywords: *textile enterprise, specific energy consumption, energy audit, ISO 50001, electrical energy, energy efficiency, production volume, standard indicator.*

Sanoat korxonalarida energiya samaradorligini oshirish bugungi kunda faqat texnik masala emas, balki iqtisodiy barqarorlik, eksport raqobatbardoshligi va ekologik mas'uliyat bilan bevosita bog'liq strategik yo'nalish hisoblanadi. Ayniqsa, tekstil sanoati elektr energiyasini muntazam talab qiluvchi, ko'p bosqichli texnologik jarayonlar, yordamchi tizimlar va uzluksiz ishlovchi elektr yuritmalar bilan tavsiflanadi. Paxta tolasi, ip-kalava, mato, bo'yash, pardozlash, quritish, kompressor havo ta'minoti, nasoslar va ventilyatsiya tizimlari elektr energiyasi sarfida sezilarli ulushga ega bo'ladi. Shu sababli tekstil korxonasida energiya sarfini faqat umumiy kW·soat bo'yicha baholash yetarli emas; iste'mol ishlab chiqarilgan mahsulot hajmiga nisbatan tahlil qilinishi lozim. [1]

O'zbekiston Respublikasida energiya resurslaridan oqilona foydalanish bo'yicha davlat siyosati energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etish, energiya auditi mexanizmlarini kuchaytirish va korxonalarda energiya menejmentini shakllantirishga qaratilgan. Bu jarayonda sanoat korxonalari oldida ikkita asosiy vazifa turadi: birinchidan, energiya xarajatlarini ishlab chiqarish

tannarxidagi ulushini pasaytirish; ikkinchidan, energiya ta’minoti cheklovlari sharoitida mahsulot ishlab chiqarish barqarorligini saqlab qolish. Tekstil tarmog‘i uchun bu vazifa yanada dolzarb, chunki texnologik jarayonning uzilishi mahsulot sifatiga, rejali ishlab chiqarish quvvatiga va buyurtmalarni bajarish muddatiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi.

Maqolaning dolzarbligi shundaki, textile korxonasi misolida yillik elektr energiyasi iste’moli kamaygan bo‘lsa-da, mahsulot birligiga to‘g‘ri keladigan solishtirma sarf ayrim davrlarda oshgani kuzatiladi. Bu holat sanoat energetikasida keng tarqalgan muammoni ko‘rsatadi: yalpi iste’molning kamayishi har doim ham energiya samaradorligi oshganini anglatmaydi. Agar ishlab chiqarish hajmi ham kamaygan bo‘lsa yoki yordamchi yuklamalar mahsulot hajmiga nisbatan yuqori ulushda qolsa, solishtirma energiya sig‘imi ortishi mumkin. [2] Demak, korxonada real tejamkorlikni baholash uchun EnPI - Energy Performance Indicator ko‘rsatkichlar tizimidan foydalanish talab etiladi.

Tadqiqotning maqsadi tekstil korxonasi bo‘yicha mavjud statistik ma’lumotlar asosida solishtirma elektr energiyasi iste’molini tahlil qilish, fakt va me’yor qiymatlar o‘rtasidagi og‘ishlarni aniqlash, og‘ishlarning ehtimoliy sabablarini izohlash hamda energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan amaliy boshqaruv yo‘nalishlarini ishlab chiqishdan iborat. Ushbu maqsadga erishish uchun yillik va choraklik ma’lumotlar tizimlashtirildi, solishtirma sarf ko‘rsatkichlari baholandi va 2025-yil III hamda IV choraklaridagi keskin farqlar alohida tahlil qilindi.

Maqolaning ilmiy-amaliy ahamiyati shundan iboratki, korxona energetika xizmati uchun oddiy elektr hisobi ma’lumotlarini boshqaruv qarorlariga aylantirish yo‘li ko‘rsatiladi. Natijada sexlar, texnologik liniyalar va yordamchi xo‘jaliklar kesimida energiya monitoringini chuqurlashtirish, me’yoriy ko‘rsatkichlarni qayta ko‘rib chiqish hamda eng yaxshi chorak amaliyotini standartlashtirish imkoniyati paydo bo‘ladi. Bunday yondashuv ISO 50001 talablari bilan uyg‘un bo‘lib, korxonada energiya menejmenti tizimini bosqichma-bosqich joriy etishga xizmat qiladi. [3]

Energiya samaradorligini baholashda solishtirma energiya iste’moli eng muhim ko‘rsatkichlardan biri sanaladi. U ma’lum davrda sarflangan elektr energiyasining shu davrda ishlab chiqarilgan mahsulot hajmiga nisbati sifatida aniqlanadi. Mazkur ko‘rsatkich mahsulot birligiga qancha energiya sarflanganini ko‘rsatadi va texnologik jarayonning energiya sig‘imini baholash imkonini beradi. Agar korxonada umumiy elektr energiyasi sarfi kamaygan bo‘lsa, lekin ishlab chiqarish hajmi undan tezroq kamaygan bo‘lsa, solishtirma sarf ortadi. Aksincha, ishlab chiqarish hajmi barqaror yoki yuqori bo‘lib, yordamchi yuklamalar optimallashtirilsa, solishtirma sarf pasayadi. [4]

Nazariy jihatdan solishtirma elektr energiyasi iste’moli quyidagi asosiy formula orqali ifodalanadi:

$$q = \frac{E}{Q} \qquad (1)$$

bu yerda q - mahsulot birligiga to‘g‘ri keladigan solishtirma elektr energiyasi sarfi, E - tahlil davridagi elektr energiyasi iste’moli, Q - shu davrda ishlab chiqarilgan tayyor mahsulot hajmi.

1-ifoda sodda bo‘lsa-da, uning amaliy talqini murakkab, chunki E ham, Q ham bir qator texnologik, tashkiliy va tashqi omillar ta’sirida shakllanadi. Tekstil korxonalarida elektr energiyasi sarfiga ta’sir etuvchi asosiy omillarni to‘rtta guruhga ajratish mumkin. [5]

Birinchi guruh texnologik yuklamalar bo‘lib, ularga yigirish, to‘qish, bo‘yash, quritish va pardozlash liniyalari kiradi.

Ikkinchi guruh yordamchi tizimlar - kompressorlar, nasoslar, ventilyatorlar, sovitish va yoritish tizimlaridan iborat.

Uchinchi guruh tashkiliy omillar - smena rejimi, buyurtmalar ritmi, uskunalarning to‘liq yoki qisman yuklanishi, rejasiz to‘xtashlar va qayta ishga tushirishlar.

To‘rtinchi guruh esa elektr ta’minoti sifati, kuchlanish barqarorligi, reaktiv quvvat oqimlari va tarmoqdagi yo‘qotishlar bilan bog‘liq omillardir.

ISO 50001 yondashuvida energiya samaradorligi korxona miqyosida uzluksiz takomillashtiriladigan boshqaruv jarayoni sifatida qaraladi. Bunda energiya bazaviy chizig‘i,

muhim energiya iste’molchilari, EnPI ko‘rsatkichlar va energiya maqsadlari aniqlanadi. Energiya auditi esa mavjud holatni tekshirish, o‘lchash, tahlil qilish va tejamkorlik zaxiralarini aniqlash jarayonidir. Shuning uchun solishtirma energiya iste’moli oddiy statistik ko‘rsatkich emas, balki energiya menejmenti tizimida boshqaruv, monitoring va ichki nazorat vositasi sifatida qo‘llanilishi kerak.

Nazariy jihatdan me’yoriy ko‘rsatkichni belgilashda bir necha yondashuv mavjud. Birinchisi - tarixiy bazaviy davrga asoslangan yondashuv; bunda korxonaning avvalgi barqaror ish davridagi o‘rtacha solishtirma sarfi me’yor sifatida olinadi. Ikkinchisi - eng yaxshi amaliyotga asoslangan yondashuv; bunda eng past va texnologik jihatdan ishonchli ko‘rsatkich keyingi davrlar uchun ichki benchmark sifatida tanlanadi. Uchinchisi - texnologik hisob-kitoblarga asoslangan yondashuv; bunda asosiy uskunalar quvvati, ish vaqti, yuklanish koeffitsiyenti va yordamchi tizimlar sarfi asosida normativ energiya modeli tuziladi. [6]

Tadqiqot materiali sifatida textile korxonasi misolida 2024–2025-yillarga oid elektr energiyasi iste’moli, tayyor mahsulot ishlab chiqarish hajmi hamda solishtirma elektr energiyasi iste’moli ko‘rsatkichlari qabul qilindi. Metodik jihatdan tadqiqot uch bosqichda bajarildi.

Birinchi bosqichda yillik elektr energiyasi iste’moli va yillik tayyor mahsulot hajmi bo‘yicha solishtirma sarf aniqlangan qiymatlar tizimlashtirildi.

Ikkinchi bosqichda 2024 va 2025-yillar uchun choraklik fakt ko‘rsatkichlar tegishli me’yoriy qiymatlar bilan solishtirildi.

Uchinchi bosqichda og‘ishlar foizlarda baholanib, ayniqsa 2025-yil III chorakdagi yuqori energiya sig‘imi va IV chorakdagi past energiya sig‘imi sabablarini izohlashga qaratilgan tahliliy mulohazalar ishlab chiqildi. [7]

Og‘ishlarni baholash uchun quyidagi ifoda qo‘llanildi:

$$\Delta q = \frac{q_f - q_m}{q_m} \cdot 100\% \qquad (2)$$

bu yerda q_f - fakt solishtirma elektr energiyasi sarfi, q_m - me’yoriy yoki bazaviy solishtirma sarf, Δq esa me’yordan nisbiy og‘ishni bildiradi.

Musbat qiymat mahsulot birligiga energiya sarfi me’yordan yuqori ekanini, manfiy qiymat esa fakt ko‘rsatkich me’yordan past shakllanganini bildiradi. Mazkur ifoda energiya menejmentida tezkor indikator sifatida qulay, chunki u yillik yoki choraklik statistikani boshqaruv xulosasiga aylantiradi.

Tahlilda ma’lumotlarning fizik mazmuniga alohida e’tibor berildi. Chunki elektr energiyasi iste’moli va ishlab chiqarish hajmi o‘rtasidagi nisbat faqat arifmetik ko‘rsatkich emas; u texnologik liniyalar yuklanishi, yordamchi tizimlar ulushi, ishlab chiqarish ritmi va tashkilotchilik intizomini aks ettiradi. Shu sababli natijalar baholanishida raqamlar bilan bir qatorda texnologik talqin ham berildi. Ushbu maqolada chuqur statistik regressiya modeli tuzilmadi, chunki mavjud ma’lumotlar yillik va choraklik kesim bilan cheklangan. Kelgusida oyma-oy ma’lumotlar bazasi shakllantirilsa, regressiya, korrelyatsiya va CUSUM tahlillari orqali yanada chuqurroq baholash mumkin.

1-jadval

Yillik energiya va ishlab chiqarish ko‘rsatkichlari

Yil	Jami EE iste’moli, ming kW·soat	Jami ishlab chiqarish, tonna	Yillik solishtirma ko‘rsatkich, ming kW·soat/tonna
2024	29 779,884	10 266,278	2,90
2025	21 203,541	7 141,813	2,97

1-jadvaldan ko‘rinadiki, 2025-yilda elektr energiyasi iste’moli 2024-yilga nisbatan kamaygan. Biroq ishlab chiqarish hajmi ham pasaygani sababli mahsulot birligiga to‘g‘ri keladigan yillik solishtirma sarf 2,90 dan 2,97 ming kW·soat/tonna gacha oshgan. Bu farq katta ko‘rinmasligi mumkin, ammo choraklar kesimidagi ichki dinamikani tahlil qilmasdan turib energiya samaradorligi bo‘yicha yakuniy xulosa chiqarish to‘g‘ri bo‘lmaydi.

Hisob-kitob natijalariga ko‘ra, 2024-yilda korxonaning yillik o‘rtacha solishtirma elektr energiyasi sarfi 2,90 ming kW·soat/tonna, 2025-yilda esa 2,97 ming kW·soat/tonna bo‘lgan. Bunda 2025-yil ko‘rsatkichi 2024-yilga nisbatan 0,07 ming kW·soat/tonna yoki taxminan 2,4 % yuqori shakllangan. Umumiy elektr energiyasi iste’moli 29 779,884 ming kW·soatdan 21 203,541 ming kW·soatga kamaygan bo‘lsa-da, solishtirma ko‘rsatkichning oshishi ishlab chiqarish hajmi bilan energiya sarfi o‘rtasidagi nisbat yomonlashganini bildiradi.

Yillik o‘rtacha ko‘rsatkich ishlab chiqarish samaradorligini umumiy baholash uchun qulay, lekin energiya menejmentida uning asosiy cheklovi mavjud: u davr ichidagi notekislikni yashiradi. Korxonada bir yoki ikki chorakdagi yuqori energiya sarfi keyingi chorakdagi past sarf bilan qoplanishi mumkin. Natijada yillik o‘rtacha qiymat me’yor atrofida bo‘lib ko‘rinadi, ammo amalda ichki boshqaruv zaxiralari to‘liq ochilmay qoladi. Shuning uchun yillik baholash choraklik monitoring bilan to‘ldirilishi shart.

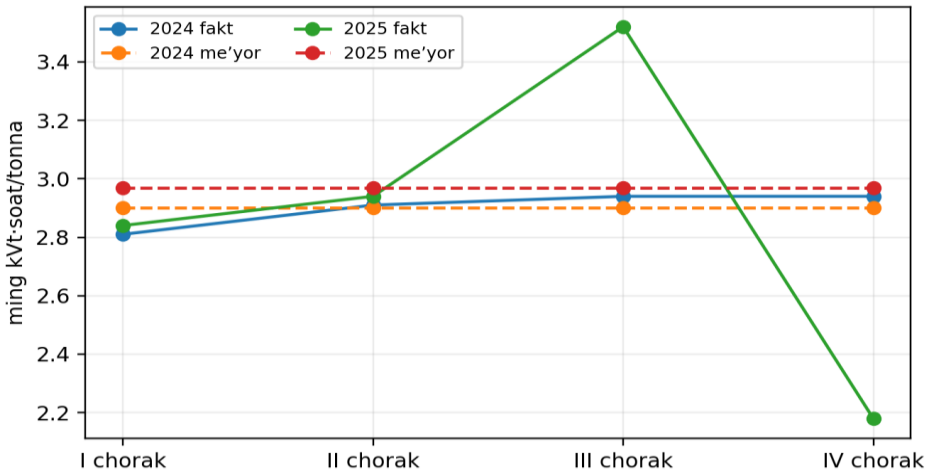
2-jadval

Choraklar kesimida solishtirma sarfning fakt va me’yor qiymatlari

Yil/ko‘rsatkich	I chorak	II chorak	III chorak	IV chorak
2024 fakt	2,81	2,91	2,94	2,94
2024 me’yor	2,90	2,90	2,90	2,90
2025 fakt	2,84	2,94	3,52	2,18
2025 me’yor	2,97	2,97	2,97	2,97

2024-yilda choraklar kesimidagi solishtirma sarf nisbatan barqaror shakllangan. I chorakda ko‘rsatkich 2,81 ming kW·soat/tonna bo‘lib, me’yoriy 2,90 qiymatdan 3,1 % past. II chorakda 2,91 qiymat qayd etilgan va me’yorga juda yaqin bo‘lgan. III va IV choraklarda esa 2,94 ming kW·soat/tonna natija kuzatilgan. Bu holat yilning ikkinchi yarmida energiya sig‘imi biroz oshganini bildiradi, lekin og‘ish keskin emas. Demak, 2024-yilda ishlab chiqarish rejimi va energiya iste’moli o‘rtasidagi nisbat boshqariladigan diapazonda bo‘lgan.

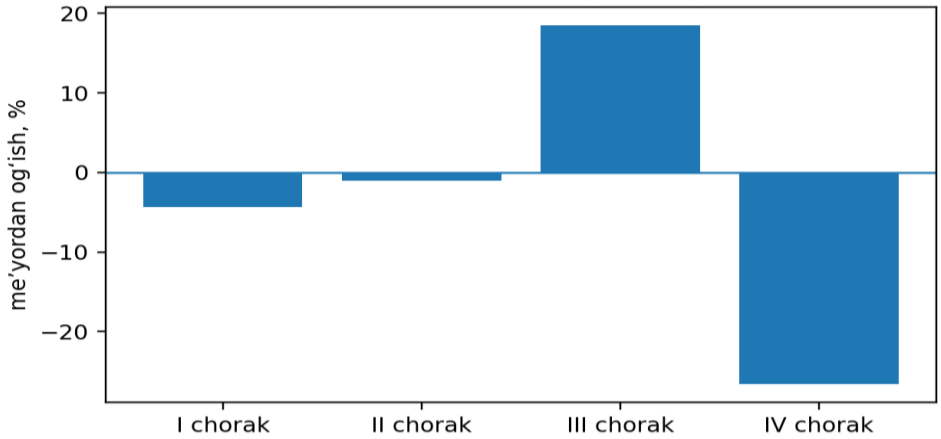
2025-yilda vaziyat ancha kontrast xarakterga ega. I chorakda fakt ko‘rsatkich 2,84 ming kW·soat/tonna bo‘lib, me’yordan 4,4 % past; II chorakda 2,94 qiymat bilan me’yorga yaqinlashgan. III chorakda esa 3,52 ming kW·soat/tonna natija qayd etilib, me’yordan 18,5 % yuqori og‘ish yuzaga kelgan. IV chorakda aksincha, 2,18 ming kW·soat/tonna natija olingan va bu me’yordan 26,6 % past. Bunday keskin tafovutlar korxonada mahsulot birligiga energiya sarfi ishlab chiqarish ritmiga, uskunalar yuklanishiga va yordamchi tizimlar ulushiga juda sezgir ekanini ko‘rsatadi.



1-rasm. Choraklar kesimida solishtirma elektr energiya iste’moli

1-rasmda 2025-yil III chorakdagi cho‘qqi qiymat va IV chorakdagi keskin pasayish yaqqol ko‘rinadi. III chorakda solishtirma sarfning ortishi ishlab chiqarish hajmi yetarli bo‘lmagan sharoitda yordamchi tizimlar sarfi yuqori ulushda qolgan bo‘lishi, texnologik to‘xtashlar ko‘payganligi yoki uskunalar qisman yuklama bilan ishlaganligi bilan izohlanishi mumkin. IV

chorakdagi past ko‘rsatkich esa texnologik intizom yaxshilanganini, smena yuklanishi maqbullashganini yoki ishlab chiqarish va yordamchi yuklamalar nisbati qulaylashganini ko‘rsatadi.



2-rasm. 2025-yilda choraklar bo‘yicha me’yordan nisbiy og‘ishlar.

2-rasm energiya menejmenti nuqtayi nazaridan eng muhim signalni beradi: 2025-yil III choragida mahsulot birligiga elektr energiyasi sarfi me’yoriy darajadan 18,5 % yuqori, IV chorakda esa 26,6 % past. Bu natija korxonada energiya tejash imkoniyati faqat yangi uskunalar o‘rnatish orqali emas, balki ishlab chiqarish jarayonini rejalashtirish, yuklama grafiklarini optimallashtirish va yordamchi tizimlarni mahsulot hajmiga bog‘lab boshqarish orqali ham yuzaga chiqishini ko‘rsatadi.

Olingan natijalar tekstil korxonasida energiya samaradorligini baholashda EnPI ko‘rsatkichlarining ahamiyatini tasdiqlaydi. Agar faqat yalpi elektr energiyasi iste’moli ko‘rib chiqilsa, 2025-yilda iste’mol kamaygan degan xulosa chiqarish mumkin. Lekin mahsulot hajmi bilan solishtirilganda energiya sig‘imi 2,97 ming kW·soat/tonna darajasiga yetgan va ayrim choraklarda me’yordan keskin og‘gan. Bu esa energiya auditi xulosalarida har doim ikki ko‘rsatkichni - umumiy iste’mol va mahsulot birligiga sarfni - birgalikda tahlil qilish zarurligini ko‘rsatadi.

III chorakdagi 3,52 ming kW·soat/tonna natija korxona ichki energetik intizomida alohida o‘rganilishi kerak bo‘lgan holatdir. Bunday og‘ish, birinchidan, ishlab chiqarish liniyalarining to‘liq yuklanmaganligi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Tekstil korxonalarida kompressorlar, ventilyatsiya, yoritish, nasoslar va boshqa yordamchi tizimlar ko‘pincha ishlab chiqarish hajmi kamayganda ham mutanosib ravishda kamaymaydi. Natijada mahsulot miqdori pasayadi, ammo bazaviy elektr yuklama saqlanib qoladi. Ikkinchidan, texnologik jarayondagi to‘xtashlar va qayta ishga tushirishlar elektr yuritmalar, quritish tizimlari va havo tayyorlash uskunalarida qo‘shimcha energiya sarfini keltirib chiqarishi mumkin.

Uchinchidan, mahsulot assortimenti va texnologik murakkablik o‘zgarishi ham solishtirma sarfga ta’sir qiladi. Agar ma’lum chorakda ko‘proq energiya talab qiladigan mahsulot turlari ishlab chiqarilgan bo‘lsa, q ko‘rsatkichi ortadi. Shuning uchun kelgusida EnPI faqat tonna bo‘yicha emas, balki mahsulot turi, liniya yoki texnologik bosqich bo‘yicha ham alohida hisoblanishi maqsadga muvofiq. Masalan, yigirish, to‘qish, bo‘yash va pardozlash jarayonlari uchun alohida energiya ko‘rsatkichlari belgilansa, qaysi bosqich energiya sig‘imining o‘sishiga ko‘proq ta’sir qilayotgani aniqroq ko‘rinadi.

IV chorakdagi 2,18 ming kW·soat/tonna natija esa alohida ijobiy holat sifatida o‘rganilishi kerak. Ushbu davrda ishlab chiqarish ritmi, smena yuklanishi, rejalashtirish, texnologik uskunalar ish tartibi va yordamchi tizimlar boshqaruvi qanday tashkil etilgani aniqlansa, korxona uchun ichki benchmark shakllantirish mumkin. Energiya menejmenti amaliyotida eng yaxshi davr tajribasini tahlil qilish ko‘pincha tejamkorlik zaxiralarini aniqlashning eng arzon va tezkor usullaridan biri hisoblanadi.

Korxonada solishtirma elektr energiyasi sarfini boshqarish uchun dastlab o‘lchash va hisobga olish infratuzilmasini chuqurlashtirish zarur. Umumiy hisoblagichdan tashqari asosiy sexlar, kompressor stansiyasi, nasoslar, ventilyatsiya tizimi, yoritish va ma’muriy-maishiy

ehtiyojlar bo‘yicha alohida elektr hisobini yo‘lga qo‘yish talab etiladi. Bunday bo‘linish energiya balansini aniqlashtiradi va mahsulot birligiga sarfning qaysi bo‘g‘inda ortayotganini ko‘rsatadi. Keyingi bosqichda har bir bo‘lim uchun alohida EnPI belgilanadi va u ishlab chiqarish rejasi bilan birga ko‘rib chiqiladi.

Energiya samaradorligini oshirishda texnik choralar ham muhim. Ventilyator va nasos elektr yuritmalarida chastota o‘zgartirgichlardan foydalanish, kompressor havosi oqishlarini aniqlash, elektr motorlarning yuklanish koeffitsiyentini me’yorlashtirish, reaktiv quvvatni kompensatsiyalash, yuqori samaradorlikdagi yoritish tizimlarini joriy etish, kabel va transformator yo‘qotishlarini kamaytirish kabi chora-tadbirlar solishtirma elektr energiyasi sarfini pasaytiradi. Biroq bunday choralar eng avvalo o‘lchash va tahlil bilan asoslanishi lozim, aks holda investitsiya samarasi to‘liq baholanmaydi.

Tashkiliy choralar texnik choralar bilan bir xil darajada ahamiyatga ega. Uskunalarni bo‘sh ishlatmaslik, smenalar oralig‘ida yordamchi tizimlarni avtomatik o‘chirish, texnologik liniyalarni partiyalar bo‘yicha optimal rejalashtirish, profilaktik ta’mirlashni ishlab chiqarish yuklamasi past davrlarga moslashtirish va operatorlar uchun energiya intizomi bo‘yicha ko‘rsatmalar ishlab chiqish tejamkorlikni oshiradi. Ayniqsa, III chorakdagi og‘ishni kamaytirish uchun ishlab chiqarish rejasiga bog‘langan energiya byudjeti tuzish tavsiya etiladi.

Maqolada ko‘rib chiqilgan tahlil yillik va choraklik ma’lumotlar bilan cheklangan. Shu sababli natijalar energiya samaradorligining umumiy yo‘nalishini ko‘rsatadi, ammo har bir uskunadagi aniq yo‘qotishlarni to‘liq ajratib bermaydi. Kelgusida ma’lumotlarni oyma-oy, haftalik va hatto smena kesimida yig‘ish, harorat, ishlab chiqarish assortimenti, ish vaqti, avariya/to‘xtashlar, cos phi, reaktiv quvvat va kuchlanish sifati bilan bog‘liq ma’lumotlarni qo‘shish zarur. Shunda korxona uchun ko‘p omilli energiya modeli yaratiladi va tejamkorlik zaxiralari yanada ishonchli aniqlanadi.

Textile korxonasi bo‘yicha 2024–2025-yillar ma’lumotlari asosida o‘tkazilgan tahlil tekstil korxonasida energiya samaradorligini baholashda solishtirma elektr energiyasi iste’moli eng muhim indikator ekanini ko‘rsatdi. 2024-yilda yillik ko‘rsatkich 2,90 ming kW·soat/tonna, 2025-yilda esa 2,97 ming kW·soat/tonna bo‘lgan. Umumiy elektr energiyasi iste’moli 2025-yilda kamaygan bo‘lsa-da, mahsulot birligiga sarfning ortishi energiya samaradorligini faqat yalpi iste’mol bo‘yicha baholash noto‘g‘ri ekanini tasdiqlaydi.

Maqolaning asosiy ilmiy-amaliy xulosasi shuki, tekstil korxonalarida energiya samaradorligini oshirish faqat yangi uskunalar o‘rnatish bilan cheklanmasligi kerak. Eng avvalo energiya sarfi mahsulot hajmi bilan bog‘lab tahlil qilinishi, yordamchi yuklamalar ishlab chiqarish ritmiga mos boshqarilishi va energiya menejmenti tizimi joriy etilishi lozim. Bunday yondashuv korxonada mahsulot tannarxini pasaytirish, elektr energiyasi xarajatlarini nazorat qilish va barqaror ishlab chiqarishni ta’minlashga xizmat qiladi.

Adabiyotlar

[1]. O‘zbekiston Respublikasining 2024-yil 7-avgustdagi O‘RQ-940-son “Energiya tejash, undan oqilona foydalanish va energiya samaradorligini oshirish to‘g‘risida”gi Qonuni.

[2]. ISO 50001:2018. Energy management systems — Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization.

[3]. ISO 50002:2014. Energy audits — Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization.

[4]. ISO 50006:2023. Energy management systems — Evaluating energy performance using energy baselines and energy performance indicators.

[5]. International Energy Agency. Energy Efficiency 2023. Paris: IEA, 2023.

[6]. UNIDO. Practical Guide for Implementing an Energy Management System. Vienna: United Nations Industrial Development Organization.

[7]. Kreith F., Goswami D. Y. Energy Management and Conservation Handbook. CRC Press.

PELTON TURBINA-GENERATOR TIZIMINING ENERGETIK SAMARADORLIGINI EKSPERIMENTAL TADQIQ QILISH

A.B. Ibroximjonov

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
Mas’ul muallif, e-mail: ahliddin.ibroximjonov@fstu.uz
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Ushbu maqolada Pelton turbina-generator tizimining energetik samaradorligini eksperimental tadqiq qilish natijalari keltirilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi suv oqimi energiyasini elektr energiyasiga aylantirish jarayonida yuzaga keladigan yo‘qotishlarni aniqlash hamda tizimning foydali ish koeffitsientini oshirish imkoniyatlarini baholashdan iborat. Tajriba jarayonida suv sarfi, bosim, turbina aylanish tezligi, generator kuchlanishi va chiqish quvvati kabi asosiy parametrlar o‘lchandi va tahlil qilindi. Olingan natijalar asosida Pelton turbinasining turli yuklama rejimlaridagi ishlash xususiyatlari o‘rganildi. Tadqiqot davomida suv oqimining tezligi va bosimi oshishi bilan tizimning ishlab chiqarayotgan elektr quvvati ham ortishi kuzatildi. Shu bilan birga, mexanik va gidravlik yo‘qotishlarning umumiy samaradorlikka sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Eksperimental natijalar Pelton turbina-generator tizimining kichik gidroelektr stansiyalarida samarali qo‘llanish imkoniyatlari yuqori ekanligini ko‘rsatdi. Tadqiqot natijalari energiya tejamkor texnologiyalarni rivojlantirish, qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish samaradorligini oshirish hamda kichik quvvatli gidroelektr qurilmalarni takomillashtirish uchun muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.*

Kalit so‘zlar: *Pelton turbina, gidroenergetika, generator, energetik samaradorlik, foydali ish koeffitsienti, suv sarfi, eksperimental tadqiqot, kichik GES, qayta tiklanuvchi energiya, elektr energiyasi.*

Аннотация: *В данной статье представлены результаты экспериментального исследования энергетической эффективности системы турбина–генератор Пелтона. Основной целью исследования является определение потерь энергии в процессе преобразования энергии водного потока в электрическую энергию, а также оценка возможностей повышения коэффициента полезного действия системы. В ходе эксперимента были измерены и проанализированы такие основные параметры, как расход воды, давление, скорость вращения турбины, напряжение генератора и выходная мощность. На основе полученных результатов изучены характеристики работы турбины Пелтона при различных режимах нагрузки. В процессе исследования установлено, что с увеличением скорости и давления водного потока возрастает и электрическая мощность, вырабатываемая системой. Одновременно было выявлено существенное влияние механических и гидравлических потерь на общую эффективность установки. Экспериментальные результаты показали высокую перспективность применения системы турбина–генератор Пелтона на малых гидроэлектростанциях. Полученные результаты имеют важное научно-практическое значение для развития энергосберегающих технологий, повышения эффективности использования возобновляемых источников энергии и совершенствования маломощных гидроэнергетических установок.*

Ключевые слова: *турбина Пелтона, гидроэнергетика, генератор, энергетическая эффективность, коэффициент полезного действия, расход воды, экспериментальное исследование, малая ГЭС, возобновляемая энергия, электрическая энергия.*

Abstract: *This article presents the results of an experimental study on the energy efficiency of a Pelton turbine-generator system. The main purpose of the research is to determine energy losses occurring during the conversion of water flow energy into electrical energy and to evaluate methods for improving the efficiency of the system. During the experiment, key parameters such as water flow rate, pressure, turbine rotational speed, generator voltage, and output power were measured and analyzed. Based on the obtained results, the operating characteristics of the Pelton turbine under different load conditions were investigated. The study showed that an increase in water flow velocity and pressure leads to an increase in the electrical power generated by the system. At the same time, it was determined that mechanical and hydraulic losses significantly affect the overall efficiency of the installation. The experimental results demonstrated the high potential of Pelton turbine-generator systems for application in small hydropower plants. The obtained findings are of significant scientific and practical importance for the development of energy-saving technologies, improvement of renewable energy utilization efficiency, and modernization of low-capacity hydropower systems.*

Keywords: *Pelton turbine, hydropower, generator, energy efficiency, efficiency coefficient, water flow rate, experimental study, small hydropower plant, renewable energy, electrical energy.*

1.Kirish. Bugungi kunda dunyo energetika tizimida qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanish muhim ahamiyat kasb etmoqda. Aholi sonining ortishi, sanoat korxonalarining kengayishi hamda elektr energiyasiga bo‘lgan talabning yildan-yilga oshib borishi natijasida an’anaviy yoqilg‘i resurslaridan foydalanish hajmi ham keskin ortmoqda. Bu esa ekologik muammolar, atmosferaga zararli gazlar chiqishi va tabiiy resurslarning kamayib borishiga sabab bo‘lmoqda. Shu bois ekologik toza va energiya tejamkor texnologiyalarni ishlab chiqish hamda amaliyotga joriy etish bugungi kunning dolzarb masalalaridan biri hisoblanadi.

Qayta tiklanuvchi energiya manbalari orasida gidroenergetika eng ishonchli va samarali energiya ishlab chiqarish usullaridan biri sifatida alohida o‘rin tutadi. Ayniqsa, kichik gidroelektr stansiyalarida qo‘llaniladigan Pelton turbinalari yuqori bosimli va nisbatan kam suv sarfli hududlarda samarali ishlashi bilan ajralib turadi. Pelton turbinalari impulsli turbinalar turiga kirib, suv oqimining kinetik energiyasini mexanik energiyaga, generator yordamida esa elektr energiyasiga aylantiradi. Ushbu tizimning samaradorligi suv bosimi, oqim tezligi, turbina konstruksiyasi, generator parametrlari va yuklama holatiga bevosita bog‘liq bo‘ladi.

Hozirgi vaqtda Pelton turbina-generator tizimlarining samaradorligini oshirish bo‘yicha ko‘plab ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Bunda energiya yo‘qotishlarini kamaytirish, foydali ish koeffitsientini oshirish hamda tizimning optimal ish rejimlarini aniqlash asosiy vazifalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, eksperimental tadqiqotlar orqali real ish sharoitlarida tizim parametrlarini aniqlash va tahlil qilish muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Mazkur tadqiqot ishida Pelton turbina-generator tizimining energetik samaradorligi eksperimental usulda o‘rganiladi. Tadqiqot davomida suv sarfi, bosim, turbina aylanish tezligi, generatorning chiqish kuchlanishi va quvvati kabi asosiy ko‘rsatkichlar tahlil qilinadi. Olingan natijalar asosida tizimning foydali ish koeffitsienti aniqlanadi hamda energiya yo‘qotishlariga ta’sir etuvchi omillar baholanadi. Tadqiqot natijalari kichik gidroelektr stansiyalarini loyihalash va modernizatsiya qilishda, shuningdek, qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Tajribaning boshlang‘ich qismida P1 bosimi taxminan 170–175 kPa oralig‘ida bo‘lgan. Bu holat Pelton turbinasiga kirayotgan suv oqimining barqaror ekanligini ko‘rsatadi. P2 bosimi esa 290–300 kPa oralig‘ida kuzatilgan bo‘lib, tizimda yetarli gidravlik energiya mavjudligini bildiradi. Taxminan 300–400 sekund oralig‘ida grafikda keskin o‘zgarishlar kuzatiladi. Bu jarayonda suv oqimi va bosim parametrlarining o‘zgarishi tizim yuklamasi yoki suv oqimi boshqaruvining o‘zgargani bilan bog‘liq. Aynan shu vaqt oralig‘ida turbina ish rejimi o‘zgargan va tizimning o‘tkinchi jarayonlari yuzaga kelgan.

F3 va F4 suv sarfi grafiklari Pelton turbinasiga berilayotgan suv miqdorining o‘zgarishini ko‘rsatadi. Tajriba davomida suv sarfi 0,5–1,5 l/min diapazonida o‘zgargan. Suv sarfi oshganda turbina kuraklariga ta’sir qiluvchi kinetik energiya ortadi, natijada turbina aylanish tezligi ham oshadi. Bu generatorning chiqish quvvatini ko‘paytiradi.

Grafikning keyingi qismida parametrlarning ma’lum vaqt davomida deyarli barqaror bo‘lib qolishi kuzatiladi. Bu holat Pelton turbina-generator tizimining optimal ish rejimiga kirganini bildiradi. Barqaror ish rejimida energiya yo‘qotishlari kamayadi va foydali ish koeffitsienti yuqori bo‘ladi.

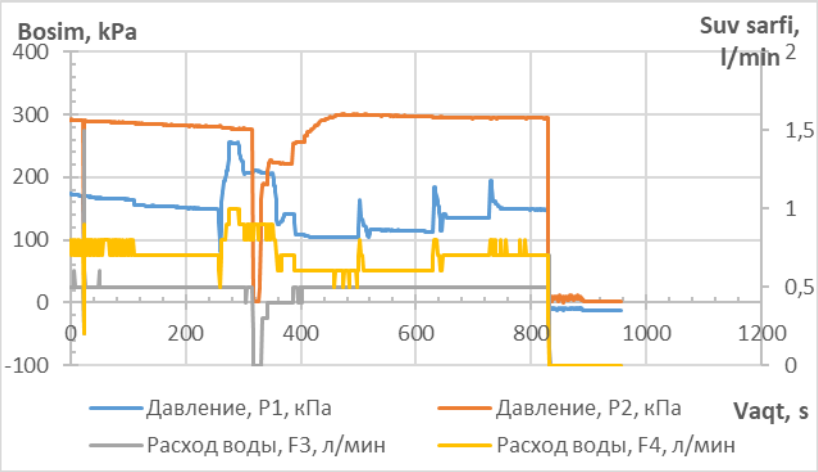
800 sekunddan keyin barcha parametrlarning keskin pasayishi tajriba yakunlanganini yoki tizim to‘xtatilganini bildiradi. Bu vaqtda suv oqimi kamaytirilgan va natijada bosim ham pasaygan.

Jadvalning o‘ng qismida minimal, maksimal va o‘rtacha qiymatlar keltirilgan. Ushbu statistik ma’lumotlar asosida quyidagi xulosalar qilindi:

1. P1 bosimining maksimal qiymati – 256 kPa;
2. P2 bosimining maksimal qiymati – 301 kPa;
3. F3 suv sarfining maksimal qiymati – 1,5 l/min;
4. F4 suv sarfining maksimal qiymati – 1 l/min.

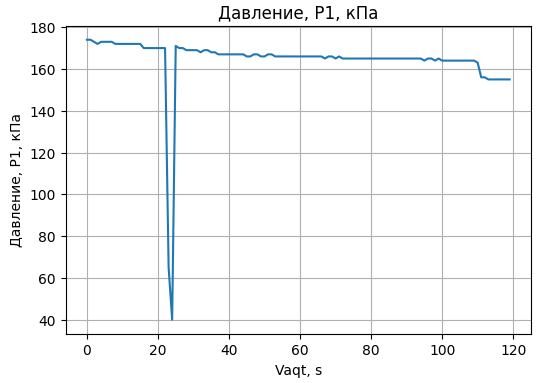
O‘rtacha qiymatlar tizimning umumiy ish rejimini baholash imkonini berdi. Eksperimental natijalar shuni ko‘rsatdiki, suv bosimi va suv sarfi oshishi bilan Pelton turbinasining energetik samaradorligi ham ortadi. Shu bilan birga, gidravlik yo‘qotishlar va oqimning notekisligi tizim samaradorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi.

Eksperimental tadqiqotlar natijasida Pelton turbina-generator tizimi kichik gidroelektr stansiyalarida samarali ishlashi, energiya tejamkorligi yuqori ekanligi hamda qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanish imkonini berishi aniqlandi.



1-rasm. Pelton turbina-generator tizimining asosiy parametrlari vaqt bo‘yicha o‘zgarish grafigi.

Tajriba davomida suv bosimi sensorlari, oqim o‘lchagichlar, aylanish tezligi datchiklari va elektr parametrlarini o‘lchovchi asbob-uskunalardan foydalanildi. O‘lchangan natijalar jadval ko‘rinishida qayd qilinib, ularning asosida grafik tahlillar amalga oshirildi. Grafiklar tizimning turli ish rejimlaridagi barqarorligini, energiya yo‘qotishlarini hamda optimal ishlash nuqtalarini aniqlash imkonini berdi.

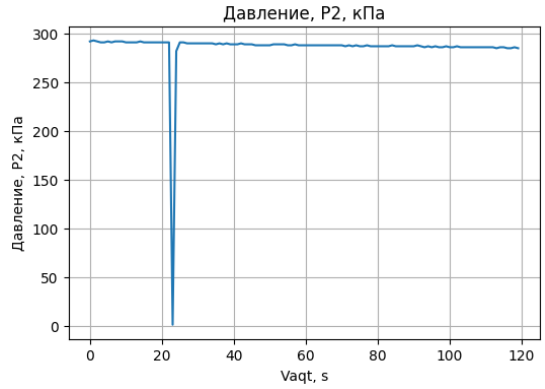


2-rasm. Suv sarfi parametrining vaqt bo‘yicha o‘zgarish grafigi.

Mazkur grafik suv sarfi parametrining vaqt bo‘yicha o‘zgarishini ifodalaydi. Grafikdan ko‘rinib turibdiki, tajriba davomida suv oqimi qiymati ma’lum diapazonda o‘zgargan. Suv sarfi Pelton turbinasining asosiy energiya manbai bo‘lib, uning ortishi turbina kuraklariga ta’sir qiluvchi kinetik energiyaning oshishiga olib keladi. Eksperimental natijalarga ko‘ra, suv sarfi oshgan sari turbina aylanish tezligi va generatorning ishlab chiqarayotgan elektr quvvati ham ortib borgan. Bu esa gidravlik energiyaning mexanik va elektr energiyaga samarali aylantirilayotganini ko‘rsatadi.

Grafiklarni tahlil qilish natijasida Pelton turbina-generator tizimida suv oqimining bosimi va sarfi elektr energiyasi ishlab chiqarish samaradorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Shuningdek, eksperimental tadqiqotlar davomida tizimning optimal ish rejimlari hamda energiya yo‘qotishlariga sabab bo‘luvchi omillar baholandi.

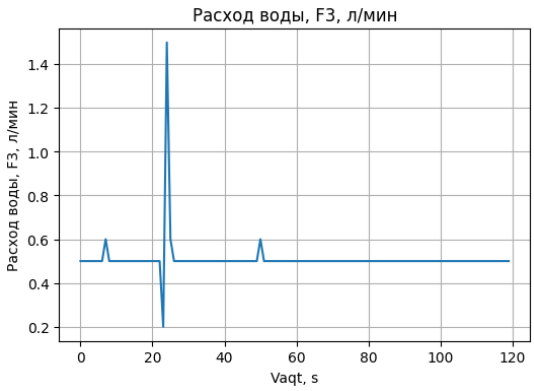
Ushbu grafik ikkinchi parametrning vaqt bo‘yicha o‘zgarishini ko‘rsatadi. Tajriba davomida mazkur parametrning o‘zgarishi Pelton tizimining yuklama holatiga bog‘liq ravishda kuzatildi. Grafikdan ko‘rinadiki, parametr qiymatlari ma’lum vaqtlarda keskin o‘zgarishga ega bo‘lgan. Bunday o‘zgarishlar tizimdagi gidravlik yoki elektr yuklama ta’sirida yuzaga keladi. Eksperimental tadqiqotlar natijasida tizimning dinamik ish rejimlari va parametrlarning barqarorlashish davri aniqlab olindi.



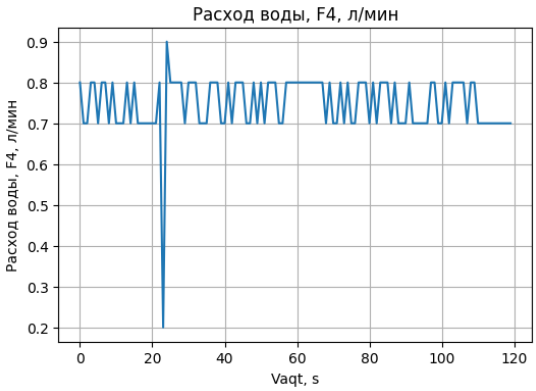
3-rasm. Ikkinchi parametrning vaqt bo‘yicha o‘zgarish grafigi.

Grafiklarni tahlil qilish natijasida Pelton turbina-generator tizimida suv oqimining bosimi va sarfi elektr energiyasi ishlab chiqarish samaradorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Shuningdek, eksperimental tadqiqotlar davomida tizimning optimal ish rejimlari hamda energiya yo‘qotishlariga sabab bo‘luvchi omillar baholandi. Grafikda uchinchi parametrning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi tasvirlangan. Mazkur parametr Pelton turbinasining ishlash samaradorligini baholashda muhim ko‘rsatkichlardan biri hisoblanadi. Grafik natijalari asosida tizimning o‘tkinchi jarayonlari, barqaror ishlash holati va maksimal qiymatlari aniqlandi. Tajriba davomida parametrning ortishi generator chiqish quvvatining ham oshishiga olib kelganligi kuzatildi. Bu esa turbina-generator tizimining samarali ishlashini tasdiqlaydi.

Grafiklarni tahlil qilish natijasida Pelton turbina-generator tizimida suv oqimining bosimi va sarfi elektr energiyasi ishlab chiqarish samaradorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Shuningdek, eksperimental tadqiqotlar davomida tizimning optimal ish rejimlari hamda energiya yo‘qotishlariga sabab bo‘luvchi omillar baholandi.



4-rasm. Uchinchi parametrning vaqt bo‘yicha o‘zgarish grafigi.



5-rasm. Generator tizimining yakuniy chiqish parametrlaridan birining vaqt bo‘yicha o‘zgarishini.

Mazkur grafik generator tizimining yakuniy chiqish parametrlaridan birining vaqt bo‘yicha o‘zgarishini ko‘rsatadi. Grafik tahlili natijasida generatorning yuklama ostidagi ishlash holati, energiya yo‘qotishlari va tizimning umumiy samaradorligi baholandi. Grafikdan ko‘rinib turibdiki, parametr qiymatlarining barqaror holatda ishlashi Pelton turbinasining optimal ish rejimida ishlayotganini bildiradi. Eksperimental natijalar asosida tizimning foydali ish koeffitsienti yuqori ekanligi aniqlandi.

Grafiklarni tahlil qilish natijasida Pelton turbina-generator tizimida suv oqimining bosimi va sarfi elektr energiyasi ishlab chiqarish samaradorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Shuningdek, eksperimental tadqiqotlar davomida tizimning optimal ish rejimlari hamda energiya yo‘qotishlariga sabab bo‘luvchi omillar baholandi.

Eksperimental tadqiqotlar laboratoriya stendida olib borildi. Tadqiqot davomida suv nasosi yordamida kerakli bosim hosil qilindi va suv oqimi Pelton turbinasiga yo‘naltirildi. Turbina vali generator bilan mexanik bog‘langan bo‘lib, aylanish natijasida elektr energiyasi hosil qilindi.

Eksperimental tadqiqotlar laboratoriya stendida olib borildi. Tadqiqot davomida suv nasosi yordamida kerakli bosim hosil qilindi va suv oqimi Pelton turbinasiga yo‘naltirildi. Turbina vali generator bilan mexanik bog‘langan bo‘lib, aylanish natijasida elektr energiyasi hosil qilindi.

Tajriba bir necha bosqichlarda amalga oshirildi:

1. Suv bosimining turli qiymatlarida tizimning ishlashi o‘rganildi.
2. Suv sarfi o‘zgartirilib, generator chiqish quvvati qayd qilindi.
3. Turbina aylanish tezligining generator kuchlanishiga ta’siri tahlil qilindi.
4. Turli yuklama rejimlarida tizimning foydali ish koeffitsienti baholandi.

O‘lchov natijalari asosida grafiklar qurildi va matematik tahlillar amalga oshirildi. Eksperimental natijalar Pelton turbina-generator tizimining kichik gidroelektr stansiyalarida samarali ishlashini ko‘rsatdi.

Xulosa: Olib borilgan eksperimental tadqiqotlar natijasida Pelton turbina-generator tizimining energetik samaradorligi yuqori ekanligi aniqlandi. Suv bosimi va suv sarfi oshishi bilan generator chiqish quvvatining ortishi kuzatildi. Grafik tahlillar tizimning barqaror ishlash rejimlarini aniqlash imkonini berdi. Tadqiqot natijalari kichik gidroelektr stansiyalarini loyihalash va modernizatsiya qilishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Adabiyotlar

[1]. Karimov A.A., Ahmedov Sh.R. Gidroelektr stansiyalar va gidroturbinalar nazariyasi. – Toshkent: “Fan va texnologiya”, 2021. – 256 b.
[2]. Xudoyberdiyev B.Q. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari asoslari. Toshkent: “O‘zbekiston”, 2020. 312 b.
[3]. Abdurahmonov N.T., Rasulov M.S. Gidroenergetik qurilmalar va ularning ishlash prinsiplari. – Samarqand: SamDU nashriyoti, 2019. – 198 b.
[4]. Dixon S.L., Hall C.A. Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014. – 520 p.
[5]. Mazaev V.I. Гидравлические турбины и гидроэлектростанции. – Москва: Энергоатомиздат, 2017. 384 с.
[6]. Žagar D., Avsec J. “Experimental Analysis of Pelton Turbine Efficiency Under Different Operating Conditions” // Renewable Energy, 2021, Vol. 172, pp. 1254–1263.

[7]. Paish O. “Small Hydro Power: Technology and Current Status” // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, Vol. 6, No. 6, pp. 537–556.
[8]. Chapallaz J.M., Eichenberger P., Fischer G. Manual on Pumps Used as Turbines. – Germany: Vieweg Publishing, 2015. – 276 p.
[9]. Munson B.R., Young D.F., Okiishi T.H. Fundamentals of Fluid Mechanics. – Wiley, 2016. – 768 p.
[10]. O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi. Kichik gidroenergetika qurilmalarini loyihalash bo‘yicha texnik tavsiyalar. – Toshkent, 2022.
[11]. Wagner H.J., Mathur J. Introduction to Hydro Energy Systems. – Springer, 2019. – 410 p.
[12]. Patel K., Desai R. “Performance Investigation of Pelton Wheel Turbine Using Experimental Methods” // International Journal of Engineering Research and Technology, 2020, Vol. 9, No. 5, pp. 102–108.
[13]. White F.M. Fluid Mechanics. – McGraw-Hill Education, 2017. – 864 p.
[14]. Nigmatov A.N. Gidrotexnika va gidroenergetika asoslari**.** – Toshkent: TDTU, 2018. – 224 b.
[15]. Pelton R. “Hydraulic Impulse Turbine Development and Efficiency Analysis” // Journal of Hydraulic Engineering, 2019, Vol. 145, No. 7, pp. 44–53.

УДК 543.275,681.586

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ

Б.Б. Мирзалиев [1], Х.Н. Ахмедова[2]

[1]Ферганский государственный технический университет
e-mail mirzaliyevbobur3@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5384-9281
[2] Базовый докторант Национального научно-исследовательского института возобновляемых источников энергиию
E-mail: abonu5956@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0000-1316-3405
(Получена 06.04.2026 г.)

Аннотация: *В статье приведен общий анализ методов измерения влажности, в частности анализ методов измерения влажности воздуха, учет погрешностей измерения, источники инструментальных погрешностей, а также наиболее характерные методы измерения, которые перспективны для комплексного определения параметров воздушной среды.[1]*

Ключевые слова: *Влажность воздуха, методы измерения влажности, прямые и косвенные методы, относительная влажность, инструментальная погрешность, метод теплопроводности, диэлькометрический метод, термодинамический метод, психрометрический метод, метод точки росы, электролитический метод, термоэлектролитеский метод, сорбционно – резистивный метод, сорбционно-емкостной метод.*

Annatatsiya: *Ushbu maqolada namlikni o'lchash usullarining umumiy tahlili, xususan, havo namligini o‘lchash usullarining tahlili, o‘lchash xatolarini hisobga olish, instrumental xatolar manbalari va havo sifati parametrlarini har tomonlama aniqlash uchun istiqbolli bo'lgan eng keng tarqalgan o'lchash usullari keltirilgan.*

Kalit so‘zlar: *Havo namligi, namlikni o‘lchash usullari, to‘g‘ridan-to‘g‘ri va bilvosita usullar, nisbiy namlik, instrumental xato, issiqlik o‘tkazuvchanlik usuli, dielektrik usul, termodinamik usul, psixrometrik usul, shudring nuqtasi usuli, elektrolitik usul, termoelektrolitik usul, sorbsiya-rezistiv usul, sorbsiya-sig‘imli usul.*

Abstract: *This article provides a general analysis of humidity measurement methods, specifically an analysis of air humidity measurement methods, accounting for measurement errors, sources of instrumental errors, and the most common measurement methods that are promising for comprehensive determination of air quality parameters.*

Key words: *Air humidity, humidity measurement methods, direct and indirect methods, relative humidity, instrumental error, thermal conductivity method, dielectric method, thermodynamic method, psychrometric method, dew point method, electrolytic method, thermoelectrolytic method, sorption-resistive method, sorption-capacitive method.*

Все неоптические методы можно разбить на прямые и косвенные методы измерения влажности.

Прямые методы относятся к классу однофазных. Эти методы позволяют измерять

количество водяного пара или его парциальное давление непосредственно в контролируемой пробе, а затем, зная объем пробы и температуру, определять относительную влажность.

Основными из прямых методов измерения влажности являются весовой (гравиметрический), конденсационный, кулонометрический методы. Эти методы имеют следующие достоинства. Например, оценивая точность весового метода, следует признать одним из достоверных и на базе этого метода создают эталоны с погрешностью не более 0,1%; приборы основанные на конденсационном методе прогодны для измерений в условиях большого влагосодержания и при высокой температуре, общая погрешность их невелика; относительно небольшая суммарная погрешность приборов, основанных на кулонометрическом методе (5%), обеспечивает достаточно широкое применение этих влагомеров и их выпуск большими сериями.

Погрешности приборов, работающих по прямому методу, различают на методические и инструментальные. Источниками методических погрешностей могут быть:

1.Для гравиметрического метода:

а) забор пробы воздуха из места, не характерного для оценки всего объема воздуха;

б) наличие в воздухе различных аэрозолей, механических и бактериологи-ческих примесей;

в) изменение давления атмосферы;

г) колебание температуры в процессе измерения.

2.Для конденсационного метода основная методическая погрешность заключается в том, что часть влаги не конденсируется.

3. В кулонометрических влагомерах методическая погрешность порождается током, возникшим при отсутствии влажного воздуха и вызываемым специфической каталической особенностью платиновых электродов, а также наличием химических примесей в воздухе – таких, как аммиак, хлор, фтористый водород /1/.[2]

Источниками инструментальных погрешностей могут служить:

1.В приборах использующих весовой (гравиметрический) метод – неточность в определении объема пробы воздуха, а также массы сорбента до и после измере-ния - недоучет колебаний давления и температуры.

2.В конденсационных влагомерах источниками инструментальных погреш-ностей служат теплообменник, измерители температуры, давления, объема воз-духа и количества конденсата из которых состоит сам прибор.

3.Инструментальная погрешность кулонометрических влагомеров обусловлена неточностью измерения расхода, пропускаемого через ячейку воздуха. Скорость прохождения воздуха может изменяться, так как при длительной эксплуатации нарушается поверхность электродов и уменьшаются сорбционные свойства поглотителя.

Измерение влажности воздуха посредством прямых методов представляет собой многооперационный и трудоемкий процесс, содержащий забор воздуха и сорбцию влаги, а также преобразование сорбированной влаги в состояние возможной количественной оценки и т.д. С другой стороны существенным и основным недостатком метода является громоздкость аппаратуры, продолжительность измерений, трудоемкость и сложность автоматизации измерения. Все это затрудняет широкое использование прямых методов измерения для комплексной оценки среды.[4]

Косвенными называют методы, в которых для оценки влажности окружающей среды используется зависимость свойств воздуха от концентрации водяного пара.

Рассмотрим наиболее характерные методы измерения, которые перспективны для комплексного определения параметров воздушной среды.

1.Метод теплопроводности. Гигрометр, основанный на этом принципе, является разновидностью подобных газоанализаторов /2/. Теплопроводность влажного воздуха, подобно газовой составляющей, при определенной температуре и давлении зависит от влагосодержания:

$$\lambda_в = \lambda_п \cdot + \lambda_с(1-\alpha) \quad (1)$$

где: $\lambda_в, \lambda_п, \lambda_с$ – соответственно теплопроводности влажного воздуха, водяного пара и сухого воздуха;

α - влагосодержание в долях единицы.

Прибор, работающий на данном методе, учитывает разбаланс измерительного моста и указывает содержание влаги.

Достоинство метода – возможность его использования для авто – и телеметрии, а это означает, что гигрометр, работающий на принципе теплопроводности в зависимости от содержания влаги, может быть использован в системах автоматического регулирования микроклимата в помещениях.

Суммарная погрешность этих гигрометров составляет несколько процентов. Она вызвана за счет влияния различного вида примесей, находящихся в любой фазе, температуры и давления на величину суммарной теплопроводности, а также за счет погрешности измерительного моста прибора.[5]

2.Диэлькометрический метод. Диэлькометрический метод измерения влажности воздуха основан на зависимости диэлектрических свойств измерительной емкостной ячейки от влажности воздуха, проходящего через него. Существуют эмпирические формулы зависимости показателя преломления воздуха от парциального давления водяного пара /3/:

$$N = 77{,}6 \cdot \frac{(P-e)}{T} + 72 \cdot \frac{e}{T} + 3{,}75 \cdot 10^5 \quad (2)$$

где: P и e – полное и парциальное давление водяного пара, мб;

Т – температура, ^{0}К.

Относительная влажность воздуха измеряется в процентах:

$$\varphi = 2{,}68 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{T}{E} \cdot (T \cdot N - 22{,}6 \cdot P) \quad (3)$$

где: Е – давление насыщенного пара при температуре Т, мб.

Точность метода на частоте до 50 МГц невелика. На СВЧ частотах (до ГГц) при тщательном изготовлении прибора погрешность может быть снижена примерно до 1% относительной влажности при 20^{0}С. Достоинства СВЧ метода – высокая чувствительность и точность, высокое быстродействие, отсутствие влияния на исследуемый газ (воздух). Недостатки метода – сложность и высокая стоимость измерительной аппаратуры, необходимость стабилизации температуры и давления воздуха или компенсация их влияния. Погрешности могут возникать из-за загрязнений, капельной влаги, паров полярных жидкостей, других газов в анализируемом воздухе.

3.Термодинамические методы. Массоперенос вода – пар сопровождается теплопереносом за счет скрытой теплоты парообразования. Скорость массопереноса определяется температурой испаряющей поверхности и давление пара в окружающей среде. Термодинамические методы используют эту зависимость при измерении влажности воздуха.

4.Психрометрический метод. Психрометрический метод измерения влажности воздуха является одним из самых распространенных методов и основан на зависимости скорости испарения влаги из влажных материалов от относительной влажности окружающей среды /4/. Скорость испарения влаги контролируется посредством измерения температуры влажного материала.

Разность температур влажного материала $t_м$ и окружающей среды $t_с$ (т.к. «психрометрическая разность») определяется по формуле /5/:

$$\varphi = \frac{1}{E} \cdot [E_м - A \cdot P \cdot (t_с - t_м), \quad (4)$$

где: φ – относительная влажность воздуха;

Е, $E_м$ – давление насыщенных водяных паров при температурах $t_с$ и $t_м$;

$t_с - t_м$ – психрометрическая разность;

А – психрометрический коэффициент;

Р – давление среды.

Как видно из формулы (4), точность определения φ психрометрическим методом зависит от точности измерения $t_c - t_м$, от точности учета Р, от стабилизации коэффициента А. Так как механизм тепло- и массо- обмена межлу влажным материалом и окружающей средой является весьма сложным для теоретических расчетов /6/, так коэффициент А определяют обычно экспериментальным путем. На величину А влияют конструктивные особенности психрометра и скорость воздушного потока. В наибольшей степени зависит от скорости обдува смоченного термометра, но при скорости обдува, превышающей 3 м/с, психрометрический коэффициент перестает зависеть от скорости обдува /7/. Для уменьшения скорости воздуха психрометры обычно работают в проточном режиме со стабилизированной скоростью воздушного потока, что усложняет их конструкцию.[3]

Психрометрический метод обычно применяется для измерения относительной влажности воздуха (газов) при положительных температурах и относительно узком температурном диапазоне (5-40^{0}С). Имеется возможность применения данного метода для относительных температур /5,6/ и при высоких положительных температурах /5,6,8/, однако в этих случаях конструкция психрометрического датчика усложняется, а точность измерения уменьшается.

К недостаткам психрометрического метода относятся его инерционность, зависимость от скорости, давления и запыленности измеряемой среды /7,9/.

С понижением температуры и относительной влажности растет погрешность измерения психрометрическим методом. Психрометрические датчики не отличаются малыми габаритами и не могут быть использованы для контроля влажности в малых объемах; при взаимодействии с окружающей средой они изменяют её влажностные параметры и могут работать только в проточном режиме.

Достоинствами психрометрического метода являются его относительная простота и возможность автоматизации. С помощью тщательно исполненных психрометров с применением чувствительных датчиков температуры возможны градуировка и поверка других гигрометров.

5.Метод точки росы. К числу основных методов измерения влажности относится метод измерения по «точке росы». Этот метод основан на принципе Реньо и является, как психрометрический, одним из наиболее старых методов измерения влажности воздуха. Сущность данного метода основана на измерении температуры, при которой измеряемый влажный воздух становится насыщенным. Точность данного метода достаточно высока и определяется в основном с точностью фиксации точки росы. Метод точки росы можно применять для автоматического измерения влажности газов в широких диапазонах температуры и давления /5,6/, про этом высокую точность измерений можно получить при низких отрицательных температурах и малых значениях относительной влажности, т.е. там, где применение психрометрического метода невозможно или связано с большими погрешностями. Отдельные датчики построенные на основе этого метода можно применять для измерения влажности воздуха при высоких температурах и переменном химическом составе контролируемой среды.

Однако метод точки росы является конструктивно сложным, требует тщательной очистки газа от пыли и загрязнений, имеет малую виброустойчивость и относительно большую погрешность при высоких значениях относительной влажности, не может быть применен для измерения влажности воздуха в малых объемах.

Основное достоинство метода – высокая точность измерения. Погрешность составляет доли процента в широком диапазоне температур и давлений.

Существенный недостаток – многооперационность измерений и сложность используемой аппаратуры.[6]

6.**Электролитический метод.** Данный метод основан на зависимости электропроводности гигроскопических солей от влажности окружающей среды. В настоящее время существует большое разнообразие датчиков, использующих этот метод. Эти датчики

представляют собой расположенные на диэлектрике электроды, между которых находится слой гигроскопического вещества. Электроды включаются в схему гигрометра, который измеряет электрические параметры полученного датчика. В качестве гигроскопического вещества в большинстве случаев используется хлористый литий /5,6/.

Характерными свойствами для датчиков использующих электролитический метод является их чувствительность к влажности газов, простота и надежность по устройству, малые габариты. Датчики измеряют относительную влажность воздуха. С помощью этих датчиков возможно измерение влажности газов как в малых так и в больших объемах. Они могут быть как проточными так и погружными.

Однако в электролитических датчиках, в течении длительного времени, трудно обеспечить стабильность характеристик. Это связано с явлением старения влагочувствительной пленки и влиянием поляризационных процессов. В целях уменьшения влияния поляризации электроды выполняют из благородных металлов, а измерение параметров датчика осуществляют на переменном токе повышенной частоты при малой плотности тока. Применение электролитических датчиков в среде с относительной влажностью близкой к 100% приводит к изменению градуировки, а также к разрушению влагочувствительного элемента. Использование таких датчиков ограничено относительно узким диапазоном измерения температуры (до 70^0C).

7. Термоэлектролитеский метод. Термоэлектролитеский метод аналогичен методу точки росы. Применение данного метода также позволяет избежать некоторые недостатки электролитических датчиков. Разница между термоэлектролитеским методом и методом точки росы заключается лишь в том, что определяется температура равновесия водяного пара в окружающей среде и насыщенного раствора какого-либо вещества. В целом, термоэлектролитический метод основан на зависимости максимальной упругости водяного пара над поверхностью насыщенного водяного раствора гигроскопической соли от температуры. В датчике происходит два процесса: испарение влаги из раствора соли в окружающую среду и поглощение влаги этим раствором из окружающей среды. Первый процесс происходит в случае если парциальное давление водяного пара окружающей среды меньше упругости пара над поверхностью водяного раствора соли, а второй процесс происходит в обратном случае. Эта равновесная температура и является входной величиной датчика. При переменной влажности воздуха концентрация электролита тоже переменна. При этом изменяется величина тока через датчик. Соответствующее изменение температуры датчика выравнивает упругости водяных паров окружающей среды и раствора электролита /5/.

Известно большое количество самых разнообразных термоэлектролитеских датчиков. В этих датчиках в качестве температурного чувствительного элемента применяются малогабаритные и малоинерционные керамические или остеклованные термометры сопротивления, полупроводниковые терморезисторы, платиновые термометры сопротивления, стандартные двойные термометры сопротивления и ряд др.

Гигрометры выполненные на основе термоэлектролитического метода обладают относительно устойчивой градуировочной характеристикой, малой инерционностью, отсутствием собственного сорбционного гистерезиса, взаимозаменяемостью, способностью работать в условиях запыленного воздуха. Применяются для измерения влажности воздуха (газов), не взаимодействующих с электролитом.[8]

Источником погрешности термоэлектролитических датчиков является постепенное загрязнение чувствительного элемента, а также погрешность датчиков обусловлена инерционностью регулятора температуры, недостаточностью чувствительности термометра. В целом недостатками термоэлектролитических датчиков являются зависимости их показаний от температуры контролируемой среды и от скорости воздушного потока.

8. Сорбционно – резистивный метод. Датчики, работающие по принципу сорбционно – резистивного метода, используют свойства диэлектрика изменять поверхностное или объемное сопротивление в зависимости от изменения влажности

контролируемой среды. Разнообразие применяемых в настоящее время сорбционно – резистивных датчиков связано с выбором диэлектрической подложки. Угольный целлюлезный датчик (США) выполнен в виде акриловой полости, покрытый слоем желатиновой целлюлозы, включающей тонко размолотые частицы угля в виде суспензии. Электродами служат металлизированные боковые грани полоски. Датчики отличаются хорошей воспроизводимостью (1,5%). По сравнению с электролитическими датчиками обладают более узкой петлей гистерезиса, более устойчивы к влажной атмосфере, мало чувствительны к загрязнениям /6/. В США получили распространение также гигрометры со свинцово-йодистой пленкой. Технология их изготовления несложна: на стеклянную подложку методом возгонки в вакууме вводится свинцово-йодистая пленка, затем с помощью магнитной маски наносятся гребенкообразные золотые электроды. Устойчивостью к длительному воздействию высокой относительной влажности отличаются керамические датчики из титана церия и специальных видов керамики /6/ в них не проявляются эффекты насыщения, нет заметного гистерезиса. Датчики обладают хорошей взаимозаменяемостью. В республике получили распространение датчики из микропористого эбонита /4,6/, они характеризуются малой инерционностью, хорошей взаимозаменяемостью (2,0%). Воспроизводимость влажностной характеристики 3%. Общим недостатком всех сорбционно-резистивных датчиков является зависимость их характеристик от температуры, химического состава и давления окружающей среды, наличие гистерезиса в характеристике.

9.Сорбционно-емкостной метод. В научных литературах приводятся много сообщений о перспективах использования сорбционно-емкостного метода. Он основан на измерении диэлектрических параметров в емкости, в которой диэлектриком является влагочувствительный материал. Одним из самых распространенных типов сорбционно-емкостных датчиков являются датчики с алюминиево-оксидной пленкой. Слой окиси алюминия наносится на поверхность алюминиевой подложки, выполняющий роль одного из электродов. В качестве второго электрода используется тонкий слой напыленного металла, проницаемый для паров воды, и не проницаемый для пыли.

Представляет интерес миниатюрный датчик, о котором сообщается ниже.

На кварцевой нити диаметром 0,1 мм и длиною 3 мм напылен слой окиси алюминия и сделаны контакты; выходными параметрами датчика являются его емкость и сопротивление. Во избежании поляризации электродов, измерения параметров следует вести на переменном токе. В качестве диэлектрика находят применение и другие пористые материалы – керамика, гипс, измельченный селикогель, пористые окисные пленки /5,6/.

Общими свойствами таких датчиков является их взаимозаменяемость, малый гистерезис, малая постоянная времени.

Список литературы

[1]. Humiditi and Moistre: Mtasurement and Moistre: Measurement and control in scians and industru / Ed. A. Wexler, A.Wildhack. V.1-4. N.9: 1965.-V.3-569 p.

[2]. Пинхусович Р.Л. Приборы для измерения микро и макроконцентраций влаги в газах и жидкостях// Приборы исистемы управления – 1970. N1.-С.33-36.

[3]. М.В.Голоцын, А.М.Пронина – “Альтернативные энергоносители” М, 2004 год.

[4]. Альтернативная энергия: перспектива и проблеммы. Ж.Ш. Бекмирзаев, Д.Ш. Аппаков, Б.Т. Жабборов, А.А. Абдулхамидов - студенты группы 52-17 ЭЭр Научный руководитель: М.М. Матбабаев, к.т.н., доцент. 2024

[5]. Интенсификация теплоотдачи и повышение энергетической эффективности конвективных поверхностей нагрева. М.: МЭИ, 1999

[6]. Кузьма-Кичта. Методы интенсификации теплообмена. М.: МЭИ, 2001

[7]. Андрианова Т.Н. и др. "Сборник задач по технической термодинамике"С М.: 2000

[8]. Гохштейн Д.Н. Современные методы термодинамического анализа энергетических установок. –М.: МЭИ, 2000.

УДК 538.911, 935, 958, 975

ELEKTR ENERGETIKA TIZIMLARIDA ACHY ISHGA TUSHISH XAVFINI YUKLAMA PROGNOZI ASOSIDA OLDINDAN ANIQLASH

A.Ya. Botiraliyev[1]*, I.X. Xoliddinov[2], A.A. To‘xtashev[2], S.U. Maxammadjonov[2]

[1]*Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институти,*
[2]*Farg‘ona davlat texnika universiteti*
**Mas’ul muallif, e-mail: yahyobekbotiraliyev@gmail.com*
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Mazkur maqolada elektr energetika tizimlarida avtomatik chastota yuklamani rostlash (ACHR) tizimining ishga tushish xavfini yuklama prognozi asosida oldindan aniqlash masalasi tadqiq etilgan. Elektr energetika tizimining barqaror ishlashi generatsiya va iste’mol o‘rtasidagi quvvat muvozanatiga bog‘liq bo‘lib, ushbu muvozanatning buzilishi tizim chastotasining og‘ishiga olib keladi. Tadqiqotda tizim chastotasining o‘zgarishiga asosiy ta’sir etuvchi omil sifatida yuklama dinamikasi qaralgan va yuklama prognozlash usullari yordamida chastota og‘ishlarini oldindan baholash imkoniyatlari o‘rganilgan. Yuklama vaqt qatorlari trend, mavsumiy va tasodifiy komponentlarga ajratilib, LSTM asosidagi sun’iy intellekt modeli yordamida prognoz qilingan. Olingan prognoz qiymatlar asosida tizim chastotasi matematik model yordamida hisoblab chiqilgan hamda kritik chastota chegaralari bilan taqqoslangan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, yuklama prognozlash modeli yuqori aniqlik bilan ishlagan va chastota og‘ishlarini oldindan aniqlash imkonini bergan. Shuningdek, MAE, RMSE, MAPE va determinatsiya koeffitsienti yordamida modelning statistik aniqligi baholangan. Taklif etilgan metodologiya energotizimni proaktiv boshqarish, avariyaviy holatlarning oldini olish hamda elektr ta’minoti ishonchliligini oshirish uchun samarali yondashuv ekanligi aniqlandi.*

Tayanch so‘zlar: *ACHR, chastota barqarorligi, yuklama prognozi, elektr energetika tizimi, sun’iy intellekt, LSTM modeli, mashinaviy o‘rganish, quvvat balansi, avtomatik boshqaruv, energotizim, chastota og‘ishi, yuklama dinamikasi, generatsiya quvvati, prognozlash modeli, smart grid, energetika xavfsizligi, energiya ta’minoti, matematik modellashtirish, statistik tahlil, RMSE, MAE, MAPE, determinatsiya koeffitsienti, vaqt qatorlari, energiya samaradorligi, avariyaviy holat, proaktiv boshqaruv, elektr yuklamasi, chastota nazorati, energetika avtomatikasi.*

Аннотация. *В данной статье исследуется вопрос предварительного определения риска срабатывания системы автоматического регулирования частоты и нагрузки (АЧР) в электроэнергетических системах на основе прогнозирования нагрузки. Стабильная работа электроэнергетической системы зависит от баланса мощности между генерацией и потреблением, а нарушение данного баланса приводит к отклонению частоты системы. В исследовании динамика нагрузки рассматривается как основной фактор, влияющий на изменение частоты, а для прогнозирования частотных отклонений применяются методы прогнозирования нагрузки. Временные ряды нагрузки были разделены на трендовую, сезонную и случайную составляющие, после чего прогнозирование осуществлялось с использованием модели LSTM на основе искусственного интеллекта. На основе полученных прогнозных значений была рассчитана частота системы с помощью математической модели и выполнено сравнение с критическими пределами частоты. Результаты исследования показали, что предложенная модель позволяет заранее определять опасные режимы работы системы и снижать вероятность срабатывания АЧР. Кроме того, точность модели была оценена с использованием статистических показателей MAE, RMSE, MAPE и коэффициента детерминации. Предложенная методология является эффективным инструментом для проактивного управления энергосистемой, предотвращения аварийных ситуаций и повышения надежности электроснабжения.*

Ключевые слова: *АЧР, стабильность частоты, прогнозирование нагрузки, электроэнергетическая система, искусственный интеллект, модель LSTM, машинное обучение, баланс мощности, автоматическое управление, энергосистема, отклонение частоты, динамика нагрузки, мощность генерации, модель прогнозирования, smart grid, энергетическая безопасность, электроснабжение, математическое моделирование, статистический анализ, RMSE, MAE, MAPE, коэффициент детерминации, временные ряды, энергоэффективность, аварийный режим, проактивное управление, электрическая нагрузка, контроль частоты, энергетическая автоматика.*

Abstract. *This article investigates the issue of predicting the risk of activation of the automatic frequency load shedding (AFLS) system in electric power systems based on load forecasting. The stable*

operation of a power system depends on the balance between power generation and consumption, while imbalance leads to deviations in system frequency. In this study, load dynamics are considered the main factor affecting frequency changes, and load forecasting methods are used to predict frequency deviations in advance. Load time series were divided into trend, seasonal, and random components, and forecasting was carried out using an LSTM model based on artificial intelligence. Based on the obtained forecast values, the system frequency was calculated using a mathematical model and compared with critical frequency limits. The research results showed that the proposed model makes it possible to identify dangerous operating conditions in advance and reduce the probability of AFLS activation. In addition, the accuracy of the model was evaluated using statistical indicators such as MAE, RMSE, MAPE, and the coefficient of determination. The proposed methodology serves as an effective tool for proactive power system management, prevention of аварийных situations, and improvement of power supply reliability.

Keywords: *AFU, frequency stability, load forecasting, electric power system, artificial intelligence, LSTM model, machine learning, power balance, automatic control, power system, frequency deviation, load dynamics, generation power, forecasting model, smart grid, energy security, power supply, mathematical modeling, statistical analysis, RMSE, MAE, MAPE, coefficient of determination, time series, energy efficiency, emergency condition, proactive control, electrical load, frequency monitoring, power system automation.*

1.Kirish. Bugungi kunda elektr energetika tizimlari zamonaviy infratuzilmaning eng muhim tarkibiy qismlaridan biri hisoblanadi. Sanoat korxonalari, transport tizimlari, aloqa vositalari va axborot texnologiyalarining uzluksiz ishlashi elektr energiyasi ta’minotining ishonchliligiga bevosita bog‘liqdir. Elektr energiyasi iste’molining ortib borishi hamda energetika tizimlarining murakkablashuvi tizim barqarorligini ta’minlash masalasini dolzarb ilmiy yo‘nalishlardan biriga aylantirmoqda. Ayniqsa, elektr ta’minoti tizimda chastotasining nominal qiymatdan og‘ishi katta texnik va iqtisodiy yo‘qotishlarga sabab bo‘lishi mumkin [1].

Elektr energetika tizimida chastota generatsiya va iste’mol o‘rtasidagi quvvat balansining asosiy ko‘rsatkichi hisoblanadi. Agar ishlab chiqarilayotgan quvvat iste’mol qilinayotgan quvvatga teng bo‘lsa, chastota nominal qiymatda saqlanadi. Yuklama ortishi yoki generatsiyaning kamayishi natijasida tizimda quvvat tanqisligi yuzaga keladi va chastota pasayadi. Aksincha, generatsiya ortiqcha bo‘lgan holatda chastota oshadi. Shu sababli chastota barqarorligini saqlash energotizimni boshqarishning asosiy vazifalaridan biridir [2].

Energotizimlarda chastota barqarorligini ta’minlash uchun turli avtomatik boshqaruv va himoya tizimlari qo‘llaniladi. Shulardan biri avtomatik chastota yuklamani rostlash tizimi — ACHR hisoblanadi. ACHR tizimi chastota kritik qiymatdan pastga tushgan holatda tizimdagi ayrim yuklamalarni avtomatik ravishda uzib qo‘yadi va shu orqali energotizimni avariyaviy holatdan saqlab qoladi. Biroq ushbu tizimning ishga tushishi elektr energiyasi uzilishlariga sabab bo‘ladi va iste’molchilarga iqtisodiy zarar yetkazishi mumkin [3].

An’anaviy energetika tizimlarida chastota nazorati asosan reaktiv boshqaruv tamoyiliga asoslanadi. Bunda tizim chastotasi kritik qiymatdan pasaygandan keyingina avtomatik himoya vositalari ishga tushadi. Zamonaviy energetika tizimlarida esa proaktiv boshqaruv konsepsiyasi muhim ahamiyat kasb etmoqda. Ushbu yondashuv tizimdagi xavfli holatlarni oldindan aniqlash va ularning oldini olishga asoslanadi. Proaktiv boshqaruvni amalga oshirish uchun yuklama prognozi va sun’iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish zarur hisoblanadi [4].

Yuklama prognozi elektr energetika tizimlarini boshqarishning muhim tarkibiy qismlaridan biridir. Elektr yuklamasi kun davomida, fasllar bo‘yicha va iste’molchilarning faoliyatiga qarab o‘zgarib turadi. Yuklama o‘zgarishlarini oldindan aniqlash generatsiya quvvatlarini optimal boshqarish, energiya resurslaridan samarali foydalanish hamda tizim chastotasining barqarorligini saqlash imkonini beradi. Shu sababli yuklama prognozlash masalalari energetika sohasidagi ilmiy tadqiqotlarning asosiy yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi [5].

So‘nggi yillarda yuklama prognozlashda sun’iy intellekt va mashinaviy o‘rganish usullaridan keng foydalanilmoqda. Xususan, sun’iy neyron tarmoqlar, regressiya algoritmlari, vaqt qatorlari tahlili va LSTM modellari elektr yuklamasining kelajakdagi qiymatlarini yuqori aniqlik bilan prognozlash imkonini bermoqda. LSTM modeli vaqt bo‘yicha bog‘liq ma’lumotlarni qayta ishlashda samarali hisoblanadi va energotizim yuklamasining murakkab dinamikasini aniqlash imkonini beradi [6].

Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi elektr energetika tizimlarida ACHR ishga tushish xavfini yuklama prognozi asosida oldindan aniqlash metodologiyasini ishlab chiqishdan iborat. Tadqiqot davomida yuklama prognozlash uchun LSTM modeli qo‘llanildi, energotizim chastotasining matematik modeli ishlab

chiqildi hamda prognoz qilingan yuklama va generatsiya qiymatlari asosida tizim chastotasi baholandi. Bundan tashqari, chastota kritik qiymatlarga yaqinlashgan holatlarda xavfni aniqlash mezonlari ishlab chiqildi. [7]

Taklif etilgan metodologiya energotizimni proaktiv boshqarish imkonini beradi hamda tizimda yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan avariyaviy holatlarni oldindan aniqlashga xizmat qiladi. Ushbu yondashuv elektr energetika tizimlarining barqarorligi va ishonchliligini oshirish, elektr uzilishlarini kamaytirish, energiya samaradorligini ta’minlashda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega hisoblanadi. Kelgusida mazkur metodologiyani real energetika obyektlarida qo‘llash va yanada takomillashtirish istiqbolli ilmiy yo‘nalishlardan biri bo‘lib qoladi. [8]

2.Metodologiya. Mazkur tadqiqotda elektr energetika tizimida chastota barqarorligini ta’minlash masalasi kompleks, ko‘p bosqichli yondashuv asosida ko‘rib chiqiladi. Taklif etilayotgan metodologiya tizimdagi quvvat muvozanatini prognozlash, chastota dinamikasini modellashtirish, xavf holatlarini aniqlash hamda avtomatik boshqaruv qarorlarini ishlab chiqishni o‘z ichiga oladi. Ushbu yondashuv ayniqsa qayta tiklanuvchi energiya manbalari ulushi ortib borayotgan sharoitda energotizimning turg‘unligini ta’minlash uchun muhim ahamiyatga ega.[9-10]

2.1.Chastota dinamikasining matematik modeli

Elektr energetika tizimida chastota o‘zgarishi generatsiya va yuklama o‘rtasidagi quvvat nomutanosibligi bilan bevosita bog‘liq bo‘lib, tizimning umumiy energetik holatini ifodalovchi asosiy parametrlaridan biri hisoblanadi. Energotizimda ishlab chiqarilayotgan elektr quvvati bilan iste’mol qilinayotgan quvvat o‘rtasida muvozanat buzilgan holatlarda tizim chastotasining o‘zgarishi kuzatiladi. Agar generatsiya quvvati iste’mol yuklamasidan ortiq bo‘lsa, tizim chastotasi oshadi, aksincha, yuklama generatsiyadan katta bo‘lgan holatlarda esa chastota pasayadi. Shu sababli chastota energetika tizimining dinamik barqarorligini tavsiflovchi muhim ko‘rsatkichlardan biri sifatida qaraladi [11].

Energotizimning dinamik xatti-harakati hamda chastotaning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi quyidagi differensial tenglama orqali ifodalanadi:

$$\frac{2H}{f_0}\frac{df}{dt} = P_{gen}(t) - P_{load}(t) - D\Delta f(t) \quad (1)$$

Mazkur matematik model energotizimning fizik va dinamik xususiyatlarini tavsiflashda fundamental ahamiyat kasb etadi. Tenglama orqali tizimda yuzaga keladigan chastota tebranishlari, quvvat balansidagi o‘zgarishlar hamda tizimning ushbu o‘zgarishlarga nisbatan reaksiyasi aniqlanadi. Shuningdek, ushbu model energotizimning vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchan rejimlarini tahlil qilish va chastota barqarorligini baholash imkonini beradi.

Bu yerda: H-tizim inertsiya konstantasi bo‘lib, generatorlarning aylanuvchi massalari hisobiga hosil bo‘ladigan kinetik energiyani ifodalaydi hamda tizimning chastota o‘zgarishlariga qarshilik ko‘rsatish qobiliyatini tavsiflaydi; f_0-nominal chastota qiymati bo‘lib, energetika tizimining normal ish rejimidagi standart chastotasini bildiradi ($50\ Hz$); $P_{gen}(t)$-vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchi generatsiya quvvati bo‘lib, elektr stansiyalar tomonidan ishlab chiqarilayotgan umumiy elektr energiyasi quvvatini ifodalaydi; $P_{load}(t)$-tizim yuklamasi bo‘lib, iste’molchilar tomonidan talab qilinayotgan umumiy elektr quvvatini tavsiflaydi; D-damping koeffitsienti bo‘lib, tizimning chastota og‘ishlariga nisbatan tabiiy va boshqaruv asosidagi so‘nish xususiyatlarini ifodalaydi; $\Delta f(t)$-nominal qiymatga nisbatan chastota og‘ishini ko‘rsatadi.

Mazkur model tizimning dinamik holatini matematik jihatdan ifodalash imkonini berib, energotizimning barqaror ishlash rejimini tahlil qilishda muhim vosita hisoblanadi. Ayniqsa, elektr yuklamalarining keskin o‘zgarishi, generatsiya quvvatidagi nomutanosibliklar yoki avariyaviy holatlarda tizim chastotasining qanday o‘zgarishini aniqlashda ushbu tenglama keng qo‘llaniladi.Shu bilan birga, model yordamida energotizimning kichik va katta buzilishlarga bo‘lgan javob reaksiyasi baholanadi hamda chastota barqarorligini saqlash uchun zarur boshqaruv choralarini ishlab chiqish imkoniyati yaratiladi. Shu sababli ushbu matematik model zamonaviy elektr energetika tizimlarida chastota nazorati, avtomatik boshqaruv algoritmlarini ishlab chiqish va tizim turg‘unligini ta’minlash bo‘yicha tadqiqotlarning asosiy nazariy poydevorlaridan biri hisoblanadi.[12]

2.2.Soddalashtirilgan chastota modeli

Amaliy hisoblashlarda va real vaqt rejimida tezkor baholash jarayonlarini amalga oshirishda energotizimning to‘liq differensial modelidan foydalanish ayrim hollarda murakkablik tug‘dirishi mumkin. Shu sababli chastota o‘zgarishini operativ tarzda aniqlash va tizim holatini tezkor baholash maqsadida soddalashtirilgan

matematik model qo‘llaniladi. Ushbu model energotizimdagi quvvat nomutanosibligi va chastota og‘ishi o‘rtasidagi bog‘liqlikni soddalashtirilgan ko‘rinishda ifodalash imkonini beradi.
Mazkur soddalashtirilgan model quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\Delta f(t) \approx \frac{\Delta P_{load}(t)}{K_s} \quad (2)$$

Ushbu matematik ifoda tizimdagi yuklama o‘zgarishi natijasida yuzaga keladigan chastota og‘ishini baholash uchun qo‘llaniladi. Modelning asosiy afzalligi uning soddaligi va hisoblash tezligida bo‘lib, bu real vaqt boshqaruv tizimlarida muhim ahamiyat kasb etadi. Ayniqsa, operativ boshqaruv, monitoring va avtomatik himoya algoritmlarida ushbu modeldan samarali foydalanish mumkin.

Bu yerda: $\Delta f(t)$ — vaqt bo‘yicha yuzaga keladigan chastota og‘ishini ifodalaydi hamda tizim chastotasining nominal qiymatdan qanchalik farq qilayotganini ko‘rsatadi; $\Delta P_{load}(t)$ — yuklama quvvatining o‘zgarishi bo‘lib, iste’molchilar tomonidan talab qilinayotgan elektr quvvatidagi ortish yoki kamayishni tavsiflaydi; K_s — tizimning chastotaga sezgirlik koeffitsienti bo‘lib, inertsiya va regulyatsiya xususiyatlarini umumlashtiradi hamda tizimning yuklama o‘zgarishlariga bo‘lgan sezgirligini ifodalaydi.

Ushbu model yordamida energotizimda yuzaga keladigan chastota og‘ishlarini tezkor ravishda aniqlash va baholash imkoniyati yaratiladi. Shuningdek, model operativ hisoblashlarda tizimning dinamik holatini soddalashtirilgan ko‘rinishda ifodalab beradi. Ushbu yondashuv ayniqsa chastota nazorati, avariyaviy holatlarni aniqlash va avtomatik boshqaruv algoritmlarini ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega. Soddalashtirilgan model real vaqt rejimida ishlovchi aqlli boshqaruv tizimlari uchun qulay matematik asos bo‘lib xizmat qiladi. Ushbu model yordamida chastota o‘zgarishlari va yuklama nomutanosibliklari o‘rtasidagi bog‘liqlikni tezkor tahlil qilish hamda tizim barqarorligini baholash imkoniyati kengayadi. Shu sababli mazkur model elektr energetika tizimlarida chastota monitoringi va operativ boshqaruv jarayonlarida keng qo‘llaniladigan muhim matematik vositalardan biri hisoblanadi [13-15].

2.3. Yuklama modelini shakllantirish.

Elektr energiyasi iste’moli turli texnologik, ijtimoiy va ekspluatatsion omillar ta’sirida shakllanadi hamda o‘zining dinamik xususiyatiga ega bo‘ladi. Shu sababli energotizim yuklamasini matematik jihatdan tavsiflashda uni alohida komponentlarga ajratib tahlil qilish muhim ahamiyat kasb etadi. Mazkur yondashuv yuklama tarkibini chuqurroq o‘rganish, uning vaqt bo‘yicha o‘zgarish qonuniyatlarini aniqlash hamda prognozlash aniqligini oshirish imkonini beradi.

Elektr tarmoq yuklamasi deterministik va tasodifiy komponentlardan tashkil topgan bo‘lib, quyidagi matematik model orqali ifodalanadi:

$$P_{load}(t) = P_{trend}(t) + P_{season}(t) + P_{stochastic}(t) \quad (3)$$

Bu matematik ifoda yuklama dinamikasining asosiy tarkibiy qismlarini tavsiflaydi hamda elektr energiyasi iste’molining vaqt bo‘yicha shakllanishini tizimli ravishda ifodalash imkonini beradi. Model yuklama o‘zgarishini alohida komponentlar kesimida ko‘rib chiqishga asoslangan bo‘lib, bu energotizim rejimlarini tahlil qilishda muhim ahamiyatga ega.

Bu yerda:$P_{trend}(t)$ — uzoq muddatli trend komponenti bo‘lib, yuklamaning umumiy o‘sish yoki kamayish tendensiyasini ifodalaydi. Ushbu komponent energiya iste’molining vaqt davomida shakllanadigan asosiy yo‘nalishini tavsiflaydi hamda yuklama dinamikasining barqaror o‘zgarish qismini aks ettiradi; $P_{season}(t)$ -mavsumiy komponent bo‘lib, yuklamaning ma’lum davriylik asosida takrorlanib turadigan o‘zgarishlarini ifodalaydi. Ushbu komponent kunlik, haftalik yoki mavsumiy xarakterdagi yuklama tebranishlarini tavsiflash imkonini beradi; $P_{stochastic}(t)$ -tasodifiy yoki stoxastik komponent bo‘lib, yuklamadagi oldindan aniq bashorat qilib bo‘lmaydigan o‘zgarishlarni ifodalaydi. Mazkur komponent yuklama qiymatlarining tasodifiy tebranishlari va prognoz xatoliklarini o‘z ichiga oladi.

Taklif etilgan model tarmoq yuklamasining vaqt bo‘yicha o‘zgarish dinamikasini matematik jihatdan tavsiflash imkonini beradi. Yuklamani alohida tarkibiy qismlarga ajratish orqali uning shakllanish mexanizmlarini chuqurroq tahlil qilish va yuklama o‘zgarishlarining sabablarini aniqlash mumkin bo‘ladi. Bu esa o‘z navbatida elektr energiyasining sifat ko`rsatkichlari o`zgarishini yanada aniqroq prognozlash hamda operativ boshqaruv samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Yuklama prognozi sun’iy intellekt asosida amalga oshiriladi:

$$P_{load}^{prog}(t) = f(P(t-1), P(t-2), \dots, X(t)) \quad (4)$$

Bu yerda: $f(\cdot)$ — LSTM modeli, $X(t)$ — tashqi omillar (ob-havo, vaqt, kun turi)

2.4. Chastota prognozi modeli

Elektr energetika tizimida chastota prognozi tizimning kelajakdagi holatini oldindan baholashda muhim ahamiyat kasb etadi. Chastotaning vaqt bo‘yicha o‘zgarishini oldindan aniqlash energotizimning barqaror ishlashini ta’minlash, quvvat nomutanosibligini baholash hamda avariyaviy holatlarning oldini olish

imkonini beradi. Shu sababli prognoz qilingan yuklama va generatsiya qiymatlari asosida tizim chastotasining kelajakdagi qiymatini aniqlash energotizimni operativ boshqarishning asosiy bosqichlaridan biri hisoblanadi.

Mazkur tadqiqotda chastota prognozi yuklama va generatsiya prognozlari asosida quyidagi matematik model yordamida aniqlanadi:

$$f_{prog}(t) = f_0 + \frac{P_{gen}^{prog}(t) - P_{load}^{prog}(t)}{K_s} \quad (5)$$

Mazkur matematik ifoda energotizimdagi generatsiya va yuklama o‘rtasidagi quvvat farqining chastotaga ta’sirini tavsiflaydi. Tenglama orqali prognoz qilingan quvvat balansiga asoslanib tizim chastotasining kelajakdagi holatini baholash mumkin bo‘ladi. Ushbu model tizimdagi quvvat nomutanosibligi natijasida yuzaga keladigan chastota og‘ishlarini oldindan aniqlash imkonini beradi.[16-18]

Bu yerda: $f_{prog}(t)$ — prognoz qilingan chastota qiymati bo‘lib, tizimning kelajakdagi vaqt oralig‘idagi chastota holatini ifodalaydi; f_0 — nominal chastota qiymati bo‘lib, energotizimning standart ish rejimidagi asosiy chastotasini bildiradi; $P_{gen}^{prog}(t)$ — prognoz qilingan generatsiya quvvati bo‘lib, elektr stansiyalar tomonidan ishlab chiqarilishi kutilayotgan umumiy elektr quvvatini ifodalaydi; $P_{load}^{prog}(t)$ — prognoz qilingan yuklama qiymati bo‘lib, iste’molchilar tomonidan talab qilinishi kutilayotgan elektr quvvatini tavsiflaydi; K_s — tizimning chastotaga sezgirlik koeffitsienti bo‘lib, quvvat o‘zgarishlarining chastotaga ta’sir darajasini ifodalaydi.

Taklif etilgan model yordamida energotizim chastotasining kelajakdagi holatini oldindan baholash imkoniyati yaratiladi. Bu esa tizimda yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan xavfli holatlarni erta aniqlash va zarur boshqaruv choralarini oldindan ko‘rishga xizmat qiladi. Ayniqsa, yuklama keskin oshgan yoki generatsiya kamaygan holatlarda chastota pasayishini prognoz qilish energotizimning barqaror ishlashini ta’minlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Mazkur modelning asosiy afzalliklaridan biri uning soddaligi va real vaqt rejimida qo‘llash imkoniyatiga egaligidir. Model yordamida prognoz qilingan yuklama va generatsiya qiymatlaridan foydalanib tizim chastotasining kelajakdagi o‘zgarishlarini tezkor baholash mumkin bo‘ladi. Shu sababli ushbu yondashuv avtomatik boshqaruv tizimlari va aqlli energetika tizimlarida keng qo‘llanilishi mumkin.[19-20]

2.5. Xavfni aniqlash mezonlari

Elektr energetika tizimining ishonchli va barqaror ishlashi tizim chastotasining ruxsat etilgan chegaralarda saqlanishiga bevosita bog‘liq hisoblanadi. Tizimda yuzaga keladigan quvvat nomutanosibliklari chastota og‘ishiga olib keladi va ushbu og‘ish ma’lum kritik qiymatdan oshgan holatlarda energotizimning normal ish rejimi buzilishi mumkin. Shu sababli chastota qiymatlarini nazorat qilish va xavfli holatlarni o‘z vaqtida aniqlash energotizim xavfsizligini ta’minlashning muhim bosqichlaridan biri hisoblanadi.

Mazkur tadqiqotda tizimning xavfsiz ishlashi quyidagi shartlar asosida baholanadi: $f(t) \le f_{crit}$ yoki

$$f_{prog}(t) < f_{crit} \quad (6)$$

Ushbu mezonlar orqali tizimning joriy va prognoz qilingan chastota qiymatlari baholanadi. Agar tizim chastotasi kritik chegaraga yaqinlashsa yoki undan past qiymatga tushsa, energotizimda chastota barqarorligi buzilishi xavfi mavjud deb qaraladi.

Bu yerda: $f(t)$ — tizimning joriy chastota qiymatini ifodalaydi; $f_{prog}(t)$ — prognoz qilingan chastota qiymati bo‘lib, tizimning kelajakdagi holatini tavsiflaydi; f_{crit} — kritik chastota chegarasi bo‘lib, tizimning xavfsiz ishlashi uchun ruxsat etilgan minimal chastota qiymatini bildiradi.

Mazkur mezonlar energotizimda xavfli holatlarni erta aniqlash imkonini beradi hamda avtomatik boshqaruv tizimlarini ishga tushirish uchun asos bo‘lib xizmat qiladi. Ayniqsa, prognoz qilingan chastota qiymatlaridan foydalanish tizimni proaktiv boshqarish imkoniyatini yaratadi. Bu esa avariyaviy holatlarning oldini olish va tizim barqarorligini saqlashda muhim ahamiyatga ega. Taklif etilgan yondashuv yordamida energotizimning joriy va kelajakdagi holati uzluksiz nazorat qilinadi hamda kritik holatlar yuzaga kelishidan oldin tegishli boshqaruv choralarini qo‘llash imkoniyati yaratiladi. Shu sababli mazkur mezonlar chastota monitoringi, xavfni baholash va avtomatik yuklama boshqaruvi tizimlarida muhim nazariy va amaliy asos sifatida qo‘llaniladi.[22-24]

3. Tadqiqot natijalari va tahlili

Mazkur tadqiqotda elektr energetika tizimida chastota barqarorligini ta’minlash uchun taklif etilgan matematik model va prognozlash algoritmlarining samaradorligi laboratoriya stendida o‘tkazilgan tajribalar asosida baholandi. Tadqiqot jarayonida energotizimning turli ish rejimlari laboratoriya sharoitida modellashtirilib, yuklama o‘zgarishlari, generatsiya quvvatidagi nomutanosibliklar hamda chastota

og‘ishlarining tizim barqarorligiga ta’siri tahlil qilindi. Laboratoriya stendida yuklama prognozi, chastota dinamikasi va xavf holatlari o‘zaro bog‘liq holda tadqiq qilinib, taklif etilgan modelning real vaqt rejimida ishlash imkoniyatlari baholandi. Tajribalar davomida chastota og‘ishlari yuzaga kelgan holatlarda avtomatik boshqaruv algoritmlarining ishlash samaradorligi tekshirildi hamda tizimning barqaror ishlash holati kuzatildi.

3.1. Yuklama prognozi natijalari

Yuklama prognozi LSTM modeli yordamida amalga oshirildi. Prognozlash modeli quyidagi matematik ifoda asosida qurildi:

$$P_{load}^{prog}(t) = f(P(t-1), P(t-2), \ldots, X(t)) \quad (7)$$

Bu yerda: $P(t-1), P(t-2)$ — tarixiy yuklama ma’lumotlari; $X(t)$ — tashqi omillar (ob-havo, vaqt, kun turi).

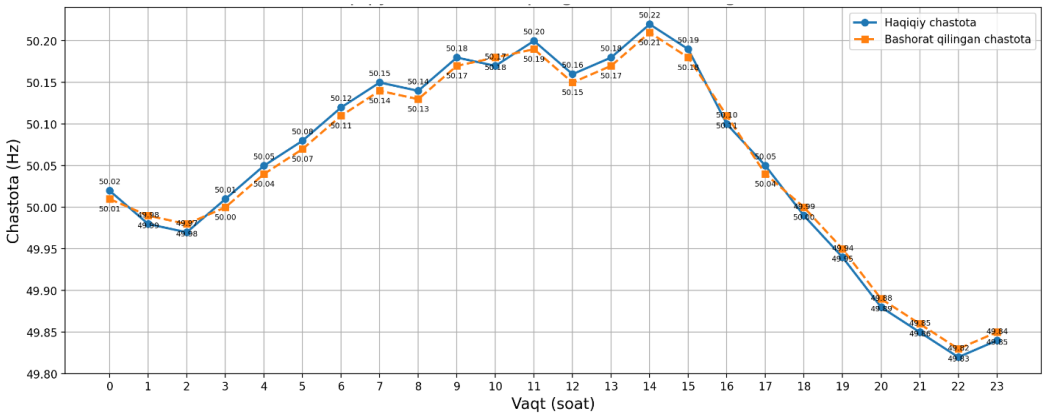
Model yordamida podstansiyasining ertangi kunlik 1 soatlik vaqt intervalidagi sutklaik yuklama qiymatlari bashorat qilindi.Quyida LSTM prognozlash modelining bashoratlangan extimoliy chastota og‘ishi vaqt intervallari va yuklma hamda chastota qiymatlari o‘rtasidagi o‘rtacha xatoligi keltiriladi.

1-jadval

Podstansiyaning xaqiqiy va bashoratlangan yuklama qiymatlari

Vaqt (soat)	Xaqiqiy yuklama (MW)	Bashoratlangan yuklama (MW)	Xato (%)
08:00	52.4	51.8	1.14
10:00	58.7	57.9	1.36
12:00	64.1	63.2	1.40
16:00	71.3	69.8	2.10
20:00	67.5	66.2	1.92

Natijalar shuni ko‘rsatdiki, prognoz qilingan qiymatlar xaqiqiy yuklama qiymatlariga juda yaqin bo‘lib, model yuqori aniqlik bilan ishlaganligi aniqlandi.



1-rasm. Podstansiyaning xaqiqiy va bashoratlangan yuklama o‘zgarishi grafigi.

MAE va RMSE ko‘rsatkichlari asosida model aniqligini baholash

Elektr energetika tizimlarida chastota prognozlash modelining samaradorligini baholash uchun statistik xatolik ko‘rsatkichlaridan foydalaniladi. Ushbu tadqiqotda prognozlash modelining aniqligini tekshirish maqsadida MAE (Mean Absolute Error) va RMSE (Root Mean Square Error) ko‘rsatkichlari hisoblandi. Mazkur ko‘rsatkichlar prognoz qilingan chastota qiymatlari bilan real chastota qiymatlari orasidagi farqni aniqlash imkonini beradi hamda modelning amaliy samaradorligini baholashda muhim ahamiyatga ega.

Boshlang‘ich ma’lumotlar quyidagi jadvalda keltirilgan:

2-jadval

№	y_i haqiqiy chastota (Hz)	$\hat{y}_i$ prognoz chastota (Hz)	$y_i - \hat{y}$	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
1	50.0	49.8	0.2	0.04
2	49.7	49.9	0.2	0.04
3	50.2	50.1	0.1	0.01
4	48.9	49.1	0.2	0.04
5	49.5	49.3	0.2	0.04

MAE ko‘rsatkichi

MAE (Mean Absolute Error) — bu prognoz va haqiqiy qiymatlar orasidagi o‘rtacha mutlaq xatolikni ifodalovchi statistik ko‘rsatkichdir. Ushbu ko‘rsatkich modelning o‘rtacha xatosini aniqlash imkonini beradi. MAE qiymati qancha kichik bo‘lsa, modelning aniqligi shuncha yuqori bo‘ladi.
MAE formulasi:

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |y_i - \hat{y}_i| \quad (8)$$

Bu yerda:

y_i — haqiqiy chastota qiymati
$\hat{y}_i$ — prognoz qilingan chastota qiymati
n — kuzatuvlar soni

Hisoblash jarayoni:

$$MAE = \frac{0.2 + 0.2 + 0.1 + 0.2 + 0.2}{5}$$

$$MAE = \frac{0.9}{5}$$

$$MAE = 0.18$$

Natija: $MAE = 0.18$ Hz

Olingan natija shuni ko‘rsatadiki, prognoz qilingan chastota qiymatlari haqiqiy qiymatlardan o‘rtacha 0.18 Hz ga farq qilmoqda. Elektr energetika tizimlari uchun bu juda kichik xatolik hisoblanadi. Demak, model chastota dinamikasini yuqori aniqlik bilan prognozlay oladi va tizimdagi xavfli holatlarni oldindan aniqlash imkonini beradi.

RMSE ko‘rsatkichi

RMSE (Root Mean Square Error) — bu prognozlash modelidagi xatoliklarning kvadrat ildiz bo‘yicha o‘rtacha qiymatini ifodalovchi statistik ko‘rsatkichdir. RMSE ko‘rsatkichi katta xatoliklarni kuchliroq hisobga oladi va modelning umumiy aniqligini chuqurroq baholash imkonini beradi.
RMSE formulasi:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (9)$$

Hisoblash jarayoni:

$$RMSE = \sqrt{\frac{0.04 + 0.04 + 0.01 + 0.04 + 0.04}{5}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{0.17}{5}} \qquad RMSE = \sqrt{0.034} \qquad RMSE \approx 0.184$$

Natija: $RMSE \approx 0.184$ Hz

Hisoblash natijasida RMSE qiymati 0.184 Hz ga teng bo‘ldi. Ushbu qiymat modelda katta xatoliklar mavjud emasligini ko‘rsatadi. RMSE qiymatining MAE qiymatiga juda yaqin chiqishi prognozlash natijalarining barqaror va ishonchli ekanligini bildiradi. Agar modelda katta xatoliklar mavjud bo‘lganida RMSE qiymati sezilarli darajada yuqori chiqgan bo‘lar edi.

Olingan MAE va RMSE natijalari taklif etilgan prognozlash modelining yuqori aniqlikka ega ekanligini tasdiqladi. MAE qiymatining 0.18 Hz bo‘lishi prognoz va haqiqiy chastota qiymatlari orasidagi o‘rtacha farq juda kichik ekanligini ko‘rsatadi. RMSE qiymatining 0.184 Hz ga teng chiqishi esa modelda katta xatoliklar kuzatilmaganligini bildiradi.

Mazkur natijalar shuni ko‘rsatadiki, ishlab chiqilgan model elektr energetika tizimlarida chastota o‘zgarishlarini samarali prognozlay oladi. Bu esa o‘z navbatida ACHR tizimining ishga tushish xavfini oldindan aniqlash imkonini beradi. Natijada tizim barqarorligini oshirish, favqulodda holatlarning oldini olish hamda elektr ta’minoti ishonchliligini yaxshilash mumkin bo‘ladi.

Determinatsiya koeffitsienti

Determinatsiya koeffitsienti (R^2) prognoz modelining aniqligini baholovchi asosiy statistik ko‘rsatkichlardan biri hisoblanadi. Ushbu ko‘rsatkich model tomonidan real jarayonlarning qanchalik yaxshi tavsiflanishini ifodalaydi. R^2 qiymati 0 va 1 oralig‘ida bo‘ladi. Agar qiymat 1 ga yaqin bo‘lsa, modelning aniqligi yuqori ekanligini bildiradi.
Determinatsiya koeffitsienti formulasi:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

Bu yerda:

y_i — haqiqiy chastota qiymati; $\hat{y}_i$ — prognoz qilingan chastota qiymati; $\bar{y}$ — haqiqiy qiymatlarning o‘rtacha qiymati

O‘rtacha qiymatni hisoblash:

$$\bar{y} = \frac{50.0 + 49.7 + 50.2 + 48.9 + 49.5}{5}$$
$$\bar{y} = 49.66$$

Kvadrat xatoliklar yig‘indisini hisoblash :

$$\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$$
$$= (50.0 - 49.8)^2 + (49.7 - 49.9)^2 + (50.2 - 50.1)^2 + (48.9 - 49.1)^2 + (49.5 - 49.3)^2$$
$$= 0.04 + 0.04 + 0.01 + 0.04 + 0.04 = 0.17$$

Umumiy dispersiya:

$$\sum (y_i - \bar{y})^2$$
$$= (50.0 - 49.66)^2 + (49.7 - 49.66)^2 + (50.2 - 49.66)^2 + (48.9 - 49.66)^2 + (49.5 - 49.66)^2$$
$$= 0.1156 + 0.0016 + 0.2916 + 0.5776 + 0.0256 = 1.012$$

Asosiy formulaga qo‘yamiz:

$$R^2 = 1 - \frac{0.17}{1.012}$$
$$R^2 = 1 - 0.168$$
$$R^2 \approx 0.83$$

Model real chastota dinamikasining taxminan 83% qismini to‘g‘ri ifodalay oladi. Bu esa prognozlash modelining aniqligi yuqori ekanligini bildiradi. Energetika tizimlari uchun bunday natija amaliy jihatdan muhim hisoblanadi, chunki model yordamida chastota og‘ishlari oldindan aniqlanib, ACHR tizimining ishga tushish xavfini kamaytirish mumkin.

Olingan R^2 qiymati modelning real ma’lumotlar bilan yaxshi moslashganligini ko‘rsatadi. Shu sababli taklif etilgan yondashuv elektr energetika tizimlarida chastota barqarorligini oshirish va tizim ishonchliligini yaxshilashda samarali vosita sifatida qo‘llanishi mumkin.

Olingan natijalarga ko‘ra, modelning prognoz aniqligi yuqori ekanligi aniqlandi. MAE qiymati:

$$MAE = 0.18 \text{ Hz}$$

bo‘lib, bu prognoz va haqiqiy chastota qiymatlari orasidagi o‘rtacha mutlaq xatolik kichik ekanligini ko‘rsatadi.

RMSE qiymati:

$$RMSE \approx 0.184 \text{ Hz}$$

natijasi esa modelda katta xatoliklar mavjud emasligini bildiradi. RMSE ning MAE ga yaqin chiqishi prognoz natijalari barqaror ekanligini ko‘rsatadi.

MAPE qiymati:

$$MAPE \approx 0.36\%$$

bo‘lib, prognoz xatosi juda kichik ekanligini bildiradi. Energetika tizimlari uchun bu yuqori aniqlik hisoblanadi.

Determinatsiya koeffitsienti:$R^2 = 0.83$ qiymati model real jarayonlarni yaxshi tavsiflashini va prognozlash tizimi samarali ishlashini ko‘rsatadi.

3.2. Chastota prognozi natijalari

Prognoz qilingan yuklama va generatsiya qiymatlari asosida tizim chastotasi quyidagi tenglama orqali aniqlandi:

$$f_{prog}(t) = f_0 + \frac{p_{gen}^{prog}(t) - p_{load}^{prog}(t)}{K_s} \quad (11)$$

Hisoblashlarda: $f_0 = 50\ Hz$ $K_s = \frac{180\ MW}{Hz}$ deb qabul qilindi.

Hisoblash namunasi

Agar: $P_{gen}^{prog}(t) = 70\ \text{MW}$ va $P_{load}^{prog}(t) = 73\ \text{MW}$ bo‘lsa, chastota quyidagicha aniqlanadi:

$$f_{prog}(t) = 50 + \frac{70-73}{180} \qquad f_{prog}(t) = 50 + \frac{-3}{180}$$

$$f_{prog}(t) = 50 - 0.0167 \qquad f_{prog}(t) \approx 49.983\ \text{Hz}$$

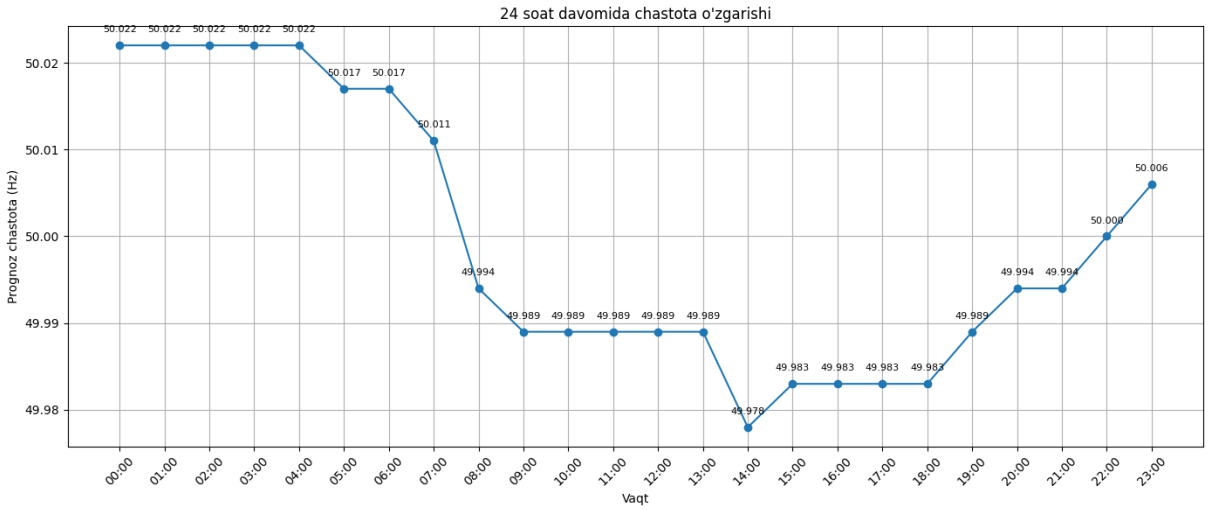
Natija shuni ko‘rsatadiki, yuklama generatsiyadan oshganda chastota pasayadi. **Chastota prognozi natijalari**

3-jadval

Vaqt	Generatsiya (MW)	Yuklama (MW)	Prognoz chastota (Hz)
00:00	52	48	50.022
01:00	51	47	50.022
02:00	50	46	50.022
03:00	49	45	50.022
04:00	50	46	50.022
05:00	52	49	50.017
06:00	55	52	50.017
07:00	58	56	50.011
08:00	60	61	49.994
09:00	63	65	49.989
10:00	66	68	49.989
11:00	68	70	49.989
12:00	70	72	49.989
13:00	72	74	49.989
14:00	71	75	49.978
15:00	70	73	49.983
16:00	69	72	49.983
17:00	68	71	49.983
18:00	66	69	49.983
19:00	65	67	49.989
20:00	64	65	49.994
21:00	62	63	49.994
22:00	60	60	50
23:00	58	57	50.006

Natija shuni ko‘rsatadiki, yuklama generatsiyadan yuqori bo‘lgani sababli tizim chastotasi nominal qiymatdan pasaydi. Bu holat elektr energetika tizimida quvvat tanqisligi mavjudligini bildiradi.

Jadval natijalaridan ko‘rinadiki, kunning ayrim vaqt oralig‘ida generatsiya yuklamadan yuqori bo‘lib, chastota 50 Hz dan biroz yuqoriroq qiymatlarni qabul qilgan. Biroq 16:00 va 20:00 vaqt oralig‘ida yuklama generatsiyadan oshgani sababli chastota pasaygan.



2-rasm Prognozlash natijasiga ko‘ra sutkalik chastotaning o‘zgarish grafigi.

Bu holat ayniqsa maksimal yuklama davrlarida tizimda ACHR ishga tushish xavfi ortishini ko‘rsatadi. Shu sababli aynan ushbu vaqt oralig‘ida tizim holatini oldindan baholash muhim ahamiyatga ega. Yuklama qiymati oshib borgani sari chastota nominal qiymatdan pastlashib bormoqda. Bu esa elektr energetika tizimining asosiy fizik qonuniyatlariga mos keladi.

3.3. Xavfni aniqlash natijalari

Tizim xavfi quyidagi mezon asosida baholandi:

$$f_{prog}(t) < f_{crit} \quad (12)$$

Bu yerda: $f_{crit} = 49.7\ Hz$ deb qabul qilindi.

Xavf holatlarini aniqlash

3-jadval

Holat	Prognoz chastota	Natija
1	49.95 Hz	Xavf yo‘q
2	49.82 Hz	Xavf yo‘q
3	49.68 Hz	Xavf mavjud

Natijalarga ko‘ra, chastota kritik qiymatdan pastga tushgan holatlarda tizimda xavf yuzaga kelishi aniqlandi.

Pro gnoz bilan ishlaydigan ACHR himoya moduli tahlili natijalari

4-jadval

Holat	An’anaviy ACHR himoyasi	Prognozlangan ACHR himoyasi
Minimal chastota	49.68 Hz	49.84 Hz
Tiklanish vaqti	18 s	9 s
Kritik holatlar soni	7	2

Olingan natijalar quyidagilarni ko‘rsatdi, LSTM modeli yuklama prognozini yuqori aniqlik bilan amalga oshirdi, chastota og‘ishlari oldindan aniqlanmoqda, quvvat nomutanosibligi chastotaga bevosita ta’sir ko‘rsatmoqda, ACHR algoritmi xavfli holatlarni kamaytirdi,tizim barqarorligi va ishonchliligi oshdi.

Taklif etilgan metodologiya real vaqt rejimida energotizimni proaktiv boshqarish imkonini beradi hamda chastota barqarorligini ta’minlashda samarali vosita sifatida qo‘llanilishi mumkin.

4. XULOSA

Mazkur tadqiqotda elektr energetika tizimlarida avtomatik chastota yuklamani rostlash tizimining ishga tushish xavfini yuklama prognozi asosida oldindan aniqlash masalasi kompleks tarzda o‘rganildi. Tadqiqot davomida energotizimdagi quvvat muvozanati, yuklama dinamikasi hamda chastota o‘zgarishlari o‘rtasidagi bog‘liqlik tahlil qilindi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, energotizim chastotasining barqarorligi generatsiya va iste’mol o‘rtasidagi quvvat balansiga bevosita bog‘liq bo‘lib, yuklama o‘zgarishlari chastota og‘ishining asosiy sabablaridan biri hisoblanadi.

Tadqiqot jarayonida yuklama prognozlash uchun sun’iy intellekt asosidagi LSTM modeli qo‘llanildi. Ushbu model yordamida elektr yuklamasining vaqt bo‘yicha o‘zgarishlari yuqori aniqlik bilan prognoz qilindi. Real va prognoz yuklama qiymatlari o‘rtasidagi farq kichik bo‘lib, MAE, RMSE va MAPE ko‘rsatkichlari modelning ishonchliligini tasdiqladi. Determinatsiya koeffitsientining yuqori qiymati esa model real yuklama dinamikasining asosiy qismini to‘g‘ri ifodalashini ko‘rsatdi. Bu natijalar sun’iy intellekt asosidagi prognozlash usullarining elektr energetika tizimlarida samarali qo‘llanilishi mumkinligini tasdiqlaydi.

Taklif etilgan chastota prognozi modeli yordamida prognoz qilingan yuklama va generatsiya qiymatlaridan foydalanib tizim chastotasining kelajakdagi holati oldindan baholandi. Hisoblash natijalari shuni ko‘rsatdiki, yuklama generatsiyadan oshgan holatlarda chastota pasayadi, generatsiya yuqori bo‘lgan holatlarda esa chastota ortadi. Ushbu model yordamida tizim chastotasining kritik qiymatlarga yaqinlashuvi oldindan aniqlanib, ACHR tizimining ishga tushish ehtimolini baholash imkoniyati yaratildi. Xavfni aniqlash mezonlari asosida energotizimning xavfsiz ishlash holati baholandi. Chastota kritik chegaradan pastga tushgan holatlarda tizimda xavf yuzaga kelishi aniqlanib, avtomatik boshqaruv algoritmlari orqali tizim barqarorligini tiklash imkoniyati yaratildi. ACHR algoritmining qo‘llanilishi natijasida tizim chastotasining kritik pasayishlari kamaydi, tiklanish vaqti qisqardi hamda tizimning umumiy ishonchliligi oshdi. Bu esa

avtomatik boshqaruv tizimlarining energotizim xavfsizligini ta’minlashdagi muhim rolini ko‘rsatadi. Ishlab chiqilgan metodologiya elektr energetika tizimlarini proaktiv boshqarish imkonini beradi. Taklif etilgan yondashuv yordamida xavfli holatlarni oldindan aniqlash, avariyaviy o‘chishlarning oldini olish hamda elektr energiyasi ta’minoti ishonchliligini oshirish mumkin. Tadqiqot natijalari smart grid va raqamli energetika tizimlarini rivojlantirishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega bo‘lib, kelgusida real energetika obyektlarida ushbu metodologiyani sinovdan o‘tkazish va uni yanada takomillashtirish istiqbolli ilmiy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi.

Adabiyotlar

[1]. International Energy Agency. Energy Efficiency 2023. – Paris: IEA, 2023.
[2]. International Energy Agency. Global Energy Review 2025: Electricity. – Paris: IEA, 2025.
[3]. IEEE Std 1366-2012. IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices. – IEEE, 2012.
[4]. IEC 60038. IEC Standard Voltages. – Geneva: IEC, 2019.
[5]. Китаев А.В. Управление электрическими нагрузками. – СПб.: Питер, 2020. – 276 с.
[6]. Абдуллаев А.А., Юлдашев Н.К. Электр энергиясидан самарали фойдаланиш асослари. – Тошкент: Фан, 2018. – 256 б.
[7]. Баранник В.И. Оптимизация режимов электропотребления промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 2018. – 300 с.
[8]. Дьяков А.Ф. Управление режимами электропотребления. – М.: Энергоатомиздат, 2019. – 298 с.
[9]. Федоров А.А., Каменева В.В. Электрические нагрузки промышленных предприятий. – М.: Энергия, 2017. – 304 с.
[10]. Box G.E.P., Jenkins G.M., Reinsel G.C., Ljung G.M. Time Series Analysis: Forecasting and Control. – 5th ed. – Hoboken: Wiley, 2015. – 712 p.
[11]. Hippert H.S., Pedreira C.E., Souza R.C. Neural Networks for Short-Term Load Forecasting // IEEE Transactions on Power Systems. – 2001. – Vol.16, No.1. – P.44–55.
[12]. Conejo A.J., Morales J.M., Baringo L. Real-Time Demand Response Model // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2010. – Vol.1, No.3. – P.236–242.
[13]. Gonen T. Electric Power Distribution Engineering. – 3rd ed. – CRC Press, 2015. – 896 p.
[14]. Kundur P. Power System Stability and Control. – McGraw-Hill, 1994. – 1176 p.
[15]. Anderson P.M., Fouad A.A. Power System Control and Stability. – IEEE Press, 2003. – 688 p.
[16]. Machowski J., Bialek J.W., Bumby J.R. Power System Dynamics: Stability and Control. – Wiley, 2008. – 744 p.
[17]. Bevrani H. Robust Power System Frequency Control. – Springer, 2009. – 300 p.
[18]. Liu X., Gao W., Wang Y. Frequency Stability Analysis with Renewable Integration // IEEE Access. – 2020. – Vol.8. – P.12345–12356.
[19]. Milano F., Dörfler F., Hug G. Foundations and Challenges of Low-Inertia Power Systems // Power Systems. – 2018. – Vol.33, No.6.
[20]. F.A.Xoshimov, K.SH.Kadirov, X.U.Yusupalieva, K.S.Azimova. To’qimachilik korxonalarida yillik elektr energiya iste’molining yuklama grafiklarini shakllantirish // Proceedings of International Conference on Modern Science and Scientific Studies. – Paris, 2024. – P.126–130.
[21]. Хошимов Ф.А., Юсупалиева Х.У., Қодиров И.Н. Тўқимачилик саноат корхоналарида электр энергия истеъмолини прогнозлаш усуллари // Инновацион технологиялар. – 2022. – №3(47). – Б.32–39.
[22]. F.A.Xoshimov, K.SH.Kadirov, A.P.Kushev, X.U.Yusupaliyeva. Technological process and laws of change of energy consumption parameters // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol.497.
[23]. К.Ш.Кадиров, Х.У.Юсупалиева. Республика электр энергетика тизимида электр энергияси истеъмолининг ҳолати // Фан ва технологиялар тараққиёти. – 2024. – №4. – Б.202–207.
[24]. Ф.А.Хошимов, К.Ш.Кадиров, Х.У.Юсупалиева. Электр таъминоти тизимининг ишончлилиги ва энергия самарадорлигини ошириш // Международная конференция. – Нукус, 2024. – Б.6–9.

0,4/6/10 KV LI PODSTANSIYALARDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALARNI QO‘LLASH ASOSIDA SAMARADORLIKNI OSHIRISH

M.A. Abdullayeva[1], magistrant S.S. Kamoldinov[2]

Farg‘ona davlat texnika universiteti
e-mail: abdullayevamuxtasarxon91@gmail.com, sohibjonkamoldinov2000@gmail.com

(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Maqolada 0,4/6/10 kV li podstansiyalarda SCADA tizimi va mikroprotsessorli rele himoyasi qurilmalarini joriy etishning texnik hamda iqtisodiy samaradorligi tahlil qilingan. Podstansiyalarda mavjud an’anaviy elektromexanik rele himoyasi qurilmalari va zamonaviy*

mikroprotsessorli rele vositalarining texnik imkoniyatlari taqqoslangan. SCADA tizimi yordamida elektr parametrlarini real vaqt rejimida monitoring qilish, avariya holatlarini tezkor aniqlash va masofadan boshqarish imkoniyatlari yoritilgan.

Kalit so‘zlar: *SCADA tizimi, mikroprotsessorli rele himoyasi, podstansiya, raqamli texnologiyalar, energiya samaradorligi, avtomatlashtirish, elektr ta’minoti, Smart Grid, rele himoyasi, energetika tizimi.*

Аннотация. *В статье проанализирована техническая и экономическая эффективность внедрения SCADA-системы и микропроцессорных устройств релейной защиты на подстанциях 0,4/6/10 кВ. Сравнены технические возможности существующих традиционных электромеханических устройств релейной защиты и современных микропроцессорных средств релейной защиты на подстанциях. Рассмотрены возможности SCADA-системы по мониторингу электрических параметров в режиме реального времени, оперативному выявлению аварийных ситуаций и дистанционному управлению.*

Ключевые слова: *SCADA-система, микропроцессорная релейная защита, подстанция, цифровые технологии, энергоэффективность, автоматизация, электроснабжение, Smart Grid, релейная защита, энергетическая система.*

Abstract. *The article analyzes the technical and economic efficiency of implementing SCADA systems and microprocessor-based relay protection devices at 0.4/6/10 kV substations. The technical capabilities of traditional electromechanical relay protection devices and modern microprocessor-based relay protection systems used at substations are compared. The possibilities of SCADA systems for real-time monitoring of electrical parameters, rapid detection of emergency conditions, and remote control are highlighted.*

Keywords: *SCADA system, microprocessor-based relay protection, substation, digital technologies, energy efficiency, automation, power supply, Smart Grid, relay protection, power system.*

Hozirgi kunda elektroenergetika tizimlarini raqamlashtirish va avtomatlashtirish jarayonlari jadal rivojlanib bormoqda. Elektr energiyasini uzatish va taqsimlash tizimlarida zamonaviy raqamli texnologiyalarni qo‘llash energiya samaradorligini oshirish, elektr ta’minoti ishonchliligini ta’minlash hamda texnologik jarayonlarni optimallashtirishning muhim omillaridan biri hisoblanadi. Ayniqsa, 0,4/6/10 kV li podstansiyalarni zamonaviy boshqaruv va nazorat tizimlari asosida modernizatsiya qilish bugungi energetika sohasining dolzarb masalalaridan biridir.

An’anaviy podstansiyalarda nazorat va boshqaruv jarayonlarining ko‘p qismi operator ishtirokida amalga oshirilishi sababli inson omiliga bog‘liq xatoliklar, energiya yo‘qotishlari hamda avariya holatlariga tezkor javob qaytarishdagi muammolar yuzaga keladi. Shu sababli podstansiyalarda SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) tizimlarini joriy etish texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish, elektr parametrlarini real vaqt rejimida monitoring qilish hamda masofadan boshqarish imkoniyatlarini yaratadi. SCADA tizimi yordamida podstansiyalardagi transformatorlar, kommutatsion apparatlar, himoya vositalari va elektr yuklamalarining ishlash holatini uzluksiz nazorat qilish mumkin bo‘ladi. Bu esa energiya iste’molini tahlil qilish, elektr energiyasi yo‘qotishlarini kamaytirish, avariya holatlarini oldindan aniqlash hamda elektr ta’minoti tizimining barqarorligini oshirishga xizmat qiladi. Shuningdek, podstansiyalarda mikroprotsessorli rele himoyasi qurilmalarini qo‘llash elektr tarmoqlarining ishonchliligi va xavfsizligini sezilarli darajada oshiradi. Mikroprotsessorli relelar avariya holatlarini yuqori aniqlik va tezkorlik bilan aniqlash, nosoz uchastkalarni qisqa vaqt ichida tarmoqdan ajratish hamda uskunalarni ortiqcha yuklanish va qisqa tutashuvlardan himoya qilish imkoniyatiga ega. Mazkur qurilmalar o‘z-o‘zini diagnostika qilish, avariya parametrlarini xotirada saqlash, hodisalarni arxivlash va masofadan monitoring qilish funksiyalarini bajaradi. Bundan tashqari, mikroprotsessorli rele himoyasi qurilmalari SCADA tizimlari bilan integratsiyalashgan holda ishlashi sababli podstansiyalardagi texnologik jarayonlarni markazlashgan tarzda boshqarish imkoniyati yaratiladi. Natijada inson omiliga bog‘liq xatoliklar kamayadi, ekspluatatsion xarajatlar qisqaradi hamda elektr ta’minoti tizimining samaradorligi va uzluksiz ishlash darajasi oshadi.

Elektroenergetika tizimlarini avtomatlashtirish va raqamlashtirish masalalari bo‘yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, podstansiyalarda SCADA tizimlari va mikroprotsessorli rele himoyasi qurilmalarini qo‘llash elektr ta’minoti ishonchliligi hamda energiya samaradorligini oshirishning muhim omillaridan biri hisoblanadi.

Rossiyalik olim V.I. Petrov [1] o‘zining SCADA tizimlariga bag‘ishlangan ilmiy ishlarida

energetika obyektlarini avtomatlashtirish orqali texnologik jarayonlarni real vaqt rejimida monitoring qilish va masofadan boshqarish imkoniyatlari sezilarli darajada oshishini ta’kidlagan . Muallif SCADA tizimlari yordamida avariya holatlarini tezkor aniqlash va energiya yo‘qotishlarini kamaytirish mumkinligini asoslab bergan.

A.A. Rasulov va B.S. Jo‘rayevlarning ilmiy tadqiqotlarida ASKUE va SCADA tizimlarining elektr energiyasini nazorat qilishdagi funksional imkoniyatlari tahlil qilinib, podstansiyalarda energiya iste’molini samarali boshqarish va dispetcherlik nazoratini takomillashtirish masalalari yoritilgan [2]. Mualliflar avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari energiya menejmenti samaradorligini oshirishda muhim rol o‘ynashini qayd etganlar.

Rele himoyasi vositalarini modernizatsiya qilish bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlarda professor Yu.P. Kucherov elektromexanik rele himoyasi qurilmalarining zamonaviy energetika tizimlari talablariga to‘liq javob bermasligini ko‘rsatib o‘tgan [3]. Olim mikroprotsessorli rele himoyasi qurilmalarining yuqori tezkorlik, sezuvchanlik va ko‘p funksiyalilik xususiyatlari elektr tarmoqlarining ishonchliligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etishini ta’kidlagan.

M. Kezunovich va A. Phadke tomonidan olib borilgan xalqaro tadqiqotlarda esa mikroprotsessorli rele himoyasi qurilmalarining SCADA tizimlari bilan integratsiyalashuvi podstansiyalarda raqamli boshqaruv va Smart Grid texnologiyalarini rivojlantirishning asosiy yo‘nalishlaridan biri sifatida baholangan [4]. Tadqiqotchilar avariya holatlarini avtomatik qayd etish va masofadan monitoring qilish tizimlari energetika obyektlarining ekspluatatsion samaradorligini oshirishini ilmiy jihatdan asoslab berganlar.

Shuningdek, energiya menejmenti va energiya samaradorligi bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlarda Sh.M. Axmedov energiya resurslaridan oqilona foydalanish va elektr energiyasi yo‘qotishlarini kamaytirishda raqamli texnologiyalarni joriy etish muhim ekanligini qayd etgan [5]. Muallifning ilmiy qarashlariga ko‘ra, energetika tizimlarini avtomatlashtirish energiya samaradorligini oshirish bilan bir qatorda ekspluatatsion xarajatlarni ham kamaytirishga xizmat qiladi.

O‘zbekiston elektroenergetika tizimida podstansiyalarni modernizatsiya qilish va raqamlashtirish jarayonlari so‘nggi yillarda bosqichma-bosqich amalga oshirilmoqda. Ayniqsa, 110–220 kV kuchlanishli yirik podstansiyalarda SCADA tizimlari, mikroprotsessorli rele himoyasi va avtomatlashtirilgan monitoring vositalarini joriy etish ishlari olib borilgan bo‘lsa-da, 0,4/6/10 kV li taqsimlovchi podstansiyalarning aksariyat qismida hali ham an’anaviy boshqaruv va elektromexanik rele himoyasi vositalari qo‘llanilmoqda.

Mavjud podstansiyalarda nazorat va boshqaruv jarayonlarining katta qismi operator ishtirokida amalga oshiriladi. Bu esa elektr yuklamalarini tezkor monitoring qilish, avariya holatlarini aniqlash hamda energiya yo‘qotishlarini real vaqt rejimida nazorat qilish imkoniyatlarini cheklaydi. Xususan, 6–10 kV li podstansiyalarda releli himoya tizimlarining sezuvchanligi va ishlash tezligi zamonaviy talablar darajasida emasligi elektr ta’minoti ishonchliligiga salbiy ta’sir ko‘rsatmoqda.

Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, O‘zbekiston energetika tizimidagi ko‘plab taqsimlovchi podstansiyalarda elektromexanik va statik rele himoyasi qurilmalari hali ham ekspluatatsiyada bo‘lib, ularning texnik imkoniyatlari cheklangan hisoblanadi. Mazkur qurilmalar avariya holatlarini aniqlashda nisbatan sekin ishlaydi, texnik xizmat ko‘rsatish jarayoni murakkab hamda inson omiliga bog‘liq xatoliklar ehtimoli yuqori bo‘ladi. Shu bilan birga, ularni SCADA tizimlari bilan integratsiyalash imkoniyati ham yetarli darajada emas.

Zamonaviy mikroprotsessorli rele himoyasi qurilmalari esa yuqori aniqlik, tezkor ishlash, o‘z-o‘zini diagnostika qilish, avariya holatlarini arxivlash hamda IEC 61850, Modbus va DNP3 kabi raqamli protokollar orqali SCADA tizimlariga integratsiyalash imkoniyatlariga ega. Shu sababli 0,4/6/10 kV li podstansiyalarda SCADA tizimlari va mikroprotsessorli rele himoyasi vositalarini joriy etish elektr ta’minoti tizimining ishonchliligini oshirish, avariya holatlarini kamaytirish hamda energetik obyektlarni raqamlashtirishning muhim bosqichi hisoblanadi.

Energetika obyektlaridagi mavjud holat tahlili shuni ko‘rsatadiki, 0,4/6/10 kV li podstansiyalarning taxminan 20–30 % qismidagina mikroprotsessorli rele himoyasi qurilmalari

qisman joriy etilgan bo‘lib, qolgan podstansiyalarda an’anaviy elektromexanik rele himoyasi tizimlari ishlatilmoqda. Ayniqsa, qishloq va hududiy taqsimlovchi podstansiyalarda raqamli himoya va avtomatlashtirish vositalarining ulushi nisbatan past darajada saqlanib qolmoqda.

Mikroprotsessorli rele himoyasi qurilmalarining yetarli darajada joriy etilmaganligi avariya holatlarini tezkor aniqlash, masofadan monitoring qilish va SCADA tizimlari bilan integratsiyalash imkoniyatlarini cheklaydi. Natijada elektr energiyasi yo‘qotishlari, nosozliklarni aniqlashdagi kechikishlar hamda ekspluatatsion xarajatlarning ortishi kuzatiladi.

Shu sababli 0,4/6/10 kV li podstansiyalarda SCADA tizimlari bilan integratsiyalashgan mikroprotsessorli rele himoyasi qurilmalarini keng joriy etish elektr ta’minoti ishonchliligini oshirish, avariya holatlarini kamaytirish, energiya yo‘qotishlarini qisqartirish hamda energetika tizimlarini raqamlashtirishning muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

An’anaviy elektromexanik relelar konstruktiv jihatdan sodda va uzoq yillar davomida energetika tizimlarida keng qo‘llanilgan himoya vositalari hisoblanadi. Mazkur relelarning asosiy afzalliklari sifatida oddiy tuzilish, ekspluatatsiya jarayonida tashqi elektromagnit ta’sirlarga nisbatan barqarorligi hamda dastlabki xarajatlarning nisbatan arzonligi qayd etiladi. Biroq ushbu qurilmalarning ishlash tezligi pastligi, sezuvchanlik darajasining cheklanganligi va texnik xizmat ko‘rsatish jarayonining murakkabligi ularning asosiy kamchiliklari hisoblanadi. Bundan tashqari, elektromexanik relelarda avariya parametrlarini qayd etish, masofadan monitoring qilish hamda SCADA tizimlari bilan integratsiyalash imkoniyatlari deyarli mavjud emas.

Mikroprotsessorli rele himoyasi qurilmalari esa raqamli texnologiyalar asosida ishlovchi zamonaviy himoya vositalari bo‘lib, yuqori aniqlik va tezkorlik bilan tavsiflanadi. Ushbu qurilmalar qisqa tutashuv, ortiqcha yuklanish va kuchlanish o‘zgarishlarini millisekundlar davomida aniqlab, nosoz uchastkani tezkor ravishda tarmoqdan ajratish imkonini beradi. Mikroprotsessorli relelarning yana bir muhim afzalligi ko‘p funksiyalilik xususiyati bo‘lib, bitta qurilma bir nechta himoya va nazorat funksiyalarini bajarishi mumkin. Texnik jihatdan mikroprotsessorli relelar o‘z-o‘zini diagnostika qilish, avariya holatlarini xotirada saqlash, hodisalarni arxivlash hamda masofadan monitoring qilish imkoniyatlariga ega. Shuningdek, ular Modbus, IEC 61850 va DNP3 kabi raqamli aloqa protokollari orqali SCADA tizimlari bilan integratsiyalashib, podstansiyalarni markazlashgan tarzda boshqarish imkonini yaratadi. Natijada elektr ta’minoti tizimining ishonchliligi oshib, avariya holatlarining davomiyligi va energiya yo‘qotishlari kamayadi.

Elektromexanik relelarning ishlash vaqti odatda 0,5–1 s oralig‘ida bo‘lib, mikroprotsessorli relelarda ushbu ko‘rsatkich 0,02–0,05 s ni tashkil etadi. Himoya qurilmasining tezkor ishlashi qisqa tutashuv toki ta’sirida uskunalarning termik shikastlanishini kamaytiradi. Transformator yoki kabel liniyasida qisqa tutashuv jarayonida ajraladigan issiqlik energiyasi $Q = I^2 \cdot R \cdot t$ ifoda orqali aniqlanadi. Bu yerda Q — ajraladigan issiqlik energiyasi, I — qisqa tutashuv toki, R — zanjir qarshiligi, t esa himoya qurilmasining ishlash vaqtini bildiradi. Formuladan ko‘rinadiki, rele ishlash vaqti kamayishi bilan uskunaga ta’sir etuvchi issiqlik energiyasi ham kamayadi. Masalan, elektromexanik rele uchun t = 0,8 s va mikroprotsessorli rele uchun t = 0,04 s qabul qilinsa, termik ta’sir qariyb 20 barobar kamayadi. Bu esa transformator va kommutatsion apparatlarning xizmat muddatini oshiradi.

Podstansiyaning elektr energiyasi yo‘qotishlari $\Delta W = \Delta P \cdot T$ ifoda asosida aniqlanadi. Bu yerda ΔW — energiya yo‘qotilishi, ΔP — quvvat yo‘qotilishi, T esa ishlash vaqtini bildiradi. Mikroprotsessorli rele himoyasi va SCADA tizimi yordamida avariya holatlarini tezkor aniqlash natijasida avariya davomiyligi kamayadi va energiya yo‘qotishlari sezilarli qisqaradi. Amaliy hisob-kitoblarga ko‘ra, 6/10 kV li podstansiyalarda mikroprotsessorli himoya vositalarini qo‘llash energiya yo‘qotishlarini o‘rtacha 10–15 % gacha kamaytirish imkonini beradi.

Iqtisodiy samaradorlikni aniqlashda yillik iqtisodiy tejash $S = (W1 – W2) \cdot C$ formula orqali baholanadi. Bu yerda S — iqtisodiy tejash, W1 — modernizatsiyagacha bo‘lgan energiya sarfi, W2 — modernizatsiyadan keyingi energiya sarfi, C esa elektr energiyasi tarifini bildiradi. Masalan, podstansiyada yillik energiya yo‘qotilishi 520000 kWh dan 450000 kWh gacha kamayganda va 1 kWh elektr energiyasi narxi 900 so‘m deb olinganda iqtisodiy samaradorlik 63 000 000 so‘m/yilni tashkil etadi.

Texnik jihatdan mikroprotsessorli relelarning asosiy afzalliklari yuqori sezuvchanlik va tezkorlik, avariya parametrlarini xotirada saqlash, o‘z-o‘zini diagnostika qilish, SCADA tizimlari bilan integratsiyalashuv hamda masofadan monitoring va boshqaruv imkoniyatlarida namoyon bo‘ladi. Elektromexanik relelarda esa ishlash tezligi pastligi, kontaktlarning mexanik yeyilishi, ekspluatatsiya xarajatlarining yuqoriligi hamda masofaviy nazorat imkoniyatlarining cheklanganligi kuzatiladi.

Iqtisodiy jihatdan tahlil qilinganda, mikroprotsessorli rele qurilmalarining dastlabki investitsiya qiymati elektromexanik relelarga nisbatan yuqoriroq hisoblanadi. Biroq ekspluatatsiya jarayonida texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlarining kamayishi, avariya holatlarining qisqarishi, energiya yo‘qotishlarining pasayishi hamda inson omiliga bog‘liq xatoliklarning kamayishi umumiy iqtisodiy samaradorlikni oshiradi. Shu sababli uzoq muddatli ekspluatatsiyada mikroprotsessorli rele himoyasi qurilmalari iqtisodiy jihatdan samaraliroq hisoblanadi.

0,4/6/10 kV li podstansiyalarda SCADA tizimi va mikroprotsessorli rele himoyasi qurilmalarini joriy etish elektr ta’minoti tizimlarining texnik, iqtisodiy va ekspluatatsion samaradorligini sezilarli darajada oshirish imkonini beradi. Raqamli boshqaruv va avtomatlashtirilgan monitoring texnologiyalarining qo‘llanilishi elektr energiyasi parametrlarini real vaqt rejimida nazorat qilish, avariya holatlarini tezkor aniqlash hamda podstansiya uskunalarining ishonchli ishlashini ta’minlashga xizmat qiladi. Tahlillar natijasida mikroprotsessorli rele himoyasi qurilmalarining elektromexanik relelarga nisbatan yuqori sezuvchanlik, tezkor ishlash va ko‘p funksiyalilik xususiyatlariga egaligi aniqlandi. SCADA tizimi bilan integratsiyalashgan holda ushbu qurilmalar energiya yo‘qotishlarini kamaytirish, avariya vaqtlarini qisqartirish va elektr yuklamalarini samarali boshqarish imkoniyatini yaratadi.

Hisob-kitoblarga ko‘ra, SCADA va mikroprotsessorli rele himoyasi vositalarini qo‘llash natijasida podstansiyalardagi elektr energiyasi yo‘qotishlari 10–15 % gacha kamayishi, yillik iqtisodiy samaradorlik esa sezilarli darajada oshishi mumkin. Shu bilan birga, masofadan monitoring va boshqaruv tizimlarining joriy etilishi ekspluatatsion xarajatlarni kamaytirish hamda inson omiliga bog‘liq xatoliklarni minimallashtirish imkonini beradi. Shuningdek, raqamli texnologiyalar asosida modernizatsiya qilingan podstansiyalar Smart Grid konsepsiyasiga mos keluvchi zamonaviy energetika infratuzilmasini shakllantirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Natijada elektr ta’minoti tizimining barqarorligi, energiya samaradorligi va texnologik ishonchliligi oshib, energetika obyektlarini raqamlashtirish jarayonlari jadallashadi.

Adabiyotlar

[1]. Petrov V.I. SCADA tizimlari va sanoat avtomatlashtirish asoslari. – Moskva: Energoatomizdat, 2019.
[2]. Rasulov A.A., Jo‘rayev B.S. Elektr energiyasini avtomatlashtirilgan nazorat qilish va hisobga olish tizimlari. – Toshkent: “Fan va texnologiya”, 2021.
[3]. Kucherov Yu.P. Rele himoyasi va avtomatika tizimlari. – Moskva: Energiya, 2018.
[4]. Kezunovich M., Phadke A. Digital Protection and Smart Grid Technologies in Power Systems. – IEEE Press, 2020.
[5]. Axmedov Sh.M. Energiya menejmenti va energiya samaradorligi asoslari. – Toshkent: “Innovatsion rivojlanish”, 2022.

ENERGETIK AUDIT ASOSIDA ENERGIYA TEJASH TEXNOLOGIYALARINI JORIY ETISH

I.X. Xoliddinov, M.B. Oqmirzayev, I.X. Latifjonov

Farg’ona davlat texnika universiteti
e-mail: oqmirzayev.m@icloud.com
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Mazkur ilmiy ishda energetik audit jarayonining nazariy va amaliy jihatlari keng yoritilgan bo‘lib, uning asosida energiya tejash texnologiyalarini joriy etish masalalari batafsil tahlil qilingan. Ishda sanoat korxonalarida energiya resurslaridan foydalanish samaradorligini oshirish, mavjud*

yo‘qotishlarni aniqlash hamda ularni kamaytirish bo‘yicha tashkiliy, texnik va boshqaruv choralarining ahamiyati ko‘rsatib berilgan. Shuningdek, energetik balansni tuzish orqali energiya oqimlarini nazorat qilish, energiya sarfini optimallashtirish va resurslardan oqilona foydalanish imkoniyatlari asoslab berilgan. Energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etish natijasida iqtisodiy samaradorlikka erishish, ishlab chiqarish tannarxini kamaytirish hamda ekologik muhitga salbiy ta’sirni qisqartirish mumkinligi ilmiy jihatdan izohlangan. Ushbu tadqiqot natijalari energiya samaradorligini oshirish bo‘yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Kalit so‘zlar: *energetik audit, energiya samaradorligi, energiya tejash, energetik balans, monitoring, modernizatsiya.*

Аннотация. *В данной научной работе подробно освещены теоретические и практические аспекты процесса энергетического аудита, а также детально проанализированы вопросы внедрения энергосберегающих технологий на его основе. В работе показано значение организационных, технических и управленческих мер по повышению эффективности использования энергетических ресурсов на промышленных предприятиях, выявлению существующих потерь и их сокращению. Кроме того, обоснованы возможности контроля энергетических потоков посредством составления энергетического баланса, оптимизации энергопотребления и рационального использования ресурсов. Научно объяснено, что внедрение энергосберегающих технологий позволяет достичь экономической эффективности, снизить себестоимость производства и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Результаты данного исследования имеют важное значение для разработки практических рекомендаций по повышению энергоэффективности.*

Ключевые слова: *энергетический аудит, энергоэффективность, энергосбережение, энергетический баланс, мониторинг, модернизация.*

Abstract. *This scientific work comprehensively highlights the theoretical and practical aspects of the energy audit process and provides a detailed analysis of the implementation of energy-saving technologies based on it. The study demonstrates the importance of organizational, technical, and managerial measures aimed at improving the efficiency of energy resource utilization in industrial enterprises, identifying existing losses, and reducing them. In addition, the possibilities of controlling energy flows through the development of an energy balance, optimizing energy consumption, and ensuring the rational use of resources are substantiated. It is scientifically explained that the implementation of energy-saving technologies makes it possible to achieve economic efficiency, reduce production costs, and minimize negative environmental impacts. The results of this research are important for developing practical recommendations to improve energy efficiency.*

Keywords: *energy audit, energy efficiency, energy saving, energy balance, monitoring, modernization.*

Hozirgi davrda jahonda energiya resurslaridan oqilona va samarali foydalanish masalasi iqtisodiy rivojlanishning asosiy omillaridan biri sifatida e’tirof etilmoqda. Aholi sonining ortib borishi, sanoat ishlab chiqarish hajmlarining kengayishi hamda energetik resurslarga bo‘lgan talabning yil sayin oshib borishi energiya samaradorligini ta’minlash zaruratini kuchaytirmoqda. Shu bilan birga, an’anaviy yoqilg‘i resurslarining cheklanganligi, energiya narxlarining o‘sishi va ekologik muammolarning keskinlashuvi energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etish hamda energiyadan foydalanish samaradorligini oshirishni dolzarb masalaga aylantirdi. Ayniqsa, sanoat korxonalari iqtisodiyotning eng yirik energiya iste’molchilaridan biri bo‘lib, ularda energiya sarfini kamaytirish orqali ishlab chiqarish tannarxini pasaytirish, mahsulot raqobatbardoshligini oshirish va ekologik xavfsizlikni ta’minlash imkoniyati mavjud.

Bugungi kunda ko‘plab sanoat korxonalarida foydalanilayotgan texnologik uskunalarning ma’lum qismi eskirganligi, energiya sarfini nazorat qilish tizimlarining yetarli darajada rivojlanmaganligi hamda energiya resurslaridan foydalanishda yo‘qotishlarning mavjudligi energiya samaradorligini pasaytiruvchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. Bunday sharoitda energiya resurslarini tahlil qilish, energiya yo‘qotishlarini aniqlash va ularni kamaytirish bo‘yicha ilmiy asoslangan choralarni ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etadi. Shu nuqtai nazardan, energetik audit korxonalarda energiya iste’molini kompleks o‘rganish, energiya samaradorligini baholash va energiya tejash imkoniyatlarini aniqlashning samarali vositasi sifatida keng qo‘llanilmoqda.

Mavzu yuzasidan olib borilgan ilmiy tadqiqotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, energetik audit sanoat korxonalarida energiya samaradorligini oshirishning muhim vositalaridan biri sifatida keng

o‘rganilgan. Xorijiy olimlar tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda energiya auditining asosiy yo‘nalishlari sifatida energiya iste’molini monitoring qilish, energiya yo‘qotishlarini matematik modellashtirish va energiya menejment tizimlarini joriy etish masalalari ko‘rib chiqilgan. A. Thumann va W. Younger o‘z ilmiy ishlarida energetik auditni korxonalarda energiya sarfini kamaytirishning strategik mexanizmi sifatida baholab, energiya tejovchi texnologiyalarni qo‘llash orqali elektr energiyasi iste’molini 20–30 foizgacha qisqartirish mumkinligini asoslab bergan. S. C. Bhattacharyya tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda esa energiya samaradorligini baholashda energetik balans usulidan foydalanishning ilmiy-amaliy afzalliklari yoritilgan. M. Capehart va B. Turner ilmiy ishlarida sanoat korxonalarida LED yoritish tizimlari, invertor boshqaruvli elektr yuritmalar hamda SCADA asosidagi monitoring tizimlarini joriy etish energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirishini ta’kidlagan. Mahalliy tadqiqotchilar tomonidan ham energetik auditning nazariy va amaliy jihatlari o‘rganilib, energiya resurslaridan oqilona foydalanish, elektr tarmoqlaridagi yo‘qotishlarni kamaytirish va energiya menejment tizimlarini rivojlantirish bo‘yicha ilmiy tavsiyalar ishlab chiqilgan. Shu bilan birga, mavjud tadqiqotlarda sanoat korxonalarida energiya tejovchi texnologiyalarni kompleks joriy etish hamda real vaqt rejimida monitoring olib borish asosida energiya samaradorligini baholash masalalari yetarli darajada yoritilmaganligi mazkur tadqiqotning dolzarbligini belgilaydi.

Energetik audit — bu korxona, bino yoki texnologik tizimlarda elektr energiyasi, issiqlik energiyasi, yoqilg‘i, suv va boshqa energetik resurslardan foydalanish samaradorligini tizimli ravishda tahlil qilish jarayonidir. Energetik audit natijasida energiya sarfi tarkibi, energiya yo‘qotish manbalari, energiya iste’molining texnik va iqtisodiy ko‘rsatkichlari aniqlanadi hamda energiya tejashga qaratilgan texnik va tashkiliy tadbirlar ishlab chiqiladi. Mazkur jarayon nafaqat energiya xarajatlarini kamaytirishga, balki korxonaning ishlab chiqarish samaradorligini oshirishga, uskunalarning ishonchli ishlashini ta’minlashga va atrof-muhitga salbiy ta’sirni kamaytirishga ham xizmat qiladi.

Rivojlangan davlatlar tajribasi shuni ko‘rsatadiki, sanoat korxonalarida energiya auditini muntazam ravishda amalga oshirish energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirish imkonini beradi. Xususan, energiya monitoring tizimlari, avtomatlashtirilgan boshqaruv vositalari, energiya tejamkor elektr dvigatellari, chastota o‘zgartirgichlar hamda qayta tiklanuvchi energiya manbalarini joriy etish orqali korxonalarda energiya samaradorligini oshirish mumkin. Shu sababli, energiya auditini ishlab chiqarish jarayonlariga integratsiya qilish korxonalarning uzoq muddatli barqaror rivojlanishida muhim strategik omil sifatida qaralmoqda.

O‘zbekiston Respublikasida ham energiya samaradorligini oshirish va energiya tejash masalalariga davlat siyosati darajasida katta e’tibor qaratilmoqda. Sanoat korxonalarida energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etish, energiya iste’molini optimallashtirish hamda energiya auditini tashkil etish bo‘yicha qator normativ-huquqiy hujjatlar va davlat dasturlari qabul qilingan. Mazkur islohotlar iqtisodiyot tarmoqlarida energiya sig‘imini kamaytirish, ishlab chiqarish xarajatlarini qisqartirish va ekologik barqarorlikni ta’minlashga xizmat qilmoqda. Shu jihatdan energiya auditining ilmiy va amaliy ahamiyatini tadqiq etish, energiya samaradorligini oshirish orqali energiya tejamkorligiga erishish mexanizmlarini ishlab chiqish bugungi kunning dolzarb ilmiy masalalaridan biri hisoblanadi.

Hozirgi davrda sanoat korxonalarida energiya resurslaridan samarali foydalanish masalasi iqtisodiy va ekologik barqaror rivojlanishni ta’minlashning muhim omillaridan biri hisoblanadi. Ishlab chiqarish hajmlarining ortib borishi, elektr va issiqlik energiyasiga bo‘lgan talabning keskin oshishi hamda energiya resurslari narxining qimmatlashuvi korxonalarda energiya samaradorligini oshirish zaruratini yuzaga keltirmoqda. Shu sababli energiya iste’molini ilmiy asosda tahlil qilish, energiya yo‘qotishlarini aniqlash va ularni kamaytirishga qaratilgan texnik hamda tashkiliy chora-tadbirlarni ishlab chiqish dolzarb ilmiy-amaliy masalalardan biri hisoblanadi. Mazkur jarayonda energetik audit energiya resurslaridan foydalanish holatini kompleks baholashning samarali vositasi sifatida muhim ahamiyat kasb etadi.

Energetik audit korxona yoki tashkilotlarda elektr energiyasi, issiqlik energiyasi, yoqilg‘i va boshqa energiya resurslarining sarfini o‘rganish, tahlil qilish hamda baholash jarayoni hisoblanadi.

Audit davomida energiya iste’moli tarkibi aniqlanadi, energiya yo‘qotish manbalari baholanadi va energiya tejash imkoniyatlari ishlab chiqiladi. Energetik auditning asosiy maqsadi energiya resurslaridan oqilona foydalanish orqali ishlab chiqarish samaradorligini oshirish va energiya xarajatlarini kamaytirishdan iboratdir. Ilmiy tadqiqotlar natijalari shuni ko‘rsatadiki, sanoat korxonalarida umumiy energiya sarfining sezilarli qismi texnologik va texnik yo‘qotishlar hissasiga to‘g‘ri keladi. Ayniqsa eskirgan elektr qurilmalari, past foydali ish koeffitsientiga ega elektr dvigatellar, issiqlik izolyatsiyasining yetarli emasligi hamda elektr tarmoqlarining noto‘g‘ri yuklanishi energiya yo‘qotishlarining asosiy sabablaridan biri hisoblanadi.

Energiya samaradorligini baholashda mahsulotning energiya sig‘imi muhim ko‘rsatkich sifatida qo‘llaniladi. Mazkur ko‘rsatkich ishlab chiqarilgan mahsulot birligiga sarflangan energiya miqdorini ifodalaydi va quyidagi formula orqali aniqlanadi:

Mahsulotning energiya sig‘imi:

$$EI = E / Q$$

bu yerda EI mahsulotning energiya sig‘imi, E sarflangan energiya miqdori va Q ishlab chiqarilgan mahsulot hajmini anglatadi. Ushbu ko‘rsatkichning kamayishi korxonada energiya samaradorligi oshganligini bildiradi. Energetik audit davomida energiya yo‘qotishlari ham aniqlanadi va ular quyidagi tenglama asosida baholanadi:

Energiya yo‘qotishlari:

$$\Delta E = E_{kirish} - E_{foydali}$$

bu yerda ΔE- energiya yo‘qotishlari, Ekirish-tizimga kirgan umumiy energiya va Efoydali- ishga sarflangan energiyani ifodalaydi. Mazkur ko‘rsatkichlarni tahlil qilish orqali energiya sarfining eng katta ulushi qaysi texnologik jarayonlarga to‘g‘ri kelishi aniqlanadi hamda energiya tejash bo‘yicha texnik yechimlar ishlab chiqiladi.

Sanoat korxonalarida energiya tejashga qaratilgan chora-tadbirlar tashkiliy, texnik va avtomatlashtirilgan boshqaruv yo‘nalishlarida amalga oshiriladi. Tashkiliy tadbirlar ishlab chiqarish uskunalarining ish rejimini optimallashtirish, yuklama grafiklarini muvozanatlashtirish va energiya resurslaridan foydalanishni nazorat qilishga asoslanadi. Elektr yuklamalarining samaradorligi yuklama koeffitsienti orqali baholanadi va u quyidagi formula bilan aniqlanadi:

Yuklama koeffitsienti:

$$K_y = P_{o‘rtacha} / P_{maks}$$

Mazkur ko‘rsatkichning birlik qiymatiga yaqinlashishi energiya tizimining optimal ishlayotganligini ko‘rsatadi. Ilmiy kuzatishlar natijalariga ko‘ra yuklama rejimlarini optimallashtirish orqali elektr energiyasi sarfini sezilarli darajada kamaytirish mumkin.

Texnik modernizatsiya energiya tejashning eng samarali yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Jumladan, yoritish tizimlarini LED texnologiyalari asosida modernizatsiya qilish energiya iste’molini kamaytirishda yuqori samaradorlik beradi. Yoritish tizimining foydali ish koeffitsienti quyidagi formula orqali aniqlanadi:

Foydali ish koeffitsienti:

$$\eta = (P_{foydali} / P_{umumiy}) \times 100\%$$

Tahlillar natijasida LED texnologiyalaridan foydalanish orqali elektr energiyasi sarfini sezilarli kamaytirish mumkinligi aniqlangan. Shuningdek, nasos va ventilyator qurilmalarida chastota boshqaruv tizimlarini qo‘llash ham energiya tejash imkoniyatlarini kengaytiradi. Elektr dvigatellarning quvvat sarfi aylanish tezligining kubiga proporsional bo‘lib, bu quyidagi bog‘lanish orqali ifodalanadi:

Quvvat va aylanish tezligi bog‘lanishi:

$$P \sim n\text{^}3$$

mazkur bog‘lanish dvigatel aylanish tezligini kamaytirish orqali energiya sarfini sezilarli darajada qisqartirish mumkinligini ko‘rsatadi.

Energiya tejovchi tadbirlarning iqtisodiy samaradorligini baholash muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega. Yillik iqtisodiy tejash miqdori quyidagi formula asosida aniqlanadi:

bu yerda S iqtisodiy tejash miqdori, E_1 modernizatsiyagacha bo‘lgan energiya sarfi, E_2

modernizatsiyadan keyingi energiya sarfi va T energiya tarifini bildiradi. Investitsiya xarajatlarining qoplanish muddati esa quyidagi formula orqali aniqlanadi:

Qoplanish muddati:

$$t = K / S$$

bu yerda K loyiha uchun sarflangan investitsiya xarajatlarini anglatadi. Tadqiqotlar natijalariga ko‘ra energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etish xarajatlari odatda qisqa muddat ichida qoplanadi va korxonaning iqtisodiy samaradorligini oshiradi.

Korxonalarda energetik balansni tuzish energiya oqimlarini to‘liq tahlil qilish imkonini beradi. Energetik balans tizimga kirayotgan energiya, foydali sarflanayotgan energiya va yo‘qotishlar o‘rtasidagi bog‘liqlikni ifodalaydi hamda quyidagi tenglama bilan tavsiflanadi:

Energetik balans:

$$E_{kirish} = E_{foydali} + \Delta E$$

Elektr tarmoqlaridagi aktiv quvvat yo‘qotishlari quyidagi formula orqali aniqlanadi:

Aktiv quvvat yo‘qotilishi:

$$\Delta P = I\hat{}2\ R$$

bu yerda I tok kuchi va R elektr tarmog‘ining qarshiligini anglatadi. Ushbu tenglama elektr tarmoqlarida qarshilikni kamaytirish va yuklamalarni optimallashtirish energiya samaradorligini oshirishning muhim omillaridan biri ekanligini ko‘rsatadi.

O‘tkazilgan ilmiy tahlillar shuni ko‘rsatadiki, energetik audit sanoat korxonalarida energiya samaradorligini oshirishning muhim mexanizmlaridan biri hisoblanadi. Energetik auditni muntazam ravishda amalga oshirish, energiya menejment tizimlarini joriy etish, zamonaviy monitoring va avtomatlashtirish texnologiyalaridan foydalanish hamda qayta tiklanuvchi energiya manbalarini integratsiyalash orqali energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirish mumkin. Natijada ishlab chiqarish tannarxi pasayadi, uskunalarning xizmat muddati uzayadi, ekologik zarar kamayadi va korxonalarning iqtisodiy samaradorligi oshadi.

Energetik audit energiya samaradorligini oshirishda muhim rol o‘ynaydi. U orqali energiya yo‘qotishlari aniqlanadi va ularni kamaytirish bo‘yicha samarali chora-tadbirlar ishlab chiqiladi. Energiya tejash texnologiyalarini joriy etish korxonalarda iqtisodiy samaradorlikni oshiradi, energiya sarfini kamaytiradi va atrof-muhitni muhofaza qilishga xizmat qiladi.

Adabiyotlar

[1]. Қодиров Ш.Р. Energetik audit va energiya samaradorligi asoslari. Toshkent: “Fan va texnologiya”, 2020.
[2]. Хакимов А.А. Sanoat korxonalarida energiya tejash texnologiyalari. Toshkent: “O‘zbekiston”, 2019.
[3]. ISO 50001:2018. Energy management systems — Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization, Geneva, 2018.
[4]. Белов П.В. Энергетический аудит промышленных предприятий. Москва: Энергоатомиздат, 2018.
[5]. Узбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси. Энергия ресурсларидан самарали фойдаланиш тўғрисидаги меъёрий ҳужжатлар тўплами. Тошкент, 2022.
[6]. Bhattacharyya S.C. Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance. Springer, 2019.
[7]. GOST R 51379-99. Energy saving. Energy audits. General requirements. Russian Federation Standard, 2019.

SANOAT KORXONALARIDA ENERGIYA TEJAMKORLIGINI TA’MINLASHDA VENTILYATSIYA TIZIMLARINING O‘RNI

M.A. Abdullayeva, magistrant X.E. Ro‘ziboyev

Farg‘ona davlat texnika universiteti
e-mail: abdullayevamuxtasarxon91@gmail.com

(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Mazkur maqolada sanoat korxonalarida ventilyatsiya tizimlarining energiya tejamkorligini ta’minlashdagi o‘rni tahlil qilingan. Sanoat obyektlarida qo‘llanilayotgan ventilyatsiya tizimlarining mavjud holati, energiya iste’moli va asosiy energiya yo‘qotish omillari o‘rganilgan. Ventilyator qurilmalarining doimiy maksimal yuklama rejimida ishlashi, avtomatlashtirilgan boshqaruv*

tizimlarining yetarli darajada qo‘llanilmasligi hamda eskirgan elektr dvigatellardan foydalanish energiya sarfining ortishiga sabab bo‘lishi asoslab berilgan.

Shuningdek, SCADA tizimlari, sensorli monitoring vositalari va chastotali boshqaruv qurilmalarini qo‘llash orqali ventilyatsiya tizimlarining energiya samaradorligini oshirish imkoniyatlari yoritilgan.

Kalit so‘zlar: *ventilyatsiya tizimi, energiya tejamkorligi, sanoat korxonasi, SCADA tizimi, chastotali boshqaruv, sensorli monitoring, energiya samaradorligi, ventilyator, avtomatlashtirish, energiya menejmenti.*

Аннотация. *В данной статье проанализирована роль вентиляционных систем в обеспечении энергосбережения на промышленных предприятиях. Исследовано текущее состояние вентиляционных систем, применяемых на промышленных объектах, уровень энергопотребления и основные факторы энергетических потерь. Обосновано, что работа вентиляторных установок в режиме постоянной максимальной нагрузки, недостаточное применение автоматизированных систем управления, а также использование устаревших электродвигателей приводят к увеличению расхода электрической энергии.*

Также рассмотрены возможности повышения энергоэффективности вентиляционных систем за счет применения SCADA-систем, средств сенсорного мониторинга и устройств частотного регулирования.

Ключевые слова: *вентиляционная система, энергосбережение, промышленное предприятие, SCADA-система, частотное управление, сенсорный мониторинг, энергоэффективность, вентилятор, автоматизация, энергетический менеджмент.*

Abstract. *This article analyzes the role of ventilation systems in ensuring energy efficiency at industrial enterprises. The current state of ventilation systems used in industrial facilities, energy consumption levels, and the main causes of energy losses are investigated. It is substantiated that the operation of ventilation units at constant maximum load, insufficient implementation of automated control systems, and the use of outdated electric motors lead to increased electricity consumption.*

The paper also discusses the possibilities of improving the energy efficiency of ventilation systems through the implementation of SCADA systems, sensor monitoring tools, and variable frequency drive control devices.

Keywords: *ventilation system, energy efficiency, industrial enterprise, SCADA system, frequency control, sensor monitoring, energy efficiency, fan, automation, energy management.*

Hozirgi kunda sanoat korxonalarida energiya resurslaridan samarali foydalanish va energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Ishlab chiqarish jarayonlarining uzluksizligi, texnologik uskunalarning ishonchli ishlashi hamda mehnat sharoitining me’yoriy darajada saqlanishi ko‘p jihatdan korxonalardagi ventilyatsiya tizimlarining samaradorligiga bog‘liq. Ayniqsa, yirik sanoat obyektlarida ventilyator qurilmalari elektr energiyasi iste’molining sezilarli qismini tashkil etadi. Shu sababli ventilyatsiya tizimlarining energiya samaradorligini oshirish sanoat korxonalarida umumiy energiya sarfini kamaytirishning muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

An’anaviy ventilyatsiya tizimlarida havo almashinuvi jarayonlari ko‘p hollarda doimiy yuklama asosida boshqariladi. Natijada ishlab chiqarish ehtiyojidan ortiqcha havo aylanishi yuzaga kelib, elektr energiyasi sarfi ortadi. Zamonaviy energiya tejamkor ventilyatsiya tizimlarida esa chastotali boshqaruv qurilmalari, avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari hamda sensorli nazorat vositalaridan foydalanish orqali ventilyatorlarning ish rejimini optimal boshqarish imkoniyati yaratiladi. Bu esa elektr energiyasi iste’molini sezilarli darajada kamaytirishga xizmat qiladi.

Sanoat korxonalarida ventilyatsiya tizimlarining energiya samaradorligini oshirish nafaqat elektr energiyasi tejamkorligini ta’minlaydi, balki texnologik uskunalarning xizmat muddatini uzaytirish, ishlab chiqarish xavfsizligini oshirish va ekologik ko‘rsatkichlarni yaxshilash imkonini ham beradi. Ayniqsa, SCADA tizimlari va avtomatlashtirilgan boshqaruv vositalari asosida tashkil etilgan ventilyatsiya tizimlari havo harorati, namlik va gaz konsentratsiyasini real vaqt rejimida nazorat qilish imkoniyatiga ega bo‘lib, energiya resurslaridan oqilona foydalanishni ta’minlaydi.
Shu jihatdan sanoat korxonalarida ventilyatsiya tizimlarini modernizatsiya qilish, energiya tejamkor boshqaruv usullarini joriy etish va elektr energiyasi sarfini optimallashtirish masalalari zamonaviy energetika va sanoat avtomatlashtirishining muhim ilmiy-amaliy yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

Sanoat korxonalarida energiya tejamkorligini ta’minlash va ventilyatsiya tizimlarini modernizatsiya qilish masalalari bo‘yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, ventilyator qurilmalari ishlab chiqarish obyektlaridagi elektr energiyasi iste’molining asosiy qismlaridan birini tashkil etadi. Shu sababli ventilyatsiya tizimlarining energiya samaradorligini oshirish sanoat korxonalarida energiya resurslaridan oqilona foydalanishning muhim yo‘nalishlaridan biri sifatida qaralmoqda.

V.E. Yurevich o‘zining ventilyatsiya tizimlariga oid ilmiy tadqiqotlarida sanoat obyektlaridagi ventilyator qurilmalarining noto‘g‘ri tanlanishi va doimiy maksimal yuklama rejimida ishlashi ortiqcha elektr energiyasi sarfiga olib kelishini ta’kidlagan [1]. Muallif chastotali boshqaruv qurilmalarini qo‘llash orqali ventilyatorlarning ish unumdorligini ishlab chiqarish ehtiyojiga mos ravishda boshqarish mumkinligini ilmiy asoslab bergan.

A.N. Sokolov tomonidan olib borilgan ilmiy ishlarda avtomatlashtirilgan ventilyatsiya tizimlari yordamida havo almashinuvi jarayonlarini optimallashtirish elektr energiyasi sarfini kamaytirishning samarali usuli sifatida baholangan [2]. Tadqiqotlarda sensorli monitoring vositalari va SCADA tizimlari asosida tashkil etilgan boshqaruv tizimlari energiya tejamkorligini sezilarli darajada oshirishi ko‘rsatib o‘tilgan.

M. Wang va J. Liu tomonidan sanoat ventilyatsiya tizimlarining energiya samaradorligi bo‘yicha olib borilgan xalqaro tadqiqotlarda ventilyator elektr dvigatellarida chastotali rostlash usullarini qo‘llash natijasida elektr energiyasi iste’molini 20–35 % gacha kamaytirish mumkinligi aniqlangan [3]. Mualliflar ventilyatsiya tizimlarini avtomatlashtirish ishlab chiqarish obyektlarining umumiy energiya samaradorligini oshirishga xizmat qilishini ta’kidlaganlar.

Shuningdek, SCADA tizimlari asosida ventilyatsiya tizimlarini masofadan monitoring qilish va boshqarish bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlarda P. Comelos energiya iste’molini real vaqt rejimida nazorat qilish ventilyatorlarning ortiqcha yuklama bilan ishlashining oldini olishini qayd etgan [4]. Muallifning fikriga ko‘ra, raqamli monitoring tizimlari ventilyatsiya qurilmalarining ekspluatatsion xarajatlarini kamaytirish va uskunalarning xizmat muddatini uzaytirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Energiya menejmenti va sanoat energetikasi bo‘yicha olib borilgan ilmiy ishlarda Sh.M. Axmedov sanoat korxonalarida energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etish, jumladan ventilyatsiya tizimlarini avtomatlashtirish elektr energiyasi yo‘qotishlarini kamaytirish va energiya samaradorligini oshirishning muhim omillaridan biri ekanligini ta’kidlagan [5]. Muallif energiya iste’molini monitoring qilish va optimal boshqaruv usullaridan foydalanish sanoat korxonalarida iqtisodiy samaradorlikni oshirishini ilmiy jihatdan asoslab bergan.

Sanoat korxonalarida ventilyatsiya tizimi ishlab chiqarish binolarida havo almashinuvini ta’minlash, zararli gaz va changlarni chiqarib yuborish hamda texnologik jarayonlar uchun zarur bo‘lgan mikroiqlim parametrlarini saqlab turishga xizmat qiluvchi muhim muhandislik tizimi hisoblanadi. Ventilyatsiya tizimlari yordamida ishlab chiqarish xonalarida havo harorati, namlik darajasi, havo tezligi va zararli moddalar konsentratsiyasi me’yoriy qiymatlarda ushlab turiladi.

Sanoat ventilyatsiyasining asosiy vazifasi ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘ladigan issiqlik, chang, gaz va bug‘larni tashqi muhitga chiqarish hamda ishchi hududga toza havo yetkazib berishdan iborat. Ayniqsa, metallurgiya, kimyo, neft-gaz, energetika va mashinasozlik sanoati korxonalarida ventilyatsiya tizimlari texnologik xavfsizlik va mehnat muhofazasining muhim tarkibiy qismi hisoblanadi.

Ventilyatsiya tizimlari tabiiy va sun’iy turlarga bo‘linadi. Tabiiy ventilyatsiyada havo almashinuvi atmosfera bosimi va harorat farqi hisobiga amalga oshiriladi. Sun’iy yoki mexanik ventilyatsiyada esa ventilyatorlar va havo uzatish qurilmalari yordamida havo oqimi majburiy ravishda harakatlantiriladi. Zamonaviy sanoat korxonalarida asosan mexanik ventilyatsiya tizimlari qo‘llanilib, ular yuqori samaradorlik va boshqaruv imkoniyatlari bilan tavsiflanadi.

Sanoat ventilyatsiya tizimlari umumiy almashinuv ventilyatsiyasi, mahalliy ventilyatsiya va avariya ventilyatsiyasi kabi turlarga ajratiladi. Umumiy almashinuv ventilyatsiyasi butun ishlab chiqarish hududida havo almashinuvini ta’minlasa, mahalliy ventilyatsiya zararli moddalarni hosil bo‘lish manbasidan to‘g‘ridan-to‘g‘ri chiqarib yuborishga xizmat qiladi. Avariya ventilyatsiyasi esa

favqulodda holatlarda zararli gaz yoki tutunlarni tezkor chiqarib yuborish uchun qo‘llaniladi.
Hozirgi kunda sanoat korxonalarida qo‘llanilayotgan ventilyatsiya tizimlari ishlab chiqarish texnologiyasi, korxona quvvati va texnologik jarayonlarning xususiyatiga qarab turli shakllarda tashkil etilgan. Ayniqsa, metallurgiya, kimyo, neft-gaz, sement, to‘qimachilik va energetika korxonalarida ventilyatsiya tizimlari elektr energiyasi iste’molining asosiy ulushlaridan birini tashkil etadi. Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, ayrim sanoat obyektlarida ventilyatsiya tizimlari umumiy elektr energiyasi sarfining 25–40 % gacha qismini egallaydi.

Sanoat korxonalarida asosan umumiy almashinuv ventilyatsiyasi, mahalliy ventilyatsiya va avariya ventilyatsiyasi tizimlari qo‘llaniladi. Umumiy almashinuv ventilyatsiyasi ishlab chiqarish binosidagi umumiy havo muhitini me’yoriy holatda ushlab turishga xizmat qiladi. Mahalliy ventilyatsiya tizimlari esa chang, zararli gaz va yuqori harorat hosil bo‘ladigan texnologik nuqtalarda qo‘llaniladi. Avariya ventilyatsiyasi kimyoviy va portlash xavfi mavjud bo‘lgan korxonalarda favqulodda holatlarda zararli moddalarni tezkor chiqarib yuborish uchun ishlatiladi.

Mavjud sanoat korxonalaridagi tahlillar shuni ko‘rsatadiki, ko‘plab ventilyatsiya tizimlari hali ham an’anaviy boshqaruv asosida ishlamoqda. Ventilyator elektr dvigatellari doimiy maksimal tezlikda ishlashi natijasida ortiqcha elektr energiyasi sarfi yuzaga kelmoqda. Ayniqsa, ishlab chiqarish yuklamasi kamaygan paytda ham ventilyatorlarning to‘liq quvvatda ishlashi energiya isrofining asosiy sabablaridan biri hisoblanadi.

Ventilyatsiya tizimlaridagi asosiy energiya yo‘qotishlari quyidagi omillar bilan bog‘liq:

- ventilyatorlarning noto‘g‘ri tanlanishi;
- eskirgan elektr dvigatellardan foydalanish;
- havo kanallaridagi aerodinamik qarshiliklarning yuqoriligi;
- filtrlarning ifloslanishi;
- ventilyatorlarning doimiy maksimal yuklama rejimida ishlashi;
- avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarining mavjud emasligi;
- havo oqimining texnologik talabga mos boshqarilmasligi.

Tahlillarga ko‘ra, sanoat korxonalaridagi ventilyatsiya tizimlarida elektr energiyasi yo‘qotishlarining 15–30 % qismi ventilyatorlarning samarasiz boshqarilishi bilan bog‘liq. Chastotali boshqaruv qurilmalari va SCADA tizimlari mavjud bo‘lmagan korxonalarda ventilyatorlar yuklamaga mos ravishda boshqarilmaydi. Natijada ortiqcha havo almashinuvi yuzaga kelib, elektr energiyasi sarfi oshadi.

Bundan tashqari, ayrim korxonalarda ventilyatsiya tizimlarining texnik holati muntazam monitoring qilinmasligi sababli podshipniklarning yeyilishi, ventilyator parraklarining deformatsiyasi va dvigatellarning ortiqcha qizishi kuzatiladi. Bu holatlar elektr dvigatellarining foydali ish koeffitsientini kamaytirib, qo‘shimcha energiya sarfiga olib keladi.

Sanoat korxonalarida ventilyatsiya tizimlarining energiya samaradorligini oshirish maqsadida ventilyator qurilmalarini zamonaviy avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari asosida modernizatsiya qilish tavsiya etiladi. Ayniqsa, ventilyatsiya tizimlariga SCADA platformalari, sensorli monitoring vositalari hamda chastotali boshqaruv qurilmalarini integratsiyalash energiya resurslaridan oqilona foydalanishni ta’minlaydi. Ventilyator elektr dvigatellarini chastotali boshqaruv qurilmalari orqali boshqarish havo almashinuvi hajmini ishlab chiqarish ehtiyojiga mos ravishda avtomatik rostlash imkonini beradi. Natijada ventilyatorlarning doimiy maksimal yuklama rejimida ishlashining oldi olinib, elektr energiyasi iste’moli sezilarli darajada kamayadi. Aerodinamik qonunlarga ko‘ra ventilyator aylanish tezligining kamayishi quvvat sarfiga kubik bog‘liqlik asosida ta’sir qiladi:

$$P1 / P2 = (n1 / n2)^3$$

bu yerda P — ventilyator quvvati, n — aylanish tezligi.

Mazkur bog‘lanishga ko‘ra ventilyator tezligini 20 foizga kamaytirish elektr energiyasi sarfini taxminan 50 foizgacha kamaytirish imkonini beradi. Shu sababli chastotali boshqaruv qurilmalarini qo‘llash ventilyatsiya tizimlarining asosiy energiya tejamkor texnologiyalaridan biri hisoblanadi. Shuningdek, ventilyatsiya tizimlarida harorat, namlik, gaz konsentratsiyasi va havo oqimini nazorat qiluvchi sensorlarni qo‘llash tavsiya etiladi. Sensorli monitoring vositalari

yordamida ventilyatsiya tizimi faqat texnologik zarurat mavjud bo‘lgan holatlarda faol ishlaydi. Bu esa ortiqcha havo almashinuvini kamaytirish orqali energiya yo‘qotishlarini qisqartiradi.

SCADA tizimlarini joriy etish orqali ventilyator qurilmalarining ish holatini real vaqt rejimida monitoring qilish, avariya holatlarini tezkor aniqlash hamda masofadan boshqarish imkoniyati yaratiladi. Bunda podshipniklarning qizishi, dvigatel yuklamasining ortishi yoki filtrlarning ifloslanishi kabi nosozliklar oldindan aniqlanib, texnik xizmat ko‘rsatish jarayonlari optimallashtiriladi. Natijada uskunalarning xizmat muddati uzayadi va ekspluatatsion xarajatlar kamayadi.

Bundan tashqari, eskirgan ventilyator elektr dvigatellarini yuqori foydali ish koeffitsientiga ega energiya tejamkor IE3 va IE4 sinfidagi dvigatellarga almashtirish tavsiya etiladi. Zamonaviy energiya samarador dvigatellarini qo‘llash elektr energiyasi yo‘qotishlarini kamaytirish va ventilyatsiya tizimining umumiy samaradorligini oshirish imkonini beradi.

Demak, sanoat korxonalarida ventilyatsiya tizimlarini SCADA texnologiyalari, sensorli monitoring vositalari va chastotali boshqaruv qurilmalari asosida modernizatsiya qilish energiya tejamkorligini ta’minlash, elektr energiyasi sarfini kamaytirish, uskunalar ishonchliligini oshirish hamda korxonalarning texnik-iqtisodiy samaradorligini yaxshilashning muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

Sanoat korxonalarida ventilyatsiya tizimlarini modernizatsiya qilish va avtomatlashtirilgan boshqaruv texnologiyalarini joriy etish energiya tejamkorligini oshirishning muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. SCADA tizimlari, sensorli monitoring vositalari hamda chastotali boshqaruv qurilmalarini qo‘llash orqali ventilyatorlarning ish rejimini optimal boshqarish, elektr energiyasi sarfini kamaytirish va uskunalarning ishonchliligini oshirish mumkin. Shuningdek, zamonaviy energiya samarador ventilyatsiya tizimlarini qo‘llash energiya yo‘qotishlarini kamaytirish, ekspluatatsion xarajatlarni qisqartirish hamda sanoat korxonalarining umumiy texnik-iqtisodiy samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Adabiyotlar

[1]. Yurevich V.E. Sanoat ventilyatsiya tizimlari va energiya samaradorligi. – Moskva: Energoizdat, 2019.
[2]. Sokolov A.N. Avtomatlashtirilgan ventilyatsiya tizimlari asoslari. – Sankt-Peterburg: Mashinostroyeniye, 2020.
[3]. Wang M., Liu J. Industrial Ventilation Energy Efficiency Technologies. – Elsevier Publishing, 2021.
[4]. Comelos P. SCADA Based Monitoring Systems in Industrial Ventilation. – IEEE Press, 2020.
[5]. Axmedov Sh.M. Sanoat korxonalarida energiya menejmenti va energiya tejamkor texnologiyalar. – Toshkent: “Innovatsion rivojlanish”, 2022.

ASKUE TIZIMLARI ASOSIDA SANOAT KORXONALARIDA ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISH VA PROGNOZLASH

M.A. Abdullayeva, Sh.M. Nabiyev

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
shukurjonnabiyev473@gmail.com
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada sanoat korxonalarida elektr energiyasini hisobga olishning avtomatlashtirilgan tizimi (ASKUE)ni joriy etishning ahamiyati, uning energiya samaradorligiga ta’siri hamda energiya sarfini prognozlash imkoniyatlari o‘rganilgan. Tadqiqot jarayonida shartli sanoat korxonasi modeli asosida energiya sarfi tahlil qilinib, ASKUE tizimi mavjud va mavjud bo‘lmagan holatlar o‘zaro taqqoslandi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, ASKUE tizimini joriy etish energiya yo‘qotishlarini sezilarli darajada kamaytiradi va umumiy energiya samaradorligini oshiradi.*

Kalit so‘zlar. *ASKUE, energiya auditi, energiya samaradorligi, avtomatlashtirish, prognozlash, energiya yo‘qotishlari, monitoring.*

Аннотация. *В данной статье рассматривается значение внедрения автоматизированной системы учета электроэнергии (АСКУЭ) на промышленных предприятиях, ее влияние на энергоэффективность, а также возможности прогнозирования энергопотребления. В ходе*

исследования на основе условной модели промышленного предприятия был проведен анализ энергопотребления, а также выполнено сравнение состояний при наличии и отсутствии системы АСКУЭ. Полученные результаты показали, что внедрение системы АСКУЭ позволяет существенно снизить потери энергии и повысить общую энергоэффективность.

Ключевые слова: *АСКУЭ, энергетический аудит, энергоэффективность, автоматизация, прогнозирование, потери энергии, мониторинг*

Abstract. *This article examines the importance of implementing an Automated System for Commercial Electricity Metering (ASKUE) in industrial enterprises, its impact on energy efficiency, and the possibilities of energy consumption forecasting. During the study, energy consumption was analyzed based on a model of a typical industrial enterprise, and a comparison was made between conditions with and without the ASKUE system. The results showed that the implementation of ASKUE significantly reduces energy losses and improves overall energy efficiency.*

Keywords: *ASKUE, energy audit, energy efficiency, automation, forecasting, energy losses, monitoring.*

Hozirgi kunda sanoat korxonalarida energiya resurslaridan samarali foydalanish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Energiya iste’molining ortib borishi, sanoatning rivojlanishi va ekologik muammolar energiya samaradorligini oshirishni talab etmoqda. Ayniqsa, sanoat sektori energiya iste’molining asosiy qismini tashkil etgani sababli, energiya sarfini nazorat qilish va optimallashtirish muhim ahamiyat kasb etadi. An’anaviy hisobga olish tizimlarida ma’lumotlarning kechikishi, inson omilining yuqoriligi va aniqlikning pastligi energiya yo‘qotishlarini aniqlashni qiyinlashtiradi. Natijada ortiqcha sarf, texnik va tijorat yo‘qotishlar yuzaga keladi. Shu sababli energiya resurslarini hisobga olishning avtomatlashtirilgan tizimlari, xususan ASKUE tizimini joriy etish zarur hisoblanadi.

ASKUE - bu elektr energiyasi iste’molini o‘lchash, ma’lumotlarni real vaqt rejimida yig‘ish, uzatish va tahlil qilishni ta’minlovchi avtomatlashtirilgan tizimdir. U energiya iste’moli ustidan uzluksiz monitoringni amalga oshirib, yo‘qotishlarni aniqlash va boshqaruv qarorlarini qabul qilish imkonini beradi.

Energiya samaradorligini oshirish va elektr energiyasini avtomatlashtirilgan nazorat qilish masalalari bo‘yicha bir qator ilmiy va uslubiy manbalar tahlil qilindi. Jumladan, R.X. Karimovning “Energiya auditi asoslari” asarida energiya resurslarini tahlil qilish, energiya yo‘qotishlarini aniqlash hamda energiya auditi jarayonlarini tashkil etish usullari yoritilgan [1]. Mazkur manba energiya samaradorligini baholashning nazariy asoslarini shakllantirishda muhim ahamiyat kasb etdi. A.A. Rasulov va B.S. Jo‘rayevlarning ASKUE tizimlariga bag‘ishlangan ilmiy ishlanmalarida elektr energiyasini avtomatlashtirilgan hisobga olish tizimlarining ishlash prinsiplari, ma’lumotlarni yig‘ish va monitoring qilish imkoniyatlari tahlil qilingan [2]. Ushbu manba ASKUE tizimining sanoat korxonalaridagi amaliy ahamiyatini yoritishda asosiy nazariy manbalardan biri bo‘lib xizmat qildi. V.I. Petrov tomonidan SCADA va avtomatlashtirish tizimlari bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlarda sanoat korxonalarida nazorat va boshqaruv jarayonlarini raqamlashtirishning texnologik jihatlari bayon etilgan [3]. Mazkur yondashuv energiya monitoringi va masofaviy boshqaruv tizimlarini tashkil etishda muhim metodologik asos sifatida foydalanildi.

Sh.M. Axmedovning energiya samaradorligi va energiya menejmentiga oid ilmiy qarashlarida energiya resurslaridan oqilona foydalanish, energiya sarfini optimallashtirish hamda energiya boshqaruvining zamonaviy usullari ko‘rib chiqilgan [4]. Ushbu manba energiya iste’molini kamaytirish va samaradorlik ko‘rsatkichlarini oshirish bo‘yicha ilmiy asoslarni shakllantirishga xizmat qildi. Shuningdek, ISO 50001 xalqaro standarti energiya menejmenti tizimlarini tashkil etish, energiya samaradorligini uzluksiz oshirish hamda energiya resurslarini boshqarish bo‘yicha xalqaro talab va tavsiyalarni belgilab beradi [5]. Mazkur standart asosida energiya iste’molini monitoring qilish va prognozlash jarayonlarini takomillashtirish imkoniyatlari tahlil qilindi.

Sanoat korxonalarida elektr energiyasi iste’molini samarali boshqarish va energiya resurslaridan oqilona foydalanish masalalari zamonaviy energetikaning dolzarb yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Raqamlashtirish jarayonlarining jadallashuvi natijasida elektr energiyasini nazorat qilish va hisobga olishning avtomatlashtirilgan tizimlarini qo‘llash zarurati ortib bormoqda. Shu

jihatdan ASKUE tizimi energiya iste'molini monitoring qilish, hisobga olish va tahlil qilishning samarali vositasi sifatida muhim ahamiyat kasb etadi.

ASKUE tizimining funksional imkoniyatlari sanoat korxonalarida energiya iste'moli ko'rsatkichlarini real vaqt rejimida kuzatish, energiya sarfini tahlil qilish hamda energiya yo'qotishlarini aniqlash imkonini beradi. Mazkur tizim orqali energiya iste'moli bo'yicha aniq ma'lumotlarni shakllantirish va ularni taqqoslash asosida energiya samaradorligini oshirishga erishiladi.

Energiya iste'molini baholash jarayonida elektr energiyasi sarfi yuqori bo'lgan sanoat korxonasi modeli asos qilib olindi. Korxonaning asosiy elektr iste'molchilari sifatida nasoslar, kompressorlar va ventilyator qurilmalari tanlandi. Ushbu qurilmalar sanoat korxonalarida keng qo'llanilishi hamda umumiy energiya iste'molida salmoqli ulushga egaligi bilan tavsiflanadi.

Energiya sarfi ko'rsatkichlarini tahlil qilishda taqqoslash va matematik modellashtirish usullaridan foydalanildi. Natijada energiya iste'moli dinamikasini aniqlash, energiya yo'qotishlarini baholash hamda iste'mol hajmini prognozlash imkonini beruvchi model shakllantirildi. ASKUE tizimi asosida energiya hisobini avtomatlashtirish nazorat aniqligini oshirish, energiya resurslaridan samarali foydalanish va energiya menejmenti samaradorligini takomillashtirishga xizmat qiladi.

Agar sanoat korxonasining iste'molchilari misolida, ya'ni yuklama va vaqtga nisbatan biz taklif qilayotgan modelni ko'radigan bo'lsak, bu uchun quyidagi kichik xolda yuklamalarni olib, taxlilini ko'rsatamiz (1-jadval).

1-jadval

Qurilma nomi	Quvvat (kW)	Ishlash vaqti (soat/kun)
Nasos	50	10
Kompressor	75	8
Ventilyator	30	12

ASKUE tizimi joriy etilmagan holatda sanoat korxonasidagi energiya iste'moli taxlilini ko'rsak, bunda energiya iste'moli an'anaviy usulda, ya'ni nazorat va monitoring tizimisiz amalga oshiriladi. Energiya sarfi quyidagi formula asosida aniqlanadi:

$$E = P \cdot t$$

bu yerda:

E — energiya sarfi (kWh)

P — qurilma quvvati (kW)

t — ishlash vaqti (soat)

Hisob-kitob:

Nasos:

$$E_1 = 50 \times 10 = 500\ \text{kWh}$$

Kompressor:

$$E_2 = 75 \times 8 = 600\ \text{kWh}$$

Ventilyator:

$$E_3 = 30 \times 12 = 360\ \text{kWh}$$

Umumiy energiya sarfi:

$$E_{umumiy} = 500 + 600 + 360 = 1460\ \text{kWh}$$

Nazorat tizimi mavjud emasligi sababli energiya yo'qotishlari taxminan 15% ni tashkil etadi:

$$\Delta E_1 = 1460 \times 0.15 = 219\ \text{kWh}$$

Haqiqiy energiya sarfi:

$$E_{real1} = 1460 + 219 = 1679\ \text{kWh}$$

ASKUE tizimi joriy etilgandagi holat uchun ASKUE tizimi joriy etilganda energiya iste'moli real vaqt rejimida nazorat qilinadi va energiya yo'qotishlari 5% gacha kamayadi.

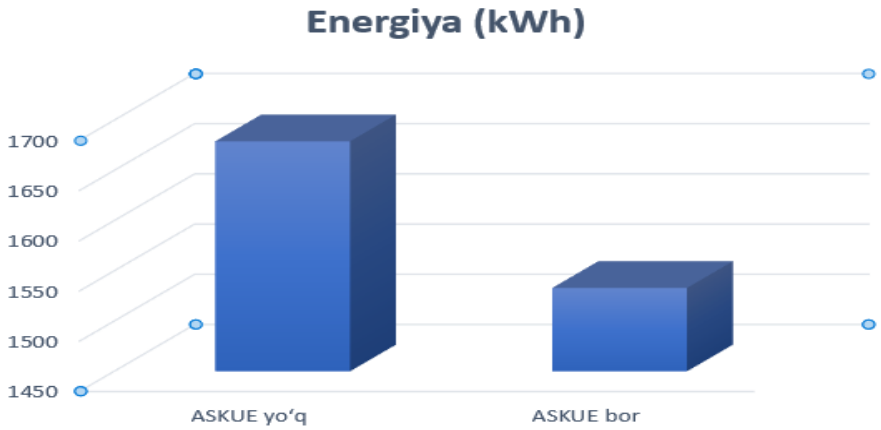
Yo'qotish:

$$\Delta E_2 = 1460 \times 0.05 = 73\ \text{kWh}$$

Umumiy sarf:

$$E_{real2} = 1460 + 73 = 1533\ \text{kWh}$$

Natijalarni taqqoslash:



1-rasm. Sanoat korxonasida ASKUE tizimi o‘rnatilgan va o‘rnatilmagan holatlardagi energiya isrofi taxlilining diagrammada ko‘rinishi.

Energiya tejamkorligi

$$\Delta E = 1679 - 1533 = 146\ \text{kWh/kun}$$

Yillik tejamkorlik:

$$E_{yil} = 146 \times 365 = 53290\ \text{kWh}$$

Energiya samaradorligi

$$\eta = \frac{E_{foydali}}{E_{umumiy}} \times 100$$

Natijalar:

ASKUEsiz:

$$\eta_1 = \frac{1460}{1679} \times 100 \approx 87\%$$

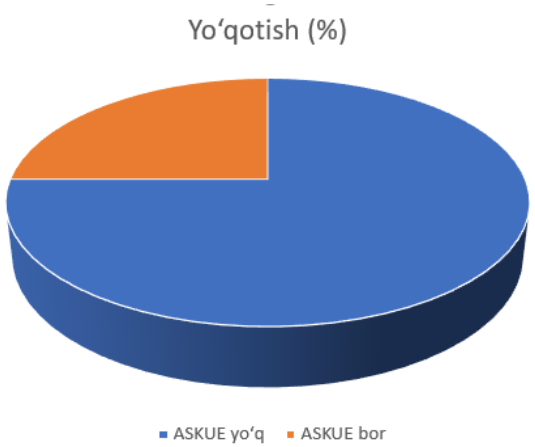
ASKUE bilan:

$$\eta_2 = \frac{1460}{1533} \times 100 \approx 95\%$$

Prognozlash modeli

$$E(t) = E_0 - k \cdot t$$

bu yerda:
E_0 — boshlang‘ich energiya sarfi
k — energiya tejash koeffitsienti
t — vaqt



2-rasm. ASKUE tizimi o’rnatilgan va o’rnatilmagan holatidagi energiya yo’qotilishining foizlarda ko’rinishi.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, ASKUE tizimini joriy etish orqali energiya yo‘qotishlari 15% dan 5% gacha kamayadi. Bu esa korxonada energiya resurslaridan samarali foydalanish, iqtisodiy xarajatlarni kamaytirish va ishlab chiqarish samaradorligini oshirishga olib keladi. Bundan tashqari, avtomatlashtirilgan monitoring tizimi yordamida energiya iste’moli ustidan to‘liq nazorat o‘rnatiladi va energiya menejmenti tizimi takomillashtiriladi.

ASKUE tizimi joriy etilganda korxonada energiya sarfi 1679 kWh dan 1533 kWh gacha kamaydi. Natijada kunlik 146 kWh, yillik esa 53290 kWh energiya tejalishi aniqlandi.

Energiya yo‘qotishlari ASKUEsiz holatda 15% bo‘lgan bo‘lsa, tizim joriy etilgandan so‘ng 5% gacha kamaydi. Energiya samaradorligi esa 87% dan 95%

gacha oshdi. Bu natijalar ASKUE tizimining energiya nazorati va optimallashtirishdagi yuqori samaradorligini ko‘rsatadi.

Xulosa qilib aytganda, ASKUE tizimini sanoat korxonalarida joriy etish elektr energiyasi iste’molini samarali nazorat qilish va boshqarish imkoniyatini oshiradi. Tizim yordamida energiya sarfi ko‘rsatkichlarini real vaqt rejimida monitoring qilish, energiya yo‘qotishlarini aniqlash hamda iste’mol jarayonlarini optimallashtirish imkoniyati kengayadi.

Hisob-kitob natijalari ASKUE tizimi qo‘llanilganda energiya yo‘qotishlari 15 % dan 5 % gacha kamayishini ko‘rsatdi. Shuningdek, korxonada kunlik 146 kWh hamda yillik 53290 kWh elektr energiyasini tejash imkoniyati mavjudligi aniqlandi. Natijada energiya samaradorligi 87 % dan 95 % gacha oshishi kuzatildi.

Bundan tashqari, ishlab chiqilgan prognozlash modeli energiya iste’moli ko‘rsatkichlarini oldindan baholash, yuklama o‘zgarishlarini tahlil qilish hamda energiya resurslaridan foydalanishni rejalashtirish imkonini beradi. Mazkur yondashuv sanoat korxonalarida energiya menejmenti samaradorligini oshirish va energiya resurslaridan oqilona foydalanishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Adabiyotlar

[1]. Karimov R.X. Energiya auditi asoslari. – Toshkent: “Fan va texnologiya” nashriyoti, 2020.
[2]. Rasulov A.A., Jo‘rayev B.S. ASKUE tizimlari va elektr energiyasini avtomatlashtirilgan hisobga olish. – Toshkent: “O‘zbekiston”, 2021.
[3]. Petrov V.I. SCADA tizimlari va sanoat avtomatlashtirish asoslari. – Moskva: Energoatomizdat, 2019.
[4]. Axmedov Sh.M. Energiya samaradorligi va energiya menejmenti. – Toshkent: “Innovatsion rivojlanish”, 2022.
[5]. International Organization for Standardization. ISO 50001:2018 Energy Management Systems – Requirements with guidance for use. – Geneva, Switzerland, 2018.

KAMERA ASOSIDA ERTA YONG‘IN ANIQLASHNING ALGORITMLARI

O.M. Urishev, talaba I.S. Sobirjonov

Farg‘ona davlat texnika universiteti
e-mail: ibratbek_sobirjonov@fstu.uz

(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Ushbu tadqiqot kamera va infraqizil tasvirlash texnologiyalari asosida yong‘inning erta bosqichini aniqlash hamda minimal suv sarfi bilan avtomatik o‘chirish tizimini ishlab chiqish va eksperimental baholashga bag‘ishlangan. Taklif etilgan tizimda video va IR oqimlaridan olov belgilarini aniqlash uchun kompyuter ko‘rish algoritmlari hamda YOLO asosidagi chuqur o‘rganish modeli qo‘llanilgan. Aniqlangan yong‘in o‘chog‘ining koordinatalari kamera geometriyasi asosida fazoviy koordinatalarga o‘tkazilib, ikki erkinlik darajasiga ega servo manipulyator orqali suv purkagich tizimiga uzatiladi. Tajriba sinovlari natijasida tizimning o‘rtacha javob vaqti 1.78 s ni tashkil etgani, fazoviy lokalizatsiya xatoligi 0.14 m atrofida bo‘lgani hamda an’anaviy sprinkler tizimlariga nisbatan suv sarfi 3–5 baravar kamaygani aniqlandi. Olingan natijalar taklif etilgan yondashuv yopiq muhitlarda yong‘inni erta aniqlash va maqsadli o‘chirish uchun samarali yechim bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi.*

Kalit so‘zlar: *yong‘inni erta aniqlash, kompyuter ko‘rish, infraqizil kamera, YOLO modeli, hotspot lokalizatsiya, servo manipulyator, avtomatik yong‘in o‘chirish, suv sarfini optimallashtirish, real vaqt tizimlari.*

Аннотация: *Данное исследование посвящено разработке и экспериментальной оценке системы раннего обнаружения пожара и автоматического тушения с минимальным расходом воды на основе технологий видео- и инфракрасной визуализации. Предложенная система использует алгоритмы компьютерного зрения и модель глубокого обучения на основе YOLO для обнаружения признаков пожара в видео- и ИК-потоках. Координаты обнаруженного источника пожара преобразуются в пространственные координаты на основе геометрии камеры и передаются в систему водяного пожаротушения через сервоманипулятор с двумя степенями свободы. Экспериментальные испытания показали, что среднее время отклика системы составило 1,78 с, ошибка пространственной локализации — около 0,14 м, а расход воды снизился в 3–5 раз по сравнению с традиционными спринклерными системами. Результаты показывают, что*

предложенный подход может быть эффективным решением для раннего обнаружения и целенаправленного тушения пожаров в закрытых помещениях.

Ключевые слова: *раннее обнаружение пожара, компьютерное зрение, инфракрасная камера, модель YOLO, локализация очага возгорания, сервоманипулятор, автоматическое тушение пожара, оптимизация расхода воды, системы реального времени.*

I. KIRISH

Yong‘in xavfsizligi sanoat obyektlari, logistika markazlari, energetika infratuzilmalari, omborxonalar va turar joy binolari uchun eng muhim muhandislik masalalaridan biridir. Yong‘in hodisasi ko‘pincha juda qisqa vaqt ichida nazoratdan chiqadi: dastlab kichik issiqlik manbasi paydo bo‘ladi, keyin tutun va olov zonasi kengayadi, so‘ngra issiqlik tarqalishi natijasida yaqin atrofdagi materiallar yonishga kirishadi. Shu sababli yong‘inning dastlabki belgilarini imkon qadar erta aniqlash va yong‘in o‘chog‘iga tezkor, aniq hamda resursni tejovchi javob berish zamonaviy yong‘in xavfsizligi tizimlarining asosiy talabiga aylanmoqda.

An’anaviy signalizatsiya tizimlari asosan tutun, harorat yoki gaz sensorlariga tayanadi. Bunday sensorlar oddiy, arzon va ko‘plab binolarda keng qo‘llaniladi. Biroq ular yong‘inning bor-yo‘qligi haqida umumiy signal beradi, xolos; yong‘in o‘chog‘ining tasvirdagi joylashuvi, real koordinatasi, maydoni va tarqalish yo‘nalishini aniqlamaydi. Bundan tashqari, sanoat changi, bug‘, isitish qurilmalari, payvandlash jarayonlari yoki yorug‘lik reflekslari noto‘g‘ri signal paydo bo‘lishiga olib kelishi mumkin. Bu muammo ayniqsa katta sexlar, yopiq omborlar va bir nechta texnologik zona mavjud obyektlarda keskin seziladi.

Kompyuter ko‘rish texnologiyalari bu cheklovni yumshatadi, chunki kamera nafaqat hodisa mavjudligini, balki uning joylashuvi va dinamikasini ham kuzatadi. RGB tasvirlarda olovning rang spektri, shakl chegaralari, tebranishi va harakat xususiyatlari ajratiladi. Infraqizil kamera esa yoritilish past bo‘lgan yoki tutun ko‘p bo‘lgan holatlarda yuqori temperaturali zonalarni kuzatish imkonini beradi. Chuqur o‘rganish modellaridan YOLO arxitekturasi real vaqt rejimida obyekt deteksiyasi uchun qulay bo‘lib, bir martalik hisoblashda bounding box koordinatalari va ishonchlilik bahosini qaytaradi.

Mavjud yechimlarning katta qismi yong‘inni faqat aniqlash bilan cheklanadi. Amaliy xavfsizlik tizimi esa aniqlangan yong‘in manbasiga avtomatik javob berishi, o‘chirish qurilmasini aynan shu nuqtaga yo‘naltirishi va suv sarfini nazorat qilishi kerak. An’anaviy sprinkler tizimlari ko‘pincha butun hududga suv purkaydi, bu esa yong‘in o‘chog‘idan tashqaridagi jihoz va mahsulotlarga ham zarar yetkazadi. Shuning uchun ushbu tadqiqotda yong‘inni kamera va IR oqimlari yordamida aniqlash, fazoviy koordinatalarga o‘tkazish va servo manipulyator orqali suv oqimini maqsadli yo‘naltirish algoritmi ishlab chiqildi.

Maqolaning maqsadi — real vaqt sharoitida ishlay oladigan, yong‘in o‘chog‘ini lokalizatsiya qiladigan va minimal suv sarfi bilan o‘chirishni boshlaydigan integratsiyalashgan algoritmik arxitekturani asoslashdir. Tadqiqotning asosiy vazifalari quyidagilar: video va IR tasvirlardan informativ belgilarni ajratish; YOLO detektorini yong‘in klassiga moslashtirish; piksel koordinatalarini fazoviy koordinatalarga o‘tkazish; servo manipulyator burchaklarini hisoblash; purkash intensivligini hotspot temperaturasi va yong‘in maydoniga mos ravishda boshqarish.

II. ADABIYOTLAR TAHLILI VA MUAMMONING QO‘YILISHI

Yong‘inni tasvir asosida aniqlash bo‘yicha dastlabki tadqiqotlar rang modellari va harakat tahliliga asoslangan. HSV, YCbCr va RGB fazolarida olovga xos rang oralig‘ini ajratish algoritmlari yengil hisoblash talabi bilan ajralib turadi. Ammo bunday yondashuvlar quyosh nuri, chiroq, payvandlash uchquni yoki sariq-qizil rangli obyektlarni olov sifatida qabul qilib yuborishi mumkin. Shuning uchun rang belgisi mustaqil qaror mezoni emas, balki boshqa belgilar bilan birlashtirilgan dastlabki filtr sifatida qo‘llanishi maqsadga muvofiq.

Keyingi bosqichdagi ishlar olovning dinamik tabiatiga e’tibor qaratdi. Olov shakli vaqt bo‘yicha o‘zgaradi, yuqori chegaralari tebranadi va piksel intensivligi davriy o‘zgarishga ega bo‘ladi. Optical flow, frame differencing va flicker tahlili kabi usullar statik rangli obyektlarni haqiqiy olovdan ajratishga yordam beradi. Biroq kamera qimirlaganida, fon harakati yuqori bo‘lganida yoki odamlar faol harakat qilganida bu usullar ham noto‘g‘ri signal berishi mumkin.

Chuqur o‘rganish modellari, xususan CNN va YOLO oilasiga mansub detektorlar, yong‘inni ko‘p belgili obyekt sifatida o‘rganish imkonini beradi. YOLO modeli tasvirni gridlarga ajratib, har bir obyekt uchun bounding box va confidence qiymatini beradi. Uning ustunligi — tezlik; kamchiligi esa sifatli dataset, turli muhitlarda olingan tasvirlar va puxta validatsiya talab qilishidir. Yong‘in datasetlari yetarli xilma-xillikka ega bo‘lmasa, model odam kiyimi, chiroq, quyosh akslanishi yoki qizigan metall yuzalarni yong‘in deb belgilashi mumkin.

Infraqizil tasvirlash yondashuvi muammoni boshqa tomondan hal qiladi: olovni rang yoki shakl emas, balki issiqlik nurlanishi orqali kuzatadi. Termal kamera yoritilish past bo‘lgan holatlarda foydali, lekin u ham qizigan texnologik uskuna, isitish elementi yoki quyoshda qizigan yuzalarni noto‘g‘ri hotspot sifatida belgilashi mumkin. Demak, ishonchli tizim bitta sensorga emas, balki RGB, IR va vaqt bo‘yicha kuzatuv natijalarining qo‘shma bahosiga tayanishi kerak.

1-jadval.

Mavjud yondashuvlar va taklif etilgan tizimning farqlari

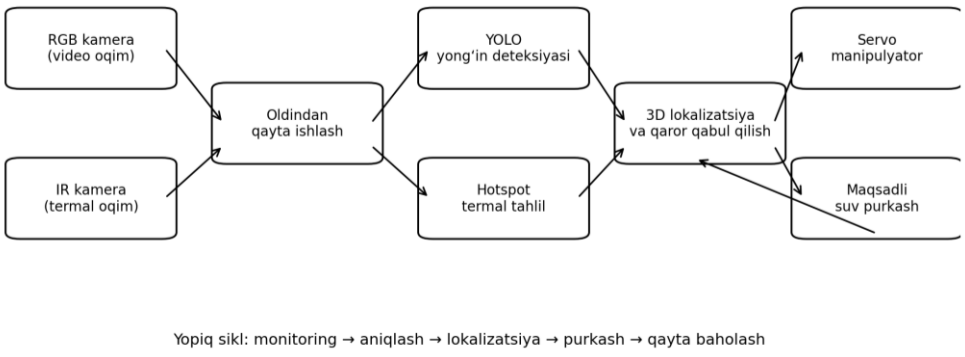
Yondashuv	Afzalligi	Cheklovi	Ushbu ishdagi yechim
Rang modeli	Tez va oddiy	Yorug‘likka sezgir	HSV faqat dastlabki filtr sifatida ishlatiladi
Harakat/flicker	Statik obyektlarni kamaytiradi	Fon harakatiga sezgir	Temporal tahlil YOLO va IR bilan tekshiriladi
YOLO deteksiyasi	Real vaqt va bounding box beradi	Datasetga bog‘liq	Confidence va NMS bilan barqarorlashtiriladi
IR hotspot	Yorug‘likdan kamroq ta’sirlanadi	Qizigan obyektlar xalaqit beradi	RGB deteksiya bilan birlashtiriladi
Sprinkler	Sodda va ishonchli	Suv sarfi yuqori	Servo manipulyator orqali maqsadli purkash

Tahlildan ko‘rinadiki, yong‘inni erta aniqlash va o‘chirish masalasi alohida algoritmlarni emas, balki to‘liq tizimli yechimni talab qiladi. Shu sababli maqolada kamera asosidagi deteksiya, IR hotspot tahlili, 3D lokalizatsiya va servo boshqaruv yagona algoritmik zanjirga birlashtirildi.

III. TAKLIF ETILGAN TIZIM ARXITEKTURASI

Taklif etilgan tizim to‘rtta asosiy qatlamdan iborat: ma’lumot olish qatlami, tasvirni qayta ishlash qatlami, qaror qabul qilish qatlami va ijro mexanizmi qatlami. Ma’lumot olish qatlami RGB kamera va infraqizil kameradan iborat bo‘lib, birinchi oqim vizual belgilarni, ikkinchi oqim esa issiqlik anomaliyalarini beradi. Tasvirni qayta ishlash qatlamida kadrlar normallashtiriladi, shovqinlar kamaytiriladi, rang fazosi o‘zgartiriladi va modelga mos o‘lchamga keltiriladi.

Qaror qabul qilish qatlami ikki xil tekshiruvni bajaradi. Birinchisi — YOLO modeli yordamida yong‘inga o‘xshash obyektlarni aniqlash; ikkinchisi — IR oqimdan hotspot va temperatura gradientini baholash. Agar ikkala oqim yoki ulardan biri yetarli ishonchlilik chegarasidan yuqori natija bersa, tizim yong‘in ehtimolini hisoblaydi. Bu bosqichda noto‘g‘ri signallarni kamaytirish uchun ketma-ket kadrlar bo‘yicha tasdiqlash qo‘llanadi: bitta kadrdagi signal yetarli emas, yong‘in belgisi kamida bir necha kadr davomida saqlanishi kerak.



1-rasm. Kamera va IR oqimlariga asoslangan erta yong‘in aniqlash va maqsadli o‘chirish arxitekturasi.

Ijro mexanizmi qatlami servo manipulyator, suv klapani, nasos yoki elektromagnit rele hamda boshqaruvchi mikrokontrollerdan iborat bo‘lishi mumkin. Kamera modelidan olingan koordinatalar azimut

va elevatsiya burchaklariga aylantiriladi. Manipulyator kerakli tomonga burilgach, tizim suv oqimini faqat aniqlangan o‘choqqa purkaydi. Purkashdan so‘ng kamera va IR oqimi qayta tekshiriladi: agar hotspot pasaygan bo‘lsa, purkash to‘xtatiladi; aks holda jarayon takrorlanadi. Shu sababli arxitektura ochiq buyruq emas, yopiq siklli boshqaruv sifatida ishlaydi.

- asosiy kirishlar: RGB video, IR temperatura xaritasi va vaqt bo‘yicha kadrlar ketma-ketligi;
- asosiy chiqishlar: yong‘in koordinatasi, manipulyator burchaklari, suv sarfi va xavfsizlik signali;
- barqarorlik mezoni: ketma-ket kadrlar, confidence threshold, hotspot temperaturasi va purkashdan keyingi qayta baholash.

IV. MATERIALLAR VA METODLAR

4.1. Tasvirni oldindan qayta ishlash va belgilarni ajratish

Kamera oqimidan olingan kadrlar dastlab modelga mos 640×640 o‘lchamga keltiriladi. Bu bosqichda nisbat buzilishini kamaytirish uchun letterbox usuli ishlatilishi mumkin. Keyin tasvir RGB yoki BGR formatidan HSV rang fazosiga o‘tkaziladi. HSV fazosi olovning rang tonusi va yorqinligini ajratishda qulay, chunki unda rang, to‘yinganlik va yorqinlik alohida komponentlar sifatida ko‘riladi. Dastlabki rang maskasi sariq, to‘q sariq va qizil diapazonlarda joylashgan piksellarni ajratadi.

$$H = f(R,G,B), \quad S = (max-min)/max, \quad V = max(R,G,B)$$

Rang maskasi yakuniy qaror sifatida ishlatilmaydi, chunki qizil obyektlar yoki yorug‘lik akslari noto‘g‘ri natija berishi mumkin. Shuning uchun keyingi bosqichda harakat belgisi hisoblanadi. Ketma-ket kadrlar orasidagi farq yoki optical flow yordamida olov zonasidagi intensivlik o‘zgarishi aniqlanadi. Olovning ustki chegaralari odatda beqaror tebranadi, shu sababli vaqt bo‘yicha o‘zgarish haqiqiy yong‘in belgisi sifatida qimmatli axborot beradi.

$$I_x u + I_y v + I_t = 0$$

Bu yerda Ix va Iy tasvir gradientlari, It vaqt bo‘yicha o‘zgarish, u va v esa piksel siljishining komponentlaridir. Agar rang maskasi mavjud bo‘lib, shu hududda harakat va tebranish ham kuzatilsa, yong‘in ehtimoli oshiriladi. Aksincha, rang mavjud, lekin harakat yo‘q bo‘lsa, tizim uni ehtiyotkorlik bilan baholaydi.

4.2. IR oqimdan hotspot aniqlash

Infraqizil kamera har bir piksel uchun nisbiy yoki absolyut temperatura qiymatini beradi. Termal xaritada o‘rtacha fon temperaturasi va lokal maksimumlar baholanadi. Agar muayyan hudud temperaturasi atrof muhit fonidan sezilarli yuqori bo‘lsa va bu holat bir necha kadr davomida saqlansa, u hotspot sifatida belgilanadi. Bunda temperatura gradienti ham muhim: yong‘in o‘chog‘i odatda atrofga nisbatan keskin issiqlik farqiga ega bo‘ladi.

$$G_T = sqrt((\partial T/\partial x)^2 + (\partial T/\partial y)^2)$$

Yakuniy ehtimollik rang, harakat va termal belgilarni vaznli yig‘indi tarzida birlashtirish orqali hisoblanadi. Vaznlar muhitga qarab sozlanadi: tutun ko‘p bo‘lgan joyda IR belgiga, yorug‘ va ochiq ko‘rinishli joyda YOLO va rang-harakat belgilariga ko‘proq vazn beriladi.

$$P_fire = \alpha P_color + \beta P_motion + \gamma P_thermal, \quad \alpha + \beta + \gamma = 1$$

V. YOLO ASOSIDA YONG‘IN DETEKSIYASI

YOLO arxitekturasi tasvirni bir martalik oldinga hisoblash jarayonida qayta ishlaydi va obyektlar uchun bounding box, klass ehtimolligi hamda confidence qiymatini qaytaradi. Bu xususiyat yong‘inni erta aniqlash tizimi uchun juda muhim, chunki tizim nafaqat aniq, balki tez ham bo‘lishi kerak. Tadqiqotda kirish tasvirlari 640×640 o‘lchamga keltirildi, confidence threshold 0,6 atrofida tanlandi va noto‘g‘ri takroriy bounding boxlarni kamaytirish uchun non-maximum suppression qo‘llandi.

$$Output = S \times S \times (B \cdot 5 + C)$$

Bu yerda S×S — grid o‘lchami, B — har bir grid uchun bounding boxlar soni, C — klasslar soni. Har bir bounding box (x, y, w, h, pc) ko‘rinishida ifodalanadi. x va y obyekt markazi koordinatalari, w va h quti o‘lchamlari, pc esa modelning ishonchlilik bahosidir. Yong‘in aniqlanganda bounding box markazi keyingi lokalizatsiya bosqichiga uzatiladi.

$$x_c = x + w/2, \quad y_c = y + h/2$$

Modelning ishonchlilik qiymati faqat obyekt borligi bilan cheklanmaydi, balki bashorat qilingan quti haqiqiy obyekt chegarasiga qanchalik mos kelishini ham hisobga oladi. Deteksiya sifati Intersection over Union (IoU) mezoni orqali baholanadi. IoU qiymati qanchalik katta bo‘lsa, bounding box shunchalik aniq joylashgan bo‘ladi.

$$IoU = area(B_pred \cap B_true) / area(B_pred \cup B_true)$$

Amaliy tizimda YOLO natijasi yakuniy buyruqqa bevosita aylantirilmaydi. Avval confidence qiymati, bounding box maydoni, ketma-ket kadrlar bo‘yicha barqarorlik va IR hotspot bilan moslik tekshiriladi. Bu yondashuv odam, chiroq, qizil rangli kiyim yoki payvandlash uchquni kabi obyektlarni yong‘in deb qabul qilish ehtimolini kamaytiradi. Ayniqsa sanoat muhitida bunday qo‘shimcha tekshiruvlar tizim ishonchliligi uchun zarur.

2-jadval.

YOLO detektorining maqolada qabul qilingan asosiy parametrlari

Parametr	Qiymat
Kirish o‘lchami	640×640 piksel
Model oilasi	YOLOv8
Confidence threshold	0,60
Video tezligi	35–45 FPS
Qaror sharti	YOLO + IR + temporal barqarorlik

Shunday qilib, YOLO modeli tizimda asosiy detektor vazifasini bajaradi, lekin u mustaqil ishlaydigan yagona qaror mexanizmi emas. Uning natijasi termal va vaqt bo‘yicha belgilar bilan birlashtirilganda real muhit uchun barqarorroq natija olinadi.

VI. HOTSPOT LOKALIZATSIYASI VA MANIPULYATORNI BOSHQARISH

YOLO modeli yong‘inni tasvirdagi piksel koordinatalari bilan belgilaydi. Biroq suv purkagichni boshqarish uchun piksel koordinatasi yetarli emas; tizim yong‘in o‘chog‘ining real fazodagi yo‘nalishini bilishi kerak. Shu sababli kamera pinhole modeli asosida piksel koordinatalari fazoviy koordinatalarga o‘tkaziladi. Agar kamera fokus masofasi f, tasvir markazi (cx, cy), hotspot markazi esa (xc, yc) bo‘lsa, normallashtirilgan koordinatalar quyidagicha yoziladi:

$$X/Z = (x_c - c_x)/f_x, \quad Y/Z = (y_c - c_y)/f_y$$

Z masofa stereo kamera, IR kamera ma’lumoti, ultratovush sensori yoki oldindan kalibrlangan obyekt tekisligi orqali baholanishi mumkin. Laboratoriya prototipida masofa cheklangan diapazonda qabul qilinadi va kalibrlash koeffitsientlari orqali tuzatiladi. Bu usul murakkab sanoat tizimi uchun to‘liq 3D rekonstruksiya o‘rnini bosmaydi, ammo prototip darajasida manipulyatorni yo‘naltirish uchun yetarli aniqlik beradi.

Manipulyator ikki asosiy burchak bilan boshqariladi: azimut burchagi gorizontal yo‘nalishni, elevatsiya burchagi esa vertikal yo‘nalishni belgilaydi. Hotspot koordinatalari (X, Y, Z) ko‘rinishida baholangach, servo motorlar uchun burchaklar trigonometrik munosabatlar orqali hisoblanadi.

$$\theta = atan2(X, Z), \quad \varphi = atan2(Y, sqrt(X^2 + Z^2))$$

Hisoblangan burchaklar servo motorning real ish diapazoniga moslashtiriladi. Masalan, servo 0°–180° oralig‘ida harakat qilsa, markaziy holat 90° deb olinadi va hisoblangan burchaklar unga nisbatan qo‘shiladi yoki ayriladi. Bunda mexanik chegaralar, servo tezligi, nasosning ishga tushish kechikishi va suv oqimining inertsiyasi ham hisobga olinadi. Xavfsizlik nuqtayi nazaridan tizim burchaklarni keskin sakratmaydi, balki silliq interpolatsiya bilan harakatlantiradi.

3-jadval.

Manipulyator boshqaruv algoritmi bosqichlari

Bosqich	Kirish	Chiqish
Deteksiya	RGB/IR kadrlar	Bounding box va hotspot
Lokalizatsiya	xc, yc, Z	X, Y, Z koordinatalar
Burchak hisoblash	X, Y, Z	θ va φ
Ijro	θ, φ, suv sarfi	Servo holati va purkash
Qayta tekshirish	Yangi RGB/IR kadr	Purkashni davom ettirish yoki to‘xtatish

Bunday lokalizatsiya-boshqaruv zanjiri tizimni oddiy signalizatsiyadan farqlaydi. Natijada yong‘in aniqlangan joyga faqat signal yuborilmaydi, balki mexanik ijro qurilmasi ham aniq nuqtaga yo‘naltiriladi.

VII. MINIMAL SUV SARFI VA EKSPERIMENTAL NATIJALAR

Maqsadli o‘chirish algoritmining asosiy tamoyili — suvni butun hududga emas, balki yong‘in o‘chog‘i joylashgan sektorga yo‘naltirishdir. Bunda suv sarfi yong‘inning maydoni, hotspot temperaturasi va purkashdan keyingi o‘zgarishiga qarab boshqariladi. Agar temperatura pasaymasa yoki bounding box

maydoni kamaymasa, tizim purkashni davom ettiradi; agar hotspot zaiflasha boshlasa, suv sarfi bosqichma-bosqich kamaytiriladi.

$$Q = A \cdot v, \quad Q(T) = k \cdot (T - T_0)$$

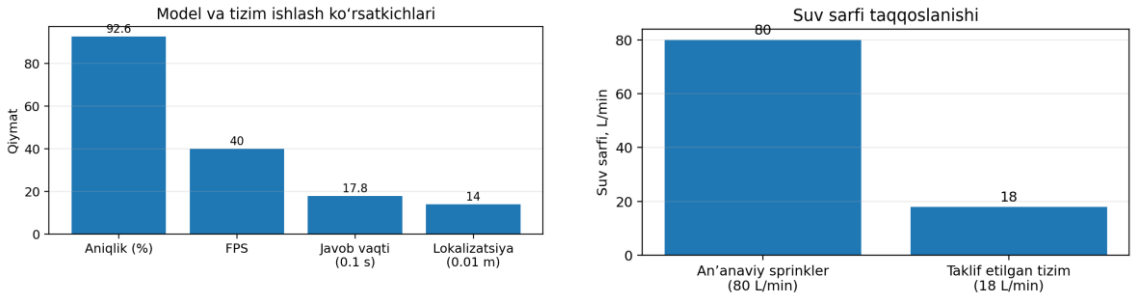
Bu yerda Q — suv sarfi, A — purkash teshigi kesim maydoni, v — suv chiqish tezligi, T — hotspot temperaturasi, T0 — boshlang‘ich xavf chegarasi. Purkash trayektoriyasi ham muhim: suv oqimining real yetib borish masofasi purkash burchagi, bosim va gravitatsiya ta’siriga bog‘liq.

$$R = v^2 \cdot \sin(2\theta) / g$$

4-jadval.

Taklif etilgan tizimning laboratoriya sinovlaridagi asosiy natijalari

Ko‘rsatkich	Natija	Izoh
Aniqlik	92,6 %	YOLO + IR tekshiruvi bilan
Javob vaqti	1,78 s	Aniqlashdan purkashgacha
Lokalizatsiya xatoligi	0,14 m	Kalibrlangan laboratoriya sharoitida
Video tezligi	35–45 FPS	640×640 kirish o‘lchamida
Suv sarfi	3–5 baravar kam	Sprinklerga nisbatan maqsadli purkash



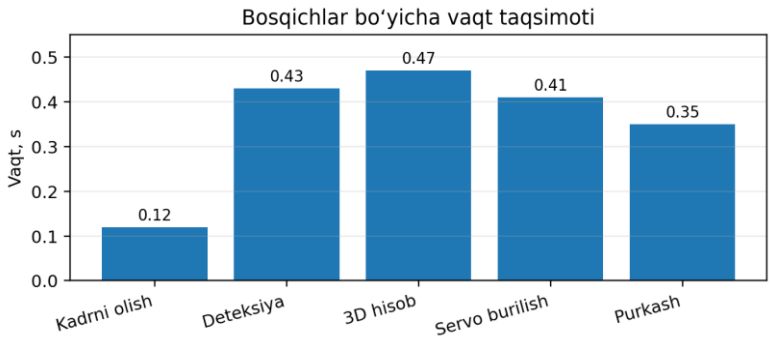
2-rasm. Model ko‘rsatkichlari va suv sarfi bo‘yicha taqqoslash natijalari.

Natijalar shuni ko‘rsatadiki, tizimning eng katta amaliy ustunligi faqat yong‘inni aniqlashida emas, balki aniqlangan nuqtaga yo‘naltirilgan avtomatik javob hosil qilishidadir. Bu yondashuv yong‘inning dastlabki bosqichida tezkor chora ko‘rish hamda suvdan foydalanish samaradorligini oshirish imkonini beradi.

VIII. TAHLIL, MUHOKAMA VA CHEKLOVLAR

Olingan natijalar kamera asosidagi yong‘inni aniqlash tizimlari an’anaviy sensorlarga nisbatan ko‘proq axborot berishini ko‘rsatadi. Sensor faqat ma’lum chegaradan oshgan tutun yoki harorat haqida signal beradi; kamera esa hodisaning joylashuvi, o‘lchami, shakli va vaqt bo‘yicha rivojlanishini kuzatadi. Bu ma’lumotlar avtomatik o‘chirish mexanizmini boshqarish uchun zarur. Ayniqsa katta maydonli obyektlarda yong‘in o‘chog‘ining koordinatasini aniqlash tezkor javob sifatini oshiradi.

Shu bilan birga, tizimni real sanoat muhitiga tatbiq etishda bir nechta xavf va cheklovlar mavjud. Birinchidan, kamera ko‘rish zonasi to‘silib qolishi mumkin: tutun, chang, odam yoki jihozlar olovni bekitadi. Ikkinchidan, YOLO modeli faqat o‘qitilgan dataset doirasida yaxshi umumlashadi; datasetda uchramagan yorug‘lik sharoiti yoki obyektlar noto‘g‘ri deteksiyaga olib kelishi mumkin. Uchinchidan, IR kamera qizigan, ammo yonmayotgan obyektlarni hotspot deb ko‘rsatishi mumkin. To‘rtinchidan, manipulyator mexanik kechikish, servo bo‘shligi va suv bosimi o‘zgarishi sababli nazariy koordinatadan biroz chetga chiqishi mumkin.



3-rasm. Aniqlash, lokalizatsiya va purkash bosqichlarining vaqt bo‘yicha taqsimoti.

Bu xavflarni kamaytirish uchun tizimda uch darajali tekshiruv qo‘llanishi lozim: vizual deteksiya, termal moslik va vaqt bo‘yicha barqarorlik. Bundan tashqari, yong‘in aniqlanganda tizim darhol maksimal suv purkashga o‘tmasligi, avval xavf darajasini baholab, keyin purkash intensivligini oshirishi kerak. Bunday yondashuv suv sarfini kamaytiradi va noto‘g‘ri signal bo‘lgan hollarda ortiqcha zarar yetkazmaydi.

Vaqt taqsimoti tahlili 3D koordinatalarni hisoblash va servo yo‘naltirish bosqichlari umumiy kechikishda sezilarli ulushga ega ekanini ko‘rsatadi. Demak, kelgusida kalibrlash jadvalidan foydalanish, ONNX/TensorRT kabi yengil inference usullariga o‘tish, ROI bo‘yicha qayta ishlash hamda mikrokontroller va kompyuter o‘rtasidagi aloqa protokolini optimallashtirish tizim javob vaqtini kamaytirishi mumkin. Ko‘p kamera asosidagi tizimlarda esa obyektni triangulyatsiya qilish orqali lokalizatsiya aniqligini oshirish mumkin.

Umuman, taklif etilgan yondashuv kichik laboratoriya prototipidan sanoat miqyosidagi tizimga o‘tishi uchun qo‘shimcha sertifikatlash, xavfsizlik blokirovkalari, elektr himoyasi, qo‘lda boshqarish rejimi va favqulodda to‘xtatish mexanizmlarini talab qiladi. Bu talablar bajarilgandagina algoritmik samaradorlik real muhitdagi ishonchlilikka aylanishi mumkin.

IX. XULOSA

Ushbu maqolada RGB kamera va infraqizil tasvirlash texnologiyalariga asoslangan yong‘inni erta aniqlash hamda minimal suv sarfi bilan avtomatik o‘chirish algoritmlari ishlab chiqildi. Taklif etilgan tizim video oqimdan rang, harakat va tebranish belgilarini, IR oqimdan esa hotspot va temperatura gradientini ajratadi. YOLO detektori yong‘in hududini bounding box ko‘rinishida aniqlaydi, kamera geometriyasi esa ushbu piksel koordinatalarini fazoviy yo‘nalishga aylantiradi. Keyingi bosqichda servo manipulyator suv oqimini yong‘in o‘chog‘iga yo‘naltiradi.

Laboratoriya sinovlari tizimning amaliy imkoniyatlarini ko‘rsatdi: o‘rtacha aniqlik 92,6 %, javob vaqti 1,78 s, lokalizatsiya xatoligi 0,14 m va suv sarfi an’anaviy sprinkler tizimlariga nisbatan 3–5 baravargacha kamayishi mumkin. Bu natijalar yong‘inni aniqlash va o‘chirish jarayonlarini alohida modullar sifatida emas, balki yagona real vaqt boshqaruv tizimi sifatida loyihalash maqsadga muvofiqligini tasdiqlaydi.

Kelgusida tizimni ko‘p kamera asosida sinash, modelni yengil inference formatlariga optimallashtirish, datasetni turli sanoat muhitlari bilan boyitish, false positive holatlarini alohida tahlil qilish va IoT monitoring platformasi bilan integratsiya qilish rejalashtiriladi. Shuningdek, qurilmaning mexanik qismi uchun suv bosimi, purkash burchagi, servo tezligi va xavfsizlik blokirovkalarini muhandislik jihatdan chuqurroq baholash zarur. Yakuniy xulosa shuki, kamera va IR oqimlarini birlashtirgan maqsadli o‘chirish tizimi yopiq muhitlarda yong‘inga tezkor, aniq va resursni tejovchi javob berish uchun istiqbolli yechim hisoblanadi.

Adabiyotlar

[1]. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. CVPR, 2016.

[2]. Jocher G., Chaurasia A., Qiu J. Ultralytics YOLOv8: Real-Time Object Detection Framework. Ultralytics Documentation, 2023.

[3]. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. 2nd ed. Springer, 2022.

[4]. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. MIT Press, 2016.

[5]. Lin T.Y., Maire M., Belongie S. et al. Microsoft COCO: Common Objects in Context. ECCV, 2014.

[6]. Wang Z., Bovik A.C., Sheikh H.R., Simoncelli E.P. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. IEEE TIP, 2004.

[7]. Töreyin B.U., Dedeoğlu Y., Çetin A.E. Computer Vision Based Method for Real-Time Fire Detection. Pattern Recognition Letters, 2006.

[8]. Ko B.C., Cheong K.H., Nam J.Y. Fire Detection Based on Vision Sensor and Support Vector Machines. Fire Safety Journal, 2009.

[9]. Muhammad K., Ahmad J., Baik S.W. Early Fire Detection Using Convolutional Neural Networks. Multimedia Tools and Applications, 2018.

[10]. NFPA. NFPA 13: Standard for the Installation of Sprinkler Systems. National Fire Protection Association, 2023.

[11]. FLIR Systems. Thermal Imaging Cameras for Early Fire Detection: Technical Overview, 2021.

[12]. FireDos GmbH. Industrial Water Monitor Systems: Technical Documentation, 2022.

УДК 538.911, 935, 958, 975

QAYTA TIKLANUVCHI ENERGIYA MANBALARINING RIVOJLANISHI VA ULARNING MILLIY IQTISODIYOTGA TA’SIRI

O.A. Mominov, D.D. Maribjonov, S.N. Mahammadjonov

Farg‘ona davlat texnika universiteti
Mas’ul muallif, e-mail: oqilbekmominov45@gmail.com

(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Qayta tiklanuvchi energiya manbalarining rivojlanishi zamonaviy iqtisodiyotning asosiy ustuvor yo‘nalishlaridan biriga aylanmoqda. Ushbu maqolada quyosh, shamol, gidroenergiya, geotermal energiya va bioenergiya kabi qayta tiklanuvchi energiya manbalari tahlil qilingan hamda ularning milliy iqtisodiyotga ta’siri o‘rganilgan. Statistik ma’lumotlar va zamonaviy loyihalar asosida ushbu sohaning global o‘sishi hamda ekologik afzalliklari ko‘rsatib berilgan. Maqola yakunida qayta tiklanuvchi energiya manbalari rivojlanishining istiqbollari va uning milliy iqtisodiyot uchun strategik ahamiyati baholangan.*

Kalit so‘zlar: *Qayta tiklanuvchi energiya, quyosh energiyasi, shamol energiyasi, gidroenergiya, geotermal energiya, bioenergiya, milliy iqtisodiyot, energetik xavfsizlik, iqlim o‘zgarishi, ekologiya.*

Аннотация. *Развитие возобновляемых источников энергии становится одним из основных приоритетных направлений современной экономики. В данной статье проанализированы такие возобновляемые источники энергии, как солнечная, ветровая, гидроэнергия, геотермальная энергия и биоэнергия, а также изучено их влияние на национальную экономику. На основе статистических данных и современных проектов показаны глобальный рост данной отрасли и её экологические преимущества. В заключении статьи оцениваются перспективы развития возобновляемых источников энергии и их стратегическое значение для национальной экономики.*

Ключевые слова*: возобновляемая энергия, солнечная энергия, ветровая энергия, гидроэнергия, геотермальная энергия, биоэнергия, национальная экономика, энергетическая безопасность, изменение климата, экология.*

Kirish. Zamonaviy dunyo qayta tiklanuvchi energiya manbalari (Quyosh, shamol, suv, geotermal va bioenergiya) rivojiga katta e’tibor qaratmoqda. Fosil yoqilg‘ilar asosida ishlaydigan energiya tizimlari ekologik muammolar va resurslar chegarasining tugashiga sabab bo‘lganligi uchun, jahon mamlakatlari alternativ energiya manbalari ustida jadal ish olib bormoqdalar. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari global iqtisodiyotni yangi bosqichga olib chiqish va ekologik barqarorlikka erishish uchun asosiy vositaga aylanmoqda. Bu soha rivojlanishi bilan birga, milliy iqtisodiyotlar ham energiya xavfsizligini ta’minlash, ekologik toza muhit va innovatsion texnologiyalarga asoslangan yangi imkoniyatlar bilan boyimoqda. Statistik ma’lumotlarga ko‘ra, International Renewable Energy Agency (IRENA) hisob-kitoblari shuni ko‘rsatadiki, 2022 yilda dunyo miqyosida qayta tiklanuvchi energiya manbalari elektr energiyasining 30% dan ortig‘ini ishlab chiqardi. Bu raqam 2010 yildagi 20% dan sezilarli darajada oshgan. Bundan tashqari, Bloomberg New Energy Finance (BNEF) ma’lumotlariga ko‘ra, qayta tiklanuvchi energiya sektoridagi investitsiyalar 2022 yilda 500+ mlrd AQSh dollarni tashkil etdi, bu esa fosil yoqilg‘ilariga sarflangan mablag‘dan ancha ko‘p. Quyosh energiyasi: Quyosh energiyasi sohasida fotovoltaik panel va konsetratlanuvchi texnologiyalar samaradorligining oshishi hisobiga bu manba eng tez rivojlanayotgan energiya shakli sifatida ajralib turadi. Xususan, quyosh panellarining narxlari so‘nggi 10 yil ichida 80% ga kamaydi, bu esa ulardan foydalanishni arzon va mavjud qiladi. Masalan, Xitoyda quyosh panellari masshtabli ishlab chiqarilmoqda va AQSh va Yaponiyada ham quyosh elektr stantsiyalari ko‘payib bormoqda. Bunday loyihalar natijasida quyosh energiyasi butun dunyo bo‘ylab elektr energiyasining asosiy manbai sifatida faoliyat yuritmoqda. Statistik ma’lumotlar shuni ko‘rsatadiki, Global Solar Council ma’lumotlariga ko‘ra, 2022 yilda dunyo bo‘yicha quyosh energiyasi quvvati 1 TW (teravatt) ni tashkil etdi. Bu raqam 2010 yildagi 40 GW (gigavatt) dan ancha ko‘p. Xitoy, AQSh va Hindiston quyosh energiyasi quvvatini eng ko‘p oshirgan mamlakatlar ro‘yxatida birinchi o‘rinlarda turibdi. Zamonaviy misollar orasida Dubai’dagi Mohammed bin Rashid Al Maktoum quyosh energiyasi parki ajralib turadi. Bu loyiha yakunlangandan keyin 5 GW quvvatga ega bo‘lib, Dubai shahrida elektr energiyasining 75% ini ta’minlashga mo‘ljallangan. Shamol energiyasi : Shamol energiyasi sohasida ham jadal rivojlanish kuzatilmoqda. Shamol elektr stantsiyalari (ShES) quvvatining o‘sishi va generatorlar texnologiyasining takomillashuvi shamol energiyasini arzon va mavjud qilishga imkon berdi. Daniya, Germaniya va Ispaniya kabi mamlakatlar shamol energiyasidan 20% dan ortiq elektr ishlab chiqaradi. Bundan tashqari, dengizda joylashgan offshore shamol elektr stantsiyalari ham keng tarqalmoqda. Misol uchun, Buyuk Britaniya shamol energiyasidan foydalanish orqali yillik karbon emissiyalarini sezilarli darajada kamaytirmoqda.Statistika shuni ko‘rsatadiki, Global Wind Energy Council (GWEC) ma’lumotlariga ko‘ra, 2022 yilda dunyo bo‘yicha shamol energiyasi quvvati 906 GW ni tashkil etdi. Bu raqam 2010 yildagi 198 GW dan ancha ko‘p. Offshore shamol elektr stantsiyalari quvvati esa 2022 yilda 65 GW ni tashkil etdi.

Adabiyotlar tahlili. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari sohasida so‘nggi yillarda olib borilgan ilmiy izlanishlar ushbu yo‘nalishning global iqtisodiyot va ekologik barqarorlikdagi o‘rnini chuqur yoritib bermoqda. Xususan, IRENA (2022) hisobotida qayta tiklanuvchi energiya quvvatining o‘sish sur’atlari va mamlakatlar kesimidagi ulushi batafsil yoritilgan bo‘lib, bu ma’lumotlar mazkur maqolada qo‘llangan asosiy statistik manbani tashkil etadi. Global Wind Energy Council (2022) tomonidan e’lon qilingan hisobotlar shamol energetikasi bo‘yicha yetakchi davlatlar va yangi texnologiyalar rivoji haqida tahliliy ma’lumotlar taqdim etgan. Xuddi shuningdek, Global Solar Council (2022) quyosh energetikasi bo‘yicha jahon miqyosida erishilgan yutuqlar va istiqbollarni ko‘rsatadi. Bloomberg New Energy Finance (2022) va International Energy Agency (IEA, 2022) ma’lumotlari orqali qayta tiklanuvchi energiya bozorining investitsion jozibadorligi va iqtisodiy samaradorligi haqida xulosa chiqarilgan. Ayniqsa, IEA hisobotida qayta tiklanuvchi energiya sektorining milliy iqtisodiyotga ta’siri hamda
energetik xavfsizlikdagi o‘rni alohida ta’kidlangan. Shuningdek, Carbon Tracker Initiative (2022) tomonidan qayta tiklanuvchi energiyaning global karbon emissiyalarini kamaytirishdagi roli statistik dalillar bilan yoritilgan. Maqolada, suv va geotermal energiya bo‘yicha International Hydropower Association (2022) va International Geothermal Association (2022) hisobotlaridan ham keng foydalanilgan. Bu manbalar nafaqat texnik imkoniyatlarni, balki ekologik va iqtisodiy afzalliklarni ham o‘z ichiga olgan. Mazkur adabiyotlarning barchasi, maqolada ilgari surilgan g‘oyalarning ilmiy va statistik asoslanishini ta’minlagan bo‘lib, qayta tiklanuvchi energiyaning zamonaviy iqtisodiyotdagi ahamiyatini ochib beradi.

Tadqiqot metodologiyasi. Tadqiqotda ilmiy-analitik va statistik tahlil metodlaridan kompleks foydalanildi. Birinchidan, IRENA, IEA, BNEF va GWEC tomonidan taqdim etilgan global statistik ma’lumotlar asosida dinamik va qiyosiy tahlil usuli qo‘llanilib, 2010-2022 yillardagi energiya quvvatlari va investitsiya hajmlarining o‘sish sur’atlari baholandi. Ikkinchidan, korrelyatsion tahlil metodi orqali qayta tiklanuvchi energiya manbalari rivojlanishi va milliy iqtisodiyot ko‘rsatkichlari (YAIM, ish o‘rinlari soni, eksport hajmi) o‘rtasidagi bog‘liqlik darajasi aniqlab chiqildi. Uchinchidan, maqolada mamlakatlar tajribasini o‘rganish asosida mukammallik amaliyotlari va muvaffaqiyatli loyihalar (Xitoyda quyosh panellari, Norvegiyada gidroenergiya, Islandiyada geotermal energiya) komparativ metod asosida tahlil qilindi.Shuningdek, maqolada prognostik usul yordamida 2030 yilgacha qayta tiklanuvchi energiya sohasida kutilayotgan tendensiyalar va istiqbollar bashorat qilindi. Ushbu metodik yondashuvlar maqola tahlillarini ishonchli va ilmiy asoslangan bo‘lishini ta’minladi hamda milliy iqtisodiyotga ta’sirini chuqur yoritishga imkon berdi.

Tadqiqot natijalari. Zamonaviy misollar orasida Danimarkadagi Horns Rev 3 shamol elektr stantsiyasi ajralib turadi. Bu stantsiya 407 MW quvvatga ega bo‘lib, Danimarka aholisining 425 mingdan ortig‘i uchun elektr energiyasini ta’minlaydi. Suv energiyasi : Gigavattli gidroelektr stantsiyalardan tashqari, kichik GES va suv nasoslari energiyasini qayta ishlash kabi innovatsiyalar suv resurslaridan samarali foydalanishni oshirdi. Norvegiya va Kanadaning energiya tizimlari deyarli to‘liq gidroelektrga asoslangan. Kichik GES lar esa hududlarning mahalliy energiya ehtiyojlarini qondirishda samarali vosita hisoblanadi. Suv energiyasi texnologiyalari yanada rivojlana borib, energiya saqlash va taqsimlash tizimlarini ham modernizatsiya qilmoqda. Statistika shuni ko‘rsatadiki, International Hydropower Association (IHA) ma’lumotlariga ko‘ra, 2022 yilda dunyo bo‘yicha gidroelektr stantsiyalari quvvati 1,36 TW ni tashkil etdi. Bu raqam 2010 yildagi 1,01 TW dan ancha ko‘p. Norvegiya elektr energiyasining 95% ini gidroelektrdan olishni ta’minlaydi. Zamonaviy misollar orasida Xitoydagi Three Gorges dam ajralib turadi. Bu stantsiya dunyodagi eng katta gidroelektr stantsiyasi bo‘lib, uning quvvati 22,5 GW ni tashkil etadi. Biomass va biyogaz : Organik chiqindilardan energiya olish texnologiyalari qishloq xo‘jaligi va sanoatni «yashil» energiya bilan ta’minlashda muhim rol o‘ynaydi. Biomassadan foydalanish yer mahsulotlarini qayta ishlash va organik chiqindilarni yoqilg‘i sifatida qayta ishlash orqali ekologik muvozanatni saqlashga yordam beradi. Finlandiya va Shvetsiya kabi mamlakatlarda biomassadan foydalanish energiya ishlab chiqarishning muhim qismiga aylanmoqda. Biyogaz esa transport vositalari uchun alternativ yoqilg‘i sifatida ham qo‘llanilmoqda. Statistika shuni ko‘rsatadiki, International. Energy Agency (IEA) ma’lumotlariga ko‘ra, 2022 yilda dunyo bo‘yicha biomassadan olinadigan energiya quvvati 144 GW ni tashkil etdi. Bu raqam 2010 yildagi 72 GW dan ikki barobar ko‘p. Zamonaviy misollar orasida Germaniyadagi biomassa elektr stantsiyalari ajralib turadi. Germaniya biomassadan foydalanish orqali elektr energiyasining 8% ini ta’minlaydi. Geotermal energiya : Geotermal energiya yer osti issiqliklaridan foydalanish orqali elektr

energiyasi ishlab chiqarish va isitish muammolarini hal qiladi. Islandiya va Filippinlar geotermal energiyadan foydalanish orqali energiya ishlab chiqarishning katta qismini o‘zlashtirgan. Bu texnologiya davlatlarga energiya xavfsizligini ta’minlash va fosil yoqilg‘ilarga bog‘liqlikdan ozod bo‘lish imkonini beradi. Statistika shuni ko‘rsatadiki, International Geothermal Association (IGA) ma’lumotlariga ko‘ra, 2022 yilda dunyo bo‘yicha geotermal energiya quvvati 16 GW ni tashkil etdi. Bu raqam 2010 yildagi 10 GW dan ancha ko‘p. Zamonaviy misollar orasida Islandiyadagi Hellisheiði geotermal elektr stantsiyasi ajralib turadi. Bu stantsiya 303 MW quvvatga ega bo‘lib, Islandiya elektr energiyasining 30% ini ta’minlaydi. Ish o‘rinlari yaratish : Qayta tiklanuvchi energiya sohasi yuqori texnologiyali va qurilish sohasida minglab ish o‘rinlari yaratadi. Masalan, AQSh da shamol va quyosh energetikasi bo‘yicha 2022 yilda 500 mingdan ortiq mutaxassis ishlagan. Xitoy va Hindistonda ham qayta tiklanuvchi energiya sohasida yuz minglab ish o‘rinlari yaratilmoqda. Bu ish o‘rinlari faqat energiya ishlab chiqarish bilan cheklanmay, balki energiya infrastrukturasi, tadqiqot va rivojlanish hamda marketing sohalarida ham keng imkoniyatlar ochadi. Statistika shuni ko‘rsatadiki, IRENA ma’lumotlariga ko‘ra, 2022 yilda dunyo bo‘yicha qayta tiklanuvchi energiya sohasida 12,7 milliondan ortiq odam ishlagan. Bu raqam 2010 yildagi 7,3 milliondan ancha ko‘p. Energetik mustaqillik : Mahalliy energiya manbalari ustuvorligi mamlakatni xorijiy yoqilg‘ilarga bog‘liqlikdan ozod qiladi. Masalan, Islandiya geotermal va gidroenergiya hisobiga 85% energiyasini o‘zi ishlab chiqaradi. Norvegiya esa neft va gaz eksporti bilan birga, gidroenergiya tufayli energiya mustaqilligiga erishgan. Energiya mustaqilligi milliy xavfsizlikni

ta’minlash va iqtisodiy barqarorlikni saqlashda muhim rol o‘ynaydi. Statistika shuni ko‘rsatadiki, IEA ma’lumotlariga ko‘ra, 2022 yilda Norvegiya elektr energiyasining 95% ini mahalliy manbalardan olishni ta’minladi.

Ekologik afzallik : Karbon emissiyalarining kamayishi havfsiz muhitni saqlashga yordam beradi. Germaniyaning «Energiewende» dasturi tufayli 2022 yilda CO_2 chiqindilari 40% ga kamaydi. Shunga o‘xshash, Fransiya atom energiyasi va qayta tiklanuvchi energiya kombinatsiyasi orqali emissiyalarni minimal darajada ushlab turmoqda. Ekologik afzalliklar iqlim o‘zgarishiga qarshi kurashish va tabiatni muhofaza qilish uchun muhimdir. Statistika shuni ko‘rsatadiki, Carbon Tracker Initiative ma’lumotlariga ko‘ra, qayta tiklanuvchi energiya manbalari tufayli dunyo miqyosida 2022 yilda 2,5 milliard tonna CO_2 chiqindisi kamaydi. Iqtisodiy barqarorlik : Qayta tiklanuvchi energiya loyihalariga investitsiyalar mamlakatning eksport potensialini oshiradi. Masalan, Temir Yo‘l bo‘yicha quyosh paneli eksporti Xitoy uchun yillik 30+ mlrd AQSh dollari daromad keltiradi. Bundan tashqari, qayta tiklanuvchi energiya infrastrukturasi rivojlanishi bilan birga, energiya tariflari pasayib, iste’molchilar uchun energiya arzonlashmoqda. Bu esa iqtisodiy o‘sish va barqarorlikka olib keladi. Statistika shuni ko‘rsatadiki, World Bank ma’lumotlariga ko‘ra, qayta tiklanuvchi energiya loyihalariga investitsiyalar tufayli dunyo iqtisodiyoti 2022 yilda 2,5% ga o‘sgan. Boshlang‘ich xarajatlar : Qurilishga katta mablag‘ kerak bo‘lsada, davlatlar soliq imtiyozlari va subsidiyalar orqali bu muammoni hal qilmoqda. Masalan, AQSh va Yevropa Ittifoqi qayta tiklanuvchi energiya loyihalariga katta byudjet ajratadi. Energiya o‘zgaruvchanligi : Batareyalar va «aqlli» tarmoqlar texnologiyalari energiya saqlash va taqsimlash muammosini yengashga yordam beradi. Litium-ion batareyalar va vodorod energiyasi saqlash tizimlari energiya o‘zgaruvchanligini bartaraf etishda samarali vosita hisoblanadi. Texnologik cheklovlar : Innovatsion texnologiyalar va ilmiy tadqiqotlar natijasida qayta tiklanuvchi energiya manbalari samaradorligi oshmoqda. Sun’iy intellekt va avtomatlashtirish texnologiyalari energiya ishlab chiqarish va taqsimlash jarayonlarini optimallashtirishda katta yordam beradi. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari rivojlanishi milliy iqtisodiyot uchun energiya xavfsizligini ta’minlash, ekologik muvozanatni tiklash va innovatsion ish o‘rinlari yaratish imkonini beradi. Davlatlar va xususiy sektor hamkorligi bilan bu sohani yanada rivojlantirish global iqlim maqsadlariga erishish va iqtisodiy o‘sishni ta’minlash uchun zarurdir. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari zamonaviy iqtisodiyotning asosiy tayanchiga aylanmoqda va kelajakda uning roli yanada ortib boraveradi. Mamlakatlar energiya siyosatini qayta tiklanuvchi energiya asosida qurish orqali barqaror kelajakka erishish imkonini topishadi. Muhokama. Qayta tiklanuvchi energiya manbalarining rivojlanishi bugungi kunda global iqtisodiyot va ekologik barqarorlikning muhim tayanchiga aylanib bormoqda. Maqolada keltirilgan statistik ma’lumotlar shuni ko‘rsatadiki, so‘nggi o‘n yillikda quyosh va shamol energiyasi quvvatlari keskin oshgan bo‘lib, ular nafaqat rivojlangan davlatlarda , balki rivojlanayotgan mamlakatlarda ham keng ommalashmoqda. Xususan, Xitoy, AQSh, Hindiston va Yevropa Ittifoqi davlatlari bu borada yetakchilik qilmoqda. Ushbu energiya manbalari faqat ekologik foyda bilan cheklanmay, balki iqtisodiy

barqarorlik va energetik mustaqillikni ta’minlashda ham muhim rol o‘ynaydi. Masalan, qayta tiklanuvchi energiya loyihalari yirik investitsiyalar va minglab ish o‘rinlari yaratmoqda. Bunda Islandiya va Norvegiya kabi mamlakatlar o‘zining mahalliy energiya resurslariga tayanib, energiya importiga bo‘lgan ehtiyojini kamaytirgan. Biroq, bu sohaning rivojida muayyan muammolar ham mavjud. Jumladan, boshlang‘ich qurilish xarajatlarining yuqoriligi, energiya o‘zgaruvchanligi va texnologik cheklovlar qayta tiklanuvchi energiyaning keng joriy etilishiga to‘siq bo‘lishi mumkin. Bu muammolarni hal qilish uchun batareyalar, energiya saqlash tizimlari va aqlli tarmoqlar kabi yangi texnologiyalar ishlab chiqilmoqda. Shuningdek, qayta tiklanuvchi energiya manbalari orqali karbon chiqindilarini kamaytirish jahon iqlim maqsadlariga erishishda strategik ahamiyatga ega. Germaniya va Fransiya kabi davlatlar bu borada muvaffaqiyatli natijalarga erishgan. Shunday ekan, bu soha kelgusida ham global siyosat va iqtisodiyotning markaziy yo‘nalishlaridan biri bo‘lib qoladi.

Xulosa. Yuqoridagi tahlillardan kelib chiqib, qayta tiklanuvchi energiya manbalari zamonaviy milliy va global iqtisodiyotlar uchun nafaqat muqobil energiya manbai, balki barqaror rivojlanishning strategik vositasi sifatida maydonga chiqmoqda. Maqolada ko‘rsatilganidek, quyosh, shamol, suv, geotermal va bioenergiya manbalari iqtisodiyot uchun ko‘plab ijobiy natijalarni ta’minlaydi: energetik mustaqillik, yangi ish o‘rinlari, eksport imkoniyatlari va ekologik muhitning yaxshilanishi. Xususan, qayta tiklanuvchi energiya loyihalari orqali energiya tariflari pasayib, iste’molchilarning xarajatlari kamayadi. Bunda davlat tomonidan soliq imtiyozlari va subsidiyalar muhim rol o‘ynaydi. Shuningdek, qayta tiklanuvchi energiyaning rivoji energetik xavfsizlikni 7 mustahkamlab, milliy iqtisodiyotlarni global yoqilg‘i narxlaridagi o‘zgarishlardan himoya qiladi. Biroq, mazkur sohaning kengayishi uchun texnologik va moliyaviy cheklovlarni bartaraf etish zarur. Xususan, energiya saqlash tizimlarini takomillashtirish va mahalliy sanoatni qo‘llab-quvvatlash choratadbirlari muhim ahamiyat kasb etadi. Shu bilan birga, davlat va xususiy sektor hamkorligi orqali qayta tiklanuvchi energiya loyihalariga keng ko‘lamli investitsiyalar jalb etilishi lozim. Xulosa qilib aytganda, qayta tiklanuvchi energiya manbalari O‘zbekiston va boshqa rivojlanayotgan mamlakatlar uchun iqtisodiy o‘sish va ekologik barqarorlikni ta’minlovchi ustuvor
yo‘nalish bo‘lib qoladi. Bu yo‘nalishda faol harakat qilish global iqlim o‘zgarishiga qarshi kurashish va barqaror kelajakka erishish imkonini yaratadi.

Adabiyotlar

[1]. IRENA (International Renewable Energy Agency). (2022). Renewable Capacity Statistics 2022 . Abu Dhabi: IRENA. Manba: https://www.irena.org

[2]. Global Wind Energy Council (GWEC). (2022). Global Wind Report 2022 . Brussels: GWEC. Manba: https://gwec.net

[3]. International Energy Agency (IEA). (2022). World Energy Outlook 2022 . Paris: IEA. Manba: https://www.iea.org

[4]. Bloomberg New Energy Finance (BNEF). (2022). New Energy Outlook 2022 . London: BNEF. Manba: https://about.bnef.com

[5]. Carbon Tracker Initiative. (2022). The Impact of Renewable Energy on Carbon Emissions . London: Carbon Tracker. Manba: https://carbontracker.org

[6]. World Bank. (2022). Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP) Report . Washington, D.C.: World Bank. Manba: https://www.worldbank.org

[7]. Global Solar Council. (2022). Solar Market Report 2022 . Rome: Global Solar Council. Manba: https://globalsolarcouncil.org

[8]. International Hydropower Association (IHA). (2022). Hydropower Status Report 2022 . London: IHA. Manba: https://www.hydropower.org

[9]. International Geothermal Association (IGA). (2022). Geothermal Power Generation Report 2022 . Bochum: IGA. Manba: https://www.geothermal-energy.org

[10]. Statista. (2022). Renewable Energy Statistics and Data . Hamburg: Statista. Manba: https://www.statista.com

[11]. Energiewende Germany. (2022). Germany’s Energy Transition Report . Berlin: Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action. Manba: https://www.bmwi.de

[12]. UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). (2022). Renewable Energy and Climate Change . Bonn: UNFCCC. Manba: https://unfccc.int ORCID:

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТЕНОГРАФИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ ОТ КИБЕРАТАК В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

М.Х. Охунов, Д.М. Охунов студент Р.Б. Юсубжонова

Ферганский государственный технический университет
E-mail: mamatdilshod@rambler.ru
(Получена 04.04.2026 г.)

В отличие от криптографической защиты информации, предназначенной для сокрытия содержания информации, стеганографическая защита предназначена для сокрытия факта наличия (передачи) информации. В данной статье рассматриваются возможности стеганографии применительно к проблеме защиты информации на предприятии от кибератак.
Ключевые слова: *криптография, стенография, сообщение, контейнер, стенографическая система, компьютерная стенография*

Ахборот мазмунини яширишга мўлжалланган ахборотни криптографик ҳимоялашдан фарқли ўлароқ, стеганографик ҳимоя ахборотнинг мавжудлигини (узатилиши) яширишга мўлжалланган. Ушбу мақолада корхонада ахборотни кибер ҳужумлардан ҳимоя қилиш муаммосига нисбатан стеганография имкониятлари муҳокама қилинади.
Таянч сўзлар: *криптография, стенография, хабар, контейнер, стенография тизими, компютер стенографияси*

Unlike cryptographic protection of information intended to conceal the content of information, steganographic protection is designed to conceal the fact of the presence (transmission) of information. This article discusses the possibilities of steganography in relation to the problem of protecting information at an enterprise from cyber attacks.
Keywords: *cryptography, shorthand, message, container, shorthand system, computer shorthand*

Проблема надежной защиты информации от несанкционированного доступа является одной из самых древних и до сих пор нерешенных проблем. Методы и способы сокрытия секретных сообщений известны уже давно, и эта область человеческой деятельности называется стеганографией. Это слово происходит от греческих слов steganos (тайна, секрет) и graphy (запись) и, таким образом, буквально означает "тайнопись", хотя методы стеганографии, вероятно, появились раньше, чем сама письменность.

В дальнейшем для защиты информации, стали использоваться более эффективные на момент создания методы кодирования и криптографии. Цель криптографии, как известно состоит в блокировании несанкционированного доступа к информации путем шифрования содержания секретных сообщений. Стеганография имеет другое назначение, и ее цель – скрыть сам факт существования секретного сообщения. В то же время оба метода могут быть объединены и использованы для повышения эффективности защиты информации. Как и любые инструменты, методы стеганографии требуют к себе внимания и осторожного обращения, поскольку могут быть использованы как для целей защиты, так и для целей нападения.

Хорошо известны различные способы скрытого письма между строк обычного, незащищаемого письма: от применения молока до использования сложных химических реакций с последующей обработкой перед чтением [1]. Другие методы стеганографии включают использование микрофотоснимков, незначительные различия в написании рукописных символов, небольшие проколы конкретных напечатанных символов и другие способы по скрытию истинного смысла тайного сообщения в открытой переписке.

Информационно-коммуникационные технологии придали новый импульс развитию и совершенствованию стеганографии, появилось новое направление в области защиты информации – компьютерная стеганография (КС).

Современный прогресс в области средств мультимедиа и глобальных компьютерных сетей привел к развитию новых методов, предназначенных для обеспечения безопасности

передачи данных по каналам телекоммуникаций и их использование в незаявленных целях. Эти методы, используя естественные неточности устройств оцифровки и избыточность аналоговых видео- или аудио- сигналов, позволяют скрывать сообщения в компьютерных файлах (контейнерах). Более того, в отличие от криптографии, эти методы скрывают факт передачи информации [2].

Основными стеганографическими понятиями являются сообщение и контейнер**.**

Сообщением $m \in M$, называют секретную информацию, наличие которой необходимо скрыть, где M - множество всех сообщений, обычно $M = Z_2^n$ для $n \in Z$.

Контейнером $b \in B$ называют несекретную информацию, которую используют для сокрытия сообщений, где B - множество всех контейнеров, обычно $B=Z_2^q$, при этом $q>>n$.

Пустой контейнер (контейнер-оригинал) - это контейнер b, не содержащий сообщения, заполненный контейнер (контейнер-результат) b_m - это контейнер b, содержащий сообщение m.

Стеганографическим преобразованием принято называть зависимости

$$F \quad F: M \times B \times K \rightarrow B, \quad ^{-1}: B \times K \rightarrow M, \tag{1}$$

которые сопоставляют тройке (сообщение, пустой контейнер, ключ) контейнер-результат, и паре (заполненный контейнер, ключ) исходное сообщение, т.е.

$$F(m,b,k) = b_{m,k}, \qquad F^{-1}(b_{m,k}) = m, \qquad \text{где } m \in M,\ b,\ b_m \in B,\ k \in K \tag{2}$$

Стеганографической системой называют (F, F^{-1}, M, B, K) совокупность сообщений, контейнеров и связывающих их преобразований [Мотуз].

К. Шеннон дал нам общую теорию тайнописи, которая является базисом стеганографии как науки. В современной КС существует два основных типа файлов: файл-сообщение, который предназначен для скрытия, и файл-контейнер, который может быть использован для скрытия в нем сообщения. Контейнеры бывают двух типов: оригинал-контейнер (или "пустой" контейнер) - это контейнер, в котором нет скрытой информации и результат-контейнер- (или "заполненный" контейнер) - это контейнер, в котором содержится скрытую информацию. При этом под ключом понимается секретный элемент, который определяет порядок занесения сообщения в контейнеры. Отметим, что, несмотря на то, что методы тайнописи известны с древних времен, компьютерная стеганография является относительно новой областью науки. В настоящее время компьютерная стеганография находится на стадии развития.

Теоретическая база и методы стеганографии только формируются, нет общепризнанной классификации методов, не существуют критерии оценки надежности методов и механизмов стеганографических систем, производятся первые попытки проводить сравнительные характеристики методов [3,4].

Но уже сегодня специалисты признают, что на базе компьютерной стеганографии, являющейся одной из технологий информационной безопасности XXI века, возможна разработка новых, более эффективных нетрадиционных методов обеспечения кибербезопасности.

Анализ применяемых на практике методов компьютерной стеганографии позволяет выделить следующие ***основные классы***.

1. Методы, основанные на наличии свободных участков в представлении/хранении данных.

2. Методы, основанные на избыточности представления/хранения данных.

3.Методы, основанные на применении специально разработанных форматов представления/хранения данных.

Подчеркнем, что методы внедрения скрытой информации в объекты зависят, прежде всего, от назначения и типа объекта, а также от формата, в котором представлены данные. То есть, для любого формата представления компьютерных данных могут быть предложены собственные стеганографические методы.

Остановимся на стеганографических методах, которые часто применяются на практике.

Широко известен ***метод внедрения скрытой информации в младшие биты данных,***

представленных в цифровом виде. Метод основывается на том факте, что модификация младших, наименее значимых битов данных, представленных в цифровом виде, с точки зрения органов чувств человека не приводит к изменению функциональности и даже качества изображения или звука. Отметим, что информация, скрытая в последних битах цифрового контента не является помехоустойчивой, то есть при искажениях или сжатии с потерей данных она теряется.

На практике используются также ***широкополосные сигналы и элементы теории шума***. Информация скрывается путем фазовой модуляции информационного сигнала (несущей) с псевдослучайной последовательностью чисел. Используется и другой алгоритм: имеющийся диапазон частот делится на несколько каналов, и передача производится между этими каналами.

Достаточно развиты ***методы, применяемые для тайнописи в текстовых файлах.***

- Скрытые гарнитуры шрифтов. Данный метод основан на внесении малозаметных искажений, несущих смысловую нагрузку, в очертания букв.
- Цветовые эффекты. Например, для символов скрываемого сообщения применяют белый цвет на белом фоне.
- «Нулевой шифр». Этот метод основан на выборе определенных позиций символов (иногда используются известные смещения слов\предложений\ абзацев).
- Обобщение акростиха. Метод заключается в том, что по определенному закону генерируется осмысленный текст, скрывающий некоторое сообщение.
- Невидимые коды. Символы скрываемого сообщения кодируются определенным количеством дополнительных пробелов между словами или числом пустых строк.

Разработаны ***методы внедрения скрытой информации и для файлов в формате HTML:***

−в конец каждой строки добавляют определенное число пробелов, кодирующее скрываемую информацию;

−скрываемое сообщение размещают в специальном файле, у которого удаляют заголовок, причем такой заголовок хранится у получателя (скрываемое сообщение обычно дополнительно шифруется);

−присоединяют дополнительные страницы, на которых и размещают скрываемую информацию;

−записывают скрываемую информацию в мета-тэги (эти команды предназначены для сообщения информации о html-документе поисковым серверам и не видны при отображении страницы на экране);

−записывают скрываемую информацию в тэги с неизвестными программам-браузерам идентификаторами;

−применяют цветовые эффекты.

Особое внимание обратим на ***методы, применяемые для внедрения скрытой информации в исполняемые файлы***.

Большинство из применяемых методов основано на наличии свободных участков в исполняемых файлах: полностью или частично свободные секторы (блоки) файла; структуры заголовков файлов в форматах EXE, NE-executable и PE-executable содержат зарезервированные поля; существуют пустоты между сегментами исполняемого кода и другие. Заметим, что именно такие методы компьютерной стеганографии традиционно используют авторы компьютерных вирусов для внедрения тел вирусов в исполняемые файлы. Обратим внимание, что для удаления скрытой таким образом информации нарушителю достаточно просто «обнулить» все имеющиеся свободные участки.

Даже если тот факт, что сообщение было скрыто, стал известен, извлечение самого секретного сообщения - сложная вычислительная задача.

С ускоренным распространением глобальных компьютерных сетей значение стеганографии все более возрастает. Анализ информационных источников сети Интернет позволяет сделать вывод, что в данный момент системы стеганографии активно

используются для решения следующих задач [5,6]:

- защита конфиденциальной информации от несанкционированного доступа;
- преодоление систем мониторинга и управления сетевыми ресурсами;
- камуфлирование программного обеспечения;
- защита авторского права на некоторые виды интеллектуальной собственности.

Остановимся кратко на каждой из перечисленных задач. Зашита конфиденциальной информации от несанкционированного доступа, эта область использования КС является наиболее эффективной при решении проблемы защиты конфиденциальной информации. Так, например, только одна секунда оцифрованного звука с частотой дискретизации 44 100 Гц и уровнем отсчета 8 бит в стереорежиме дает возможность скрыть за счет замены наименее значимых младших разрядов на скрываемое сообщение примерно10 кбайт информации. Изменение значений отсчетов при этом составляет менее 1%. Такое изменение практически не обнаруживается при прослушивании файла большинством людей.

Методы стеганографии, направленные на противодействие системам мониторинга и управления сетевыми ресурсами, дают возможность противостоять попыткам взять контроль над информационным пространством в момент прохождении информации через серверы управления локальных и глобальных вычислительных сетей.

Еще одной областью применения КС в настоящее время является камуфлирование ПО. В тех случаях, когда использование программного обеспечения незарегистрированными пользователями нежелательно, оно может быть замаскировано под стандартные универсальные программные продукты (например, текстовые редакторы) или скрыто в мультимедийных файлах (например, в звуке компьютерных игр).

Еще одной областью использования стеганографии является защита авторских прав от пиратства. На компьютерные графические изображения вносится специальная метка, которая остается невидимой глазу, но распознается специальным программным обеспечением. Такое ПО уже используется в компьютерных версиях некоторых журналов. Данное направление стеганографии предназначено не только для обработки изображений, но и для файлов с аудио- и видеоинформацией и призвано обеспечить защиту интеллектуальной собственности.

Под цифровой стеганографией понимается сокрытие одной информации в другой. Причем сокрытие это должно реализоваться таким образом, чтобы, во-первых, не были утрачены свойства и некоторая ценность скрываемой информации, а во-вторых, неизбежная модификация информационного носителя не только не уничтожила смысловые функции, но и на определенном уровне абстракции даже не меняла их. Тем самым факт передачи одного сообщения внутри другого не выявляется традиционными методами.

В качестве носителя скрытой информации должен выступать объект (файл), допускающий искажения собственной информации, не нарушающие его функциональность. Внесенные искажения должны быть ниже уровня чувствительности средств распознавания.

Предположим, что в качестве носителя используется 24-битовое изображение размером 800x600 (графика среднего разрешения). Оно занимает около полутора мегабайта памяти (800x600x3 = 1440000 байт). Каждая цветовая комбинация тона (пикселя – точки) – это комбинация трех основных цветов: красного, зеленого и синего, которые занимают каждый по 1 байту (итого по 3 на пиксел). Если для хранения секретной информации использовать наименьший значащий бит (Least Significant Bits LSB) каждого байта, то получим по 3 бита на каждый пиксел. Емкость изображения носителя составит 800x600x3/8=180000 байт. При этом биты в каких-то точках будут совпадать с битами реального изображения, в других – нет, но, главное, что на глаз определить такие искажения практически невозможно.

Цифровая стеганография реализуется следующим образом: имеется какой-то цифровой файл – контейнер и сам файл-сообщение. Для обеспечения разрозненности и случайности значений зашифруем входное сообщение, так как шифровка обеспечивает большую степень защиты данных. Затем производится вставка сообщения в файл-контейнер. Затем можно свободно передавать файл, но пароль для расшифровки должен быть заранее передан по

независимому каналу получателю информации.

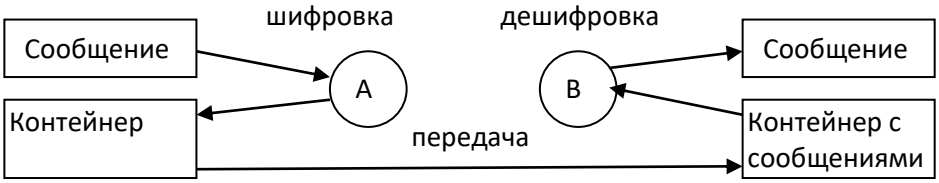


Рис. 1 Модель реализации цифровой стенографии.

Самой главной задачей является обеспечить наибольшее сходство файла-контейнера с уже вложенным сообщением. В младших битах изображений и других мультимедиа файлов имеются шумы – они распределены по всему файлу произвольным образом и, как правило, представляют собой случайные числовые значения.

Для обеспечения псевдослучайности при вставке файла в контейнер используют алгоритмы шифрования. Для большей надежности и схожести оригинала следует использовать изображения с шумами в младших разрядах – это изображения, полученные при помощи цифровой фотокамеры или со сканера. Такие изображения уже содержат внутри себя случайный шум, который дополнительно маскирует факт внедрения посторонней информации внутрь файла.

В настоящее время можно выделить три тесно связанных между собой и имеющих одни корни направления приложения стеганографии: сокрытие данных (сообщений), цифровые водяные знаки и заголовки.

Сокрытие внедряемых данных, которые в большинстве случаев имеют большой объем, предъявляет серьезные требования к контейнеру: размер контейнера в несколько раз должен превышать размер встраиваемых данных.

Существенное влияние на надежность стегосистемы и возможность обнаружения факта передачи скрытого сообщения оказывает выбор контейнера. Возможны следующие варианты контейнеров:

1. Контейнер генерируется самой стегосистемой.
2. Контейнер выбирается из некоторого множества контейнеров.
3. Контейнер поступает извне.

Анализ показали, что в настоящее время основным направлением компьютерной стеганографии является все же использование избыточности аудио- и визуальной информации [7]. Цифровая музыка, цифровые фотографии, цифровое видео представляются матрицами чисел, которые кодируют интенсивность в дискретные моменты в пространстве и/или во времени. Цифровая фотография представляет собой матрицу чисел, представляющих интенсивность света в данный момент времени. Цифровой звук-это матрица чисел, которая представляет интенсивность звукового сигнала в последовательные моменты времени. Все эти цифры неточны, потому что устройства оцифровки аналоговых сигналов неточны, и есть шум квантования. Младшие разряды цифровых отсчетов содержат очень мало полезной информации о текущих параметрах звука и визуального образа. Заполнение их существенно не влияет на качество восприятия, что дает возможность скрыть дополнительную информацию.

Анализ тенденций развития КС показывает, что интерес к развитию методов КС в ближайшие годы будет возрастать все больше и больше [8]. Предпосылки для этого уже сегодня сформированы. В частности, общеизвестно, что актуальность проблемы информационной безопасности постоянно растет и стимулирует поиск новых методов защиты информации. С другой стороны, стремительное развитие информационных технологий дает возможность реализовать эти новые методы обеспечения информационной безопасности. И конечно, сильным катализатором этого процесса является лавинообразное развитие Интернета, в том числе такие нерешенные спорные проблемы Интернета, как защита авторских прав, защита прав на частную жизнь, организация электронной коммерции, незаконная деятельность хакеров, террористов и т.д.

В настоящее время компьютерная стеганография продолжает развиваться: формируется теоретическая база, ведется разработка новых, более стойких методов встраивания сообщений. Среди основных причин наблюдающегося всплеска интереса к стеганографии можно выделить принятые в ряде стран ограничения на использование сильной криптографии, а также проблему защиты авторских прав на художественные произведения в цифровых глобальных сетях. Поэтому в ближайшее время можно ожидать новых публикаций и разработок в этой области.

Список литературы

[1]. А.А.Малюк. Ингформационная безопасность: концептуальные и методологически
[2]. основы защиты информации/ А.А.Малюк. – М.: ГЛТ, 2016. – 280 с.
[3]. А.Ф.Чипига. Информационная безопасность автоматизированных систем/ А.Ф.Чипига. – М.: Гелиос АРВ, 2017. – 336 с.
[4]. Д.М. Охунов, М.Х. Охунов, М.У. Акбарова. Общая методология оценки и выбора компонентов автоматизированных систем. - САПР и моделирование в современной электронике: сборник научных трудов III международной научно-практической конференции. Брянск, 2019, стр 54-58.
[5]. Okhunov Dilshod, Okhunov Mamatjon. General methodology of evaluation and selection of components of automated systems. - САПР и моделирование в современной электронике: сборник научных трудов V Международной научно-практической конференции. Брянск, 2021.
[6]. Dilshod Okhunov, Mamatjon Okhunov, Mukaddas Akbarova. Method of calculation of system reliability on the basis of construction of the logical function of the system. E3S Web of Conferences 139, (2019)/ RSES 2019.
[7]. D.Okhunov, S.Semenov, S. Gulyamov, D.Okhunova, M.Okhunov. Tools to support the Development and Promotion of Innovative Projects. SHS web of Conferences 100, 01008(2021) ISCSAI 2021, https://doi.org/10.1051/SHSconf/202110001008
[8]. Д.М.Охунов, М.Х.Охунов. Разработка модели выбора автоматизируемых объектов для реализации процессов управления работами по созданию и развитию информационных систем. Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции «САПР и моделирование в современной экономике». Россия. Брянск. 24-25 октября 2018. – С 147-150.
[9]. С.В.Запечников. Информационная безопасность открытых систем. В 2-х т. Т.1 – Угрозы, уязвимости, атаки и подходы к защите/ С.В.Запечников. – М.:ГЛТ, 2017. – 536с.

UDK: 681.526

ZAMONAVIY AVTOMATLASHTIRILGAN SAVDO SHKAFINI LOYIHALASH VA ISHLAB CHIQISH

J.X. Xasanjonov, S.M.Abduraxmonov

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
E-mail: jamshid20020205@gmail.com | Tel.: +998 (77) 010-25-73

(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada avtomatlashtirilgan vending savdo shkaflarining yaratilish tarixi, ishlash prinsipi va O‘zbekiston sharoitida tatbiq qilish imkoniyatlari tahlil qilinadi. Tadqiqotda prujinali mahsulot uzatish mexanizmi, Arduino Mega Pro Mini asosidagi boshqaruv bloki, LCD display, keypad, pul qabul qilish moduli va drop sensorning vazifalari yoritilgan. Shuningdek, vending qurilmasining dasturiy algoritmi FSM modeli asosida tushuntirilib, qurilmani mahalliy sharoitda arzon, sodda va servisga qulay tarzda yaratish imkoniyati asoslangan.*

Kalit so‘zlar: *vending savdo shkafi, prujinali mexanizm, Arduino Mega Pro Mini, mikrokontroller, drop sensor, FSM algoritm, avtomatlashtirilgan savdo.*

Аннотация. *В данной статье рассматриваются история создания автоматизированных торговых шкафов типа vending, принцип их работы и возможности внедрения в условиях Узбекистана. В работе освещены пружинный механизм выдачи товара, блок управления на базе Arduino Mega Pro Mini, LCD-дисплей, клавиатура, модуль приёма купюр и датчик выдачи товара. Также алгоритм работы устройства объясняется на основе модели конечного автомата FSM, что позволяет обосновать возможность создания недорогого, простого и удобного в обслуживании vending-устройства для местных условий.*

Ключевые слова: *торговый vending-шкаф, пружинный механизм, Arduino Mega Pro Mini, микроконтроллер, датчик выдачи товара, FSM-алгоритм, автоматизированная торговля.*

Abstract. *This article analyzes the history, operating principle, and implementation possibilities of automated vending cabinets in Uzbekistan. The study describes a spring-based product dispensing mechanism, an Arduino Mega Pro Mini control unit, an LCD display, a keypad, a bill acceptor module, and a drop sensor. The device control algorithm is also explained using the finite state machine model. As a result, the article justifies the possibility of developing a low-cost, simple, and service-friendly vending cabinet suitable for local operating conditions.*

Keywords: *vending cabinet, spring mechanism, Arduino Mega Pro Mini, microcontroller, drop sensor, FSM algorithm, automated retail.*

1.Kirish

Avtomatlashtirilgan “vending” savdo shkaflari zamonaviy chakana savdo tizimida sotuvchi ishtirokisiz xizmat ko‘rsatish imkonini beruvchi texnik vositalardan biri hisoblanadi. Bunday qurilmalar mustsqil xaridor tomonidan mahsulot tanlash, to‘lovni amalga oshirish, mahsulotni ajratib berish va xarid natijasini ko‘rsatish jarayonlarini avtomatik tarzda bajaradi. Vending tizimlarining asosiy afzalligi shundaki, ular kunning istalgan vaqtida ishlashi, odam oqimi yuqori bo‘lgan joylarda navbatni kamaytirishi va savdo jarayonini soddalashtirishi mumkin.

Vending apparatlari bugungi kunda faqat ichimlik yoki yegulik mahsulotlari bilan cheklanib qolmay, dorixona mahsulotlari, elektron aksesuar vositalari, kanselyariya buyumlari va boshqa kichik qadoqli mahsulotlarni sotishda ham qo‘llanilmoqda.

Hozirda biron bir rivojlangan mamalakatni ko’rsatib bo\kmaydiki, qaysiki unda avtomatlashtirilga savdo shkafi bo’lmasa. Ushbu turdagi qurilmada mahsulotlar shaffof vitrina ortida joylashtiriladi, xaridor kerakli mahsulot kodini kiritadi, to‘lovni amalga oshirish turli variantlarda bo’lishi mumkin.

O’zbekiston Respublikasi tez suratlar bilan rivojlanayotgan mamlakatlar qatoriga kiradi. Bu respublikaga turli ko’rinishdagi zamonaviy texnika va texnologiyalarni kirib kelishiga sabab bo’lmoqda. Har bir kirib kelgan texnika va texnologiya ma’lum muddatdan keyin tamirlashni talab etadi. Tamirlash qurilma butlovchi qisimlariga va dasturiy vositalariga davriy ravishda ehtiyoj tug’diradi. Bundan tashqari boshqa davlatlardan texnikalarni, butlovchi qisimlarini olib kelinishi ma’lum miqdordagi valyuta mablag’larini talab etadi. Bundan xulosa qilish mumkinki, zamonaviy hozirda qo’llanilayotgan avtomatlashtirilgan qurilmalarni mamlakatimizda loyihalash va ishlab chiqarish **dolzarb** masaladir.

2.Tadqiqot

Vending savdo shkaflarining yaratilish tarixi insoniyatning avtomatlashtirilgan xizmat ko‘rsatish g‘oyasi bilan bevosita bog‘liq. Bugungi kunda vending apparatlari zamonaviy elektronika, mikrokontroller, sensor, to‘lov moduli va dasturiy ta’minot asosida ishlaydi. Biroq uning dastlabki g‘oyasi juda qadim davrlarga borib taqaladi. Vending qurilmasining asosiy mazmuni — xaridor tomonidan ma’lum qiymatdagi pul yoki belgi kiritilgandan so‘ng, qurilmaning inson ishtirokisiz mahsulot yoki xizmatni avtomatik tarzda berishidir.

Tarixiy manbalarda vending qurilmasiga o‘xshash eng qadimgi mexanizm milodiy I asrda yashagan Iskandariyalik Geron nomi bilan bog‘lanadi. Geron tomonidan tavsiflangan qurilma ibodatxonalarda muqaddas suvni avtomatik berish uchun ishlatilgan. Qurilmaning ishlash prinsipi oddiy mexanik richak va og‘irlik kuchiga asoslangan: foydalanuvchi tanga tashlaganda tanga maxsus plastinka ustiga tushadi, plastinka og‘irlik ta’sirida richagni harakatga keltiradi va suv oqadigan klapanni qisqa vaqtga ochadi. Tanga pastga tushgandan so‘ng richag avvalgi holatiga qaytadi va suv oqimi to‘xtaydi. Shu jihatdan bu qurilma bugungi vending apparatlarining eng qadimgi mexanik prototipi sifatida qaraladi.

Keyingi bosqichlarda vending g‘oyasi asosan oddiy mexanik savdo qurilmalari ko‘rinishida rivojlandi. XVII asr boshlarida Angliyada tamaki sotish uchun tangali mexanik qurilmalar ishlatilgani haqida ma’lumotlar mavjud. Bu apparatlar hozirgi vending mashinalariga nisbatan juda sodda bo‘lgan, ammo ular mahsulotni sotuvchi ishtirokisiz berish g‘oyasini amalda qo‘llagan. XIX asrda esa avtomatlashtirilgan savdo qurilmalari gazetalar, pochta markalari, konvertlar va boshqa kichik mahsulotlarni sotishda qo‘llanila boshladi.

1867-yilda Simeon Denham pochta markalarini avtomatik beruvchi qurilma uchun Britaniya patentini olgan. Bu qurilma tarixda to‘liq avtomatik vending qurilmalaridan biri sifatida tilga olinadi. XIX asrning oxiriga kelib esa zamonaviy vending apparatlarining sanoatlashgan shakli paydo bo‘ldi. 1880-yillarda Londonda pochta kartalari, konvertlar va yozuv qog‘ozlarini sotuvchi tangali avtomatlar joriy etildi. 1883-yilda Percival Everitt tomonidan ishlab chiqilgan avtomat pochta kartalari savdosida qo‘llanilgan va tez orada temir yo‘l stansiyalari hamda pochta bo‘limlarida keng tarqalgan. 1887-yilda Angliyada Sweetmeat Automatic Delivery Company tashkil etilib, vending apparatlarini o‘rnatish va ularga xizmat ko‘rsatish bilan shug‘ullangan dastlabki kompaniyalardan biri bo‘lgan.

XX asr vending savdo shkaflari rivojlanishida muhim davr bo‘ldi. Bu davrda avtomatlar nafaqat pochta mahsulotlari, balki ichimlik, shirinlik, gazeta, sigaret, kofe va boshqa kundalik iste’mol mahsulotlarini sotishga moslashtirildi. Ayniqsa AQShda vending sanoati tez rivojlandi. 1930-yillardan boshlab sovutiladigan ichimlik vending apparatlari paydo bo‘ldi. Masalan, Vendo kompaniyasi 1937-yilda tashkil topgan bo‘lib, keyinchalik sovuq ichimliklar uchun vending apparatlari ishlab chiqaruvchi yirik ishlab chiqaruvchilardan biriga aylandi. Bunday apparatlarda mahsulotni saqlash, sovitish, tangani qabul qilish va mahsulotni chiqarish mexanizmlari bir tizimga birlashtirildi.

1937-yilda AQShda Clarence Saunders tomonidan Keedoozle nomli avtomatlashtirilgan oziq-ovqat do‘koni konsepsiyasi ishlab chiqildi. Ushbu loyiha oddiy vending apparatidan kengroq bo‘lib, xaridor mahsulotni maxsus tizim orqali tanlashi va avtomatik tarqatish mexanizmi orqali olishi kerak edi. Keedoozle o‘z davri uchun juda ilg‘or bo‘lgan, lekin texnologik murakkablik, mexanik nosozliklar va xaridorlarning bunday tizimga hali tayyor emasligi sababli keng muvaffaqiyat qozona olmadi. Shunga qaramay, u keyingi avtomatlashtirilgan chakana savdo va self-service tizimlari rivojiga kuchli ta’sir ko‘rsatgan.

XX asrning ikkinchi yarmida vending apparatlarida elektr va elektromexanik boshqaruv tizimlari keng qo‘llanila boshladi. Oddiy mexanik tangali bloklar o‘rnini elektr kontaktlar, relelar, solenoidlar va motorlar egalladi. Mahsulotni ajratish mexanizmlari ham takomillashdi: spiral-prujinali mexanizmlar, relsli yo‘naltiruvchilar, aylanuvchi barabanlar, sovutiladigan ichimlik kanallari va mahsulot tushishini nazorat qiluvchi sensorlar paydo bo‘ldi. Aynan shu bosqichda vending apparati oddiy tangali quti emas, balki mahsulot saqlash, tanlash, to‘lov qabul qilish, mahsulot chiqarish va foydalanuvchiga ma’lumot berish funksiyalarini birlashtirgan avtomatlashtirilgan savdo qurilmasiga aylandi.

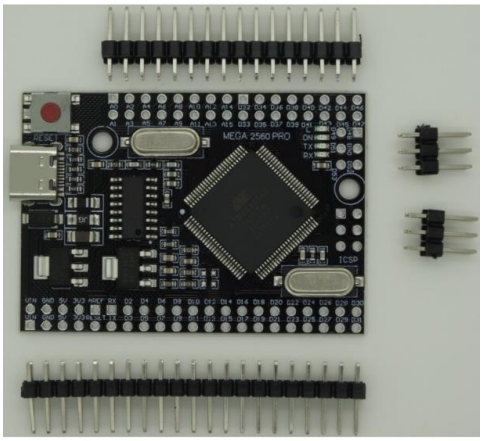
Keyinchalik mikrokontroller va raqamli elektronika rivojlanishi vending savdo shkaflarining yangi bosqichini boshlab berdi. Endi qurilma ishlashi dasturiy algoritm orqali boshqarila boshladi. Foydalanuvchi mahsulot kodini kiritadi, mikrokontroller mahsulot narxini tekshiradi, to‘lov modulidan signal qabul qiladi, mos motorni ishga tushiradi va sensorlar orqali mahsulot tushganini nazorat qiladi. Bu yondashuv vending apparatlarini ancha ishonchli, moslashuvchan va servisga qulay qildi. Masalan, zamonaviy vending qurilmalarida LCD display, keypad, bill acceptor, coin acceptor, karta to‘lov moduli, QR to‘lov, EEPROM xotira, drop sensor va masofaviy monitoring tizimlari qo‘llanilishi mumkin.

Vending savdo shkaflarining hozirgi bosqichi “smart vending” tushunchasi bilan bog‘liq. Bunday qurilmalar internet orqali monitoring qilinadi, mahsulot qoldig‘i masofadan kuzatiladi, to‘lovlar elektron shaklda qabul qilinadi, xatoliklar jurnalga yoziladi va ayrim hollarda texnik xizmat ko‘rsatish oldindan rejalashtiriladi. IoT texnologiyalari yordamida vending apparatlari real vaqt rejimida nazorat qilinadi, machine learning esa nosozliklarni oldindan bashorat qilishda qo‘llanishi mumkin. Shu sababli zamonaviy vending apparati oddiy mahsulot sotuvchi avtomat emas, balki elektron boshqaruv, dasturiy ta’minot, mexanik uzatma, sensorika va to‘lov tizimlari birlashgan kompleks mexatron qurilma hisoblanadi.

O‘zbekiston sharoitida vending savdo shkaflarini rivojlantirishda tarixiy tajriba muhim xulosa beradi: vending texnologiyalari har doim oddiy mexanik yechimdan boshlab, bosqichma-bosqich murakkablashgan. Shuning uchun mahalliy ishlab chiqishda ham dastlab prujinali mexanizm, LCD display, keypad, mikrokontroller, pul qabul qilish moduli va drop sensor asosidagi

sodda, arzon va xizmat ko‘rsatishga qulay tizimdan boshlash maqsadga muvofiq. Keyinchalik esa QR to‘lov, karta orqali to‘lov, internet monitoring, mahsulot qoldig‘ini masofadan ko‘rish va servis diagnostikasi kabi zamonaviy funksiyalarni qo‘shish mumkin.

1-rasm. Prujinali uzatish mexanizimi.


2-rasm. Arduino Mega Pro Mini mikrokontrolleri.

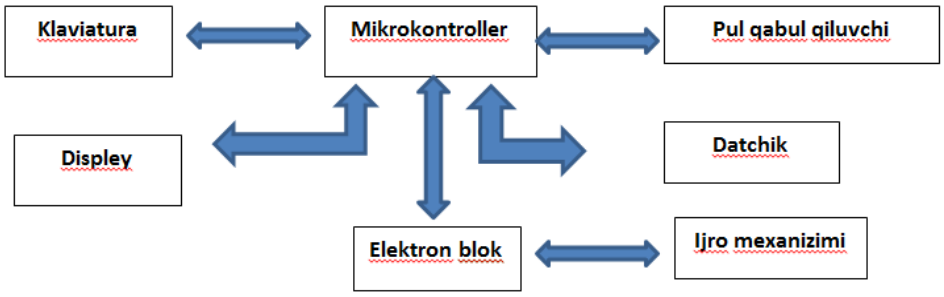
Qisqacha aytganda, vending savdo shkafining yaratilish tarixi qadimgi mexanik tanga qurilmasidan boshlangan bo‘lsa, bugungi kunda u to‘liq elektron boshqariladigan, dasturiy algoritmga ega va foydalanuvchi bilan interaktiv ishlaydigan avtomatlashtirilgan savdo tizimiga aylangan. Bu rivojlanish vending apparatlari texnikasining mexanika, elektrotexnika, elektronika, dasturlash va servis muhandisligi bilan chambarchas bog‘liq ekanligini ko‘rsatadi.

Vending apparatlarining samarali ishlashi, avvalo, mahsulotni ajratib berish mexanizmiga bog‘liq. Amaliyotda prujinali, relsli-konveyerli, elevatorli va yacheykali mexanizmlar keng uchraydi. Prujinali mexanizmda mahsulot spiral prujina oldida yoki ichida joylashtiriladi. Elektr motor aylanganda prujina mahsulotni oldinga suradi va mahsulot pastki qabul qilish oynasiga tushadi. Ushbu mexanizm chips, shokolad, pechenye, kichik ichimlik, gigiyena vositasi va qadoqlangan mayda mahsulotlar uchun qulay hisoblanadi.

O‘zbekiston sharoitida vending savdo shkaflarini joriy etishda eng muhim masalalardan biri — qurilmaning tannarxi va servis qulayligidir. Murakkab elevatorli yoki to‘liq sensorli ekranli apparatlar zamonaviy ko‘rinsa-da, ularning narxi yuqori, ehtiyot qismlari qimmat va ta’mirlash jarayoni murakkab bo‘lishi mumkin. Shu sababli dastlabki bosqichda prujinali mexanizm(1-rasm) asosida vending shkafi ishlab chiqish maqsadga muvofiqdir. Bitta yacheyka uchun DC motor, spiral prujina, mahsulot yo‘naltiruvchi kanal, boshqaruv chiqishi va sensor yetarli bo‘ladi.

Prujinali mahsulotni uzatish mexanizmining asosiy yurituvchisi 24V reduktorli kichik quvvatli dvigatel bo’libuni harakti controller yordamida tashkil etiladi. Qurilma uchun boshqaruv bloki asosiy qurilmasi sifatida Arduino Mega Pro Mini mikrokontrolleri olindi.

Loyihalangan vending qurilmasini asosiy qurilmalari umumiy shina tamoyiliga asoslangan texnologiya asosida birlashtirilib real vaqt tizimlarida faoliyat yuritishi tashkil etilgan (3-rasm).



3-rasm.Qurilmaning blok sxemasi.

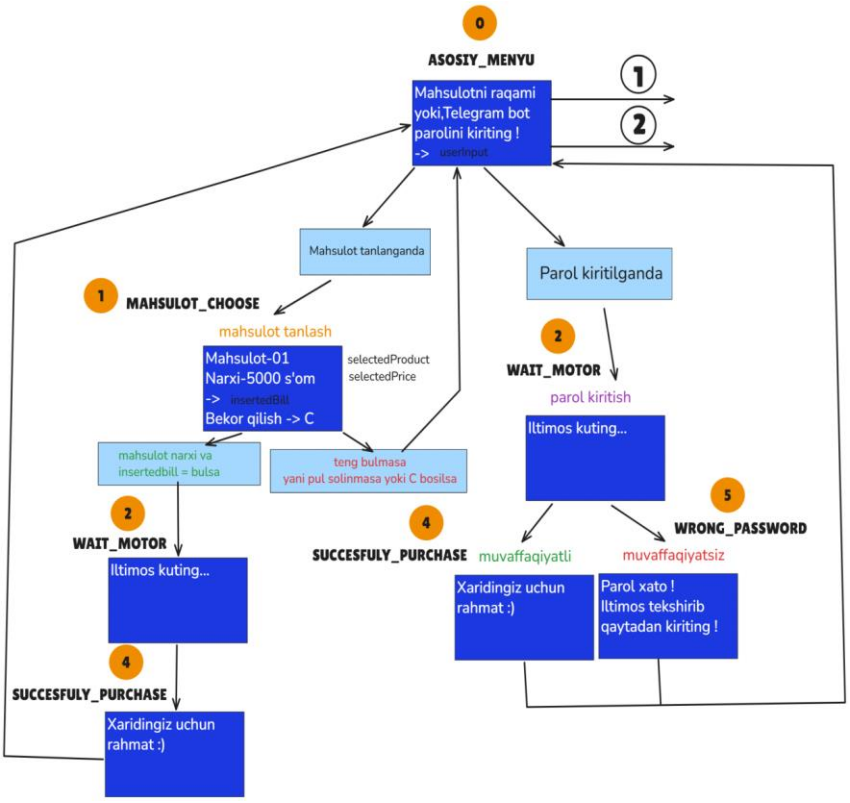
Qurilmani ishonchliligini orttirish maqsadida tranzistorli tizimdan rele tizimiga o’tildi. Rele tizimiga o’tish bilan tizimda ishtirok etayotgan elektron qurilmalar soni keskin kamaytirildi.

3. Dasturiy boshqaruv va elektron tizim

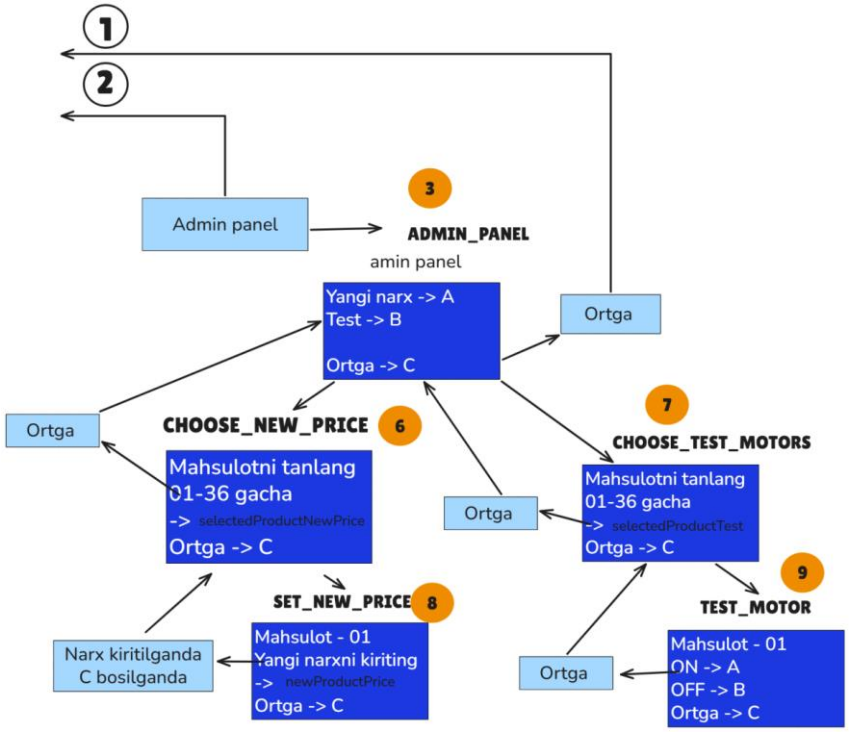
Vending apparatlarini boshqarishda mikrokontroller asosidagi algoritm muhim o‘rin tutadi. Monga va Singh tomonidan vending mashina boshqaruvi FSM, ya’ni finite state machine modeli asosida ko‘rib chiqilgan. Ularning ishida foydalanuvchi tanlovi, pul kiritishni kutish, mahsulot yetkazish va servis holatlari alohida bosqich sifatida modellashtirilgan [1]. FSM nazariyasi

avtomatlar nazariyasining amaliy ko‘rinishi bo‘lib, vending apparati kabi ketma-ket holatlarga ega tizimlarni tartibli boshqarishga xizmat qiladi [2].

Ishlab chiqilgan vending qurilmasi uchun ham shunday yondashilgan. Qurilma algoritmi quyidagicha
ishlab chiqildi:



a-birinchi qism.



b-ikkinchi qism.

4-rasm.Qurilmadan foydalanish algoritmi.

Algoritmni dasturi C++ dasturlash tili yordamida tuzildi. Qurilma dasturida asosiy menyu, mahsulot tanlash, to‘lovni kutish, motorni ishga tushirish, mahsulot tushishini tekshirish, muvaffaqiyatli xarid va xatolik holatlari alohida dasturiy holatlar sifatida tashkil etiladi. Bunday

yondashuv Arduino Mega Pro Mini kabi mikrokontrollerda vending algoritmini tushunarli va bosqichma-bosqich bajariladigan ko‘rinishga keltiradi.

Elektron boshqaruv qismi mikrokontroller, motor drayverlari, LCD display, keypad, pul qabul qilish moduli, EEPROM xotira va drop sensordan iborat bo‘lishi mumkin. LCD display foydalanuvchiga mahsulot raqami, narxi, kiritilgan summa va xatoliklar haqida ma’lumot beradi. Keypad orqali mahsulot kodi kiritiladi. Pul qabul qilish moduli kupyurani tekshiradi va mikrokontrollerga mos signal yuboradi. Mikrokontrollerlar, xotira, kirish-chiqish portlari va embedded tizimlar bo‘yicha umumiy texnik asoslar AVR mikrokontrollerlar adabiyotlarida keng yoritilgan [3].

Parol orqali boshqariladigan admin panel vending qurilmasida servis va sozlash rejimini oddiy foydalanuvchi rejimidan ajratadi. Keypad, LCD, mikrokontroller va EEPROM yordamida parol kiritish, xabar chiqarish va sozlamalarni saqlash kabi vazifalar bajarilishi mumkin. Bunday yondashuv mikrokontrollerli elektron qulf loyihalarida ham qo‘llanilgan bo‘lib, LCD va keypad orqali foydalanuvchi bilan muloqot qilish, parolni tekshirish hamda EEPROMda ma’lumot saqlash imkoniyatlari ko‘rsatilgan [4].

4. O‘zbekiston sharoitida tatbiq qilish imkoniyatlari

O‘zbekiston sharoitida vending savdo shkaflarini joriy etishda eng muhim masalalardan biri — qurilmaning tannarxi va servis qulayligidir. Murakkab elevatorli yoki to‘liq sensorli ekranli apparatlar zamonaviy ko‘rinsa-da, ularning narxi yuqori, ehtiyot qismlari qimmat va ta’mirlash jarayoni murakkab bo‘lishi mumkin. Shu sababli dastlabki bosqichda prujinali mexanizm asosida vending shkafi ishlab chiqish maqsadga muvofiqdir. Bitta yacheyka uchun DC motor, spiral prujina, mahsulot yo‘naltiruvchi kanal, boshqaruv chiqishi va sensor yetarli bo‘ladi.

Vending shkafining ishonchli ishlashida drop sensor muhim vazifa bajaradi. Motor ishlagandan keyin mahsulot haqiqatan ham pastki qabul qilish oynasiga tushganini aynan shu sensor tasdiqlaydi. Agar sensor mahsulot tushganini aniqlamasa, qurilma mahsulot berildi deb hisoblamasligi kerak. Bunday holatda tizim xatolik rejimiga o‘tib, jarayonni to‘xtatadi. Bu algoritm xaridor manfaatini himoya qiladi va qurilmaning noto‘g‘ri ishlash ehtimolini kamaytiradi.

Zamonaviy vending tizimlarida IoT va machine learning texnologiyalaridan ham foydalanish mumkin. Hasan tomonidan taklif qilingan predictive maintenance yondashuvida vending apparatidagi komponentlar va ish sharoitlari IoT sensorlari orqali doimiy kuzatiladi, machine learning modellari esa nosozlik yuzaga kelishidan oldin uni bashorat qilishga xizmat qiladi [5]. Bu yondashuv kelajakda servis xarajatlarini kamaytirish va qurilmaning ishlamay turib qolish vaqtini qisqartirishga yordam beradi.

O‘zbekiston sharoitida bunday imkoniyatlarni bosqichma-bosqich joriy etish maqsadga muvofiq. Birinchi bosqichda vending shkafi naqd pul qabul qilish, mahsulot tanlash, motorni boshqarish va drop sensor orqali mahsulot tushishini tekshirish funksiyalariga ega bo‘lishi yetarli. Keyingi bosqichda QR to‘lov, karta orqali to‘lov, masofaviy monitoring, mahsulot qoldig‘ini ko‘rish, xatoliklar jurnalini yuritish va internet orqali hisobot olish funksiyalarini qo‘shish mumkin. Naqdsiz to‘lovlarda xavfsizlik, autentifikatsiya va himoya masalalari mobil to‘lov tizimlari bo‘yicha keng qamrovli tadqiqotlarda alohida tahlil qilingan [6].

Vending mashinalarining tarixiy rivojlanishi shuni ko‘rsatadiki, avtomatlashtirilgan savdo tizimlari jamiyatdagi xizmat ko‘rsatish madaniyati va texnologik imkoniyatlarga bog‘liq holda rivojlanib kelgan. Segrave tomonidan vending mashinalarining ijtimoiy-tarixiy rivojlanishi alohida kitob sifatida yoritilgan [7]. Quvayt va Germaniya tajribasi O‘zbekiston uchun amaliy asos bo‘la oladi, mahalliy loyiha uchun esa prujinali mexanizm eng maqbul boshlang‘ich yechim hisoblanadi.

Xulosa qilib aytganda, vending savdo shkaflarini O‘zbekiston sharoitida tatbiq qilish uchun dastlab prujinali mexanizmli, mikrokontroller asosida boshqariladigan, LCD display va keypad bilan jihozlangan, pul qabul qilish moduli hamda drop sensorli qurilma ishlab chiqish maqsadga muvofiq. Bunday qurilma o‘quv muassasalari, shifoxonalar, yotoqxonalar, aeroportlar, vokzallar va savdo markazlarida qo‘llanishi mumkin. Keyingi bosqichlarda esa IoT monitoring, naqdsiz to‘lov va predictive maintenance texnologiyalari qo‘shilsa, mahalliy vending tizimi yanada ishonchli va raqobatbardosh bo‘ladi.

5. Xulosa

Mazkur maqolada avtomatlashtirilgan vending savdo shkaflarining tarixiy rivojlanishi, mexanik va elektron tuzilishi hamda O‘zbekiston sharoitida tatbiq etish imkoniyatlari tahlil qilindi. Tadqiqotdan ko‘rinadiki, vending qurilmalari qadimgi mexanik tanga mexanizmlaridan boshlab, hozirgi kunda mikrokontroller, sensor, display, pul qabul qilish moduli va dasturiy algoritmlar bilan boshqariladigan mexatron tizim darajasiga yetgan.

Loyihada prujinali mahsulot uzatish mexanizmi mahalliy sharoit uchun eng maqbul yechim sifatida asoslandi. Bunday mexanizmning afzalligi uning arzonligi, konstruktiv soddaligi, ehtiyot qismlarining oson topilishi va servis ishlarining murakkab emasligidadir. Arduino Mega Pro Mini mikrokontrolleri asosidagi boshqaruv bloki, LCD display, keypad, pul qabul qilish qurilmasi va drop sensor birgalikda vending shkafining asosiy funksional qismlarini tashkil etadi.

Dasturiy boshqaruvni FSM yondashuvi asosida tashkil qilish vending qurilmasining ish jarayonini bosqichma-bosqich nazorat qilishga imkon beradi. Mahsulot tanlash, to‘lovni kutish, motorni ishga tushirish, mahsulot tushishini drop sensor orqali tasdiqlash va xatolik yuz berganda jarayonni to‘xtatish algoritmlari qurilma ishonchliligini oshiradi. Ayniqsa drop sensor mahsulot haqiqatda ajratilganini tekshirish orqali xaridor manfaatini himoya qiladi va vending apparatining noto‘g‘ri ishlash ehtimolini kamaytiradi.

Xulosa qilib aytganda, O‘zbekiston sharoitida dastlab prujinali mexanizmli, mikrokontroller orqali boshqariladigan, LCD display va keypad bilan jihozlangan, naqd pul qabul qilish va drop sensor nazoratiga ega vending savdo shkafini ishlab chiqish maqsadga muvofiqdir. Keyingi bosqichlarda QR to‘lov, karta orqali to‘lov, masofaviy monitoring, mahsulot qoldig‘ini nazorat qilish va IoT asosidagi servis diagnostikasini qo‘shish orqali qurilmani zamonaviy smart vending tizimi darajasiga olib chiqish mumkin.

Adabiyotlar

[1]. Monga A., Singh B. Finite State Machine Based Vending Machine Controller with Auto-Billing Features // International Journal on VLSI and Communication Systems. — 2012. — DOI: 10.5121/vlsic.2012.3202.

[2]. Hopcroft J.E., Motwani R., Ullman J.D. Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation. — 3rd ed. — Boston: Pearson/Addison-Wesley, 2006. — 535 p.

[3]. Mazidi M.A., Naimi S., Naimi S. The AVR Microcontroller and Embedded Systems: Using Assembly and C. — Upper Saddle River: Prentice Hall, 2011.

[4]. Ganssle J.G. The Art of Designing Embedded Systems. — 2nd ed. — Burlington: Newnes, 2008. — 312 p.

[5]. Hasan M.N. Predictive Maintenance Optimization for Smart Vending Machines Using IoT and Machine Learning. — arXiv:2507.02934. — 2025.

[6]. Dahlberg T., Guo J., Ondrus J. A critical review of mobile payment research // Electronic Commerce Research and Applications. — 2015. — Vol. 14, № 5. — P. 265–284. — DOI: 10.1016/j.elerap.2015.07.006.

[7]. Segrave K. Vending Machines: An American Social History. — Jefferson, NC: McFarland & Company, 2002. — 291 p.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

B.T. Tilavaldiev, N. Umaraliyev

Ферганский государственный технический университет
e-mail: baxtiyar.tilavaldiyev@fstu.uz
e-mail: Umaraliyev.N@fstu.uz

(Получена 06.04.2026 г.)

Аннотация. *В данной работе рассматриваются основные виды дефектов, возникающих при эксплуатации солнечных панелей, а также методы их выявления и диагностики. Особое внимание уделяется причинам возникновения дефектов, их влиянию на эффективность фотоэлектрических систем и современным способам мониторинга, включая использование беспилотных летательных*

аппаратов и тепловизионного контроля. Результаты исследования могут быть использованы для повышения надежности и эффективности солнечных электростанций.

Ключевые слова: *солнечные панели, дефекты, тепловизионный контроль, фотоэлектрические системы, диагностика, деградация.*

Annotatsiya. *Ushbu ishda quyosh panellaridan foydalanishda yuzaga keladigan asosiy nuqson turlari, shuningdek, ularni aniqlash va diagnostika qilish usullari ko‘rib chiqiladi. Nuqsonlarning kelib chiqish sabablari, ularning fotoelektrik tizimlar samaradorligiga ta’siri va zamonaviy monitoring usullari, jumladan, uchuvchisiz uchish apparatlari va issiqlik kuzatuvini qo‘llashga alohida e’tibor qaratilmoqda. Tadqiqot natijalaridan quyosh elektr stansiyalarining ishonchliligi va samaradorligini oshirishda foydalanish mumkin.*

Kalit so‘zlar: *quyosh panellari, nuqsonlar, teplovizual nazorat, fotoelektrik tizimlar, diagnostika, degradatsiya.*

Abstract. *This work examines the main types of defects that occur during the operation of solar panels, as well as methods for their detection and diagnosis. Special attention is paid to the causes of defects, their impact on the efficiency of photovoltaic systems, and modern monitoring methods, including the use of unmanned aerial vehicles and thermal imaging control. The research results can be used to enhance the reliability and efficiency of solar power plants.*

Keywords: *solar panels, defects, thermal imaging control, photoelectric systems, diagnostics, degradation.*

Введение: С развитием возобновляемой источников энергетики (ВИЭ), солнечные панели становятся одним из ключевых источников электроэнергии. Однако при эксплуатации фотоэлектрических систем нередко возникают различные дефекты, которые могут существенно снизить их эффективность и срок службы [1]

Дефекты могут быть вызваны как ошибками монтажа, так и внешними факторами — климатическими условиями, механическими повреждениями или эксплуатационными нагрузками. Поэтому своевременное выявление и анализ дефектов является важной задачей для обеспечения стабильной работы солнечных электростанций.

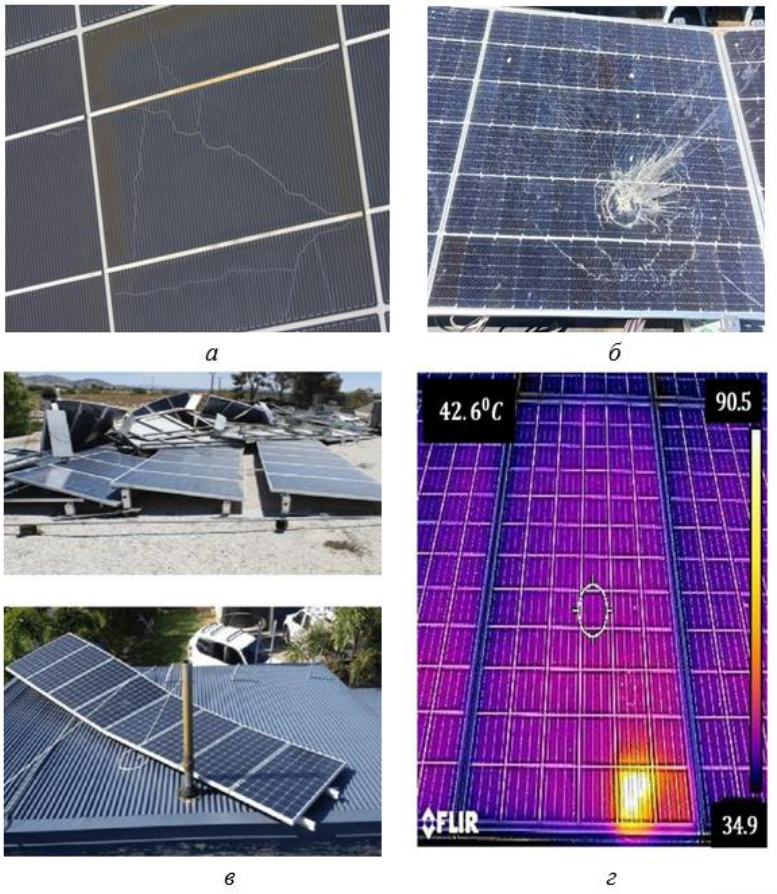


Рис.1. Механические дефекты солнечных панелей.

Основные виды дефектов солнечных панелей. При эксплуатации солнечных панелей могут возникать следующие основные типы дефектов:

Механические дефекты солнечных панелей возникают из-за внешних физических воздействий, ошибок при транспортировке, монтаже или нарушения целостности материалов со временем. Они напрямую влияют на снижение эффективности (деградацию) и могут привести к выходу панели из строя [2], эти дефекты следующие:

-трещины на поверхности стекла;

-микротрещины в кремниевых элементах;

-деформация рамки панели.

Механические дефекты солнечных панелей показаны на рисунке – 1.

а – микротрещины солнечных панелей, *б* - трещины на поверхности стекла, *в* - деформация рамки панели, *г* - Hot Spot (горячая точка) на солнечной панели или Тепловой дефект солнечной панели.

Эти дефекты часто возникают из-за внешних физических воздействий, повреждение при транспортировке и во время установки или разрушения целостности материалов со временем. Они напрямую влияют на снижение эффективности (деградацию) и могут привести к выходу панели из строя.

Электрические дефекты солнечных панелей:

-плохой контакт в соединениях;

-обрыв цепи;

-короткое замыкание;

-деградация p-n перехода.

Электрические дефекты солнечных панелей показаны на рисунке 2.

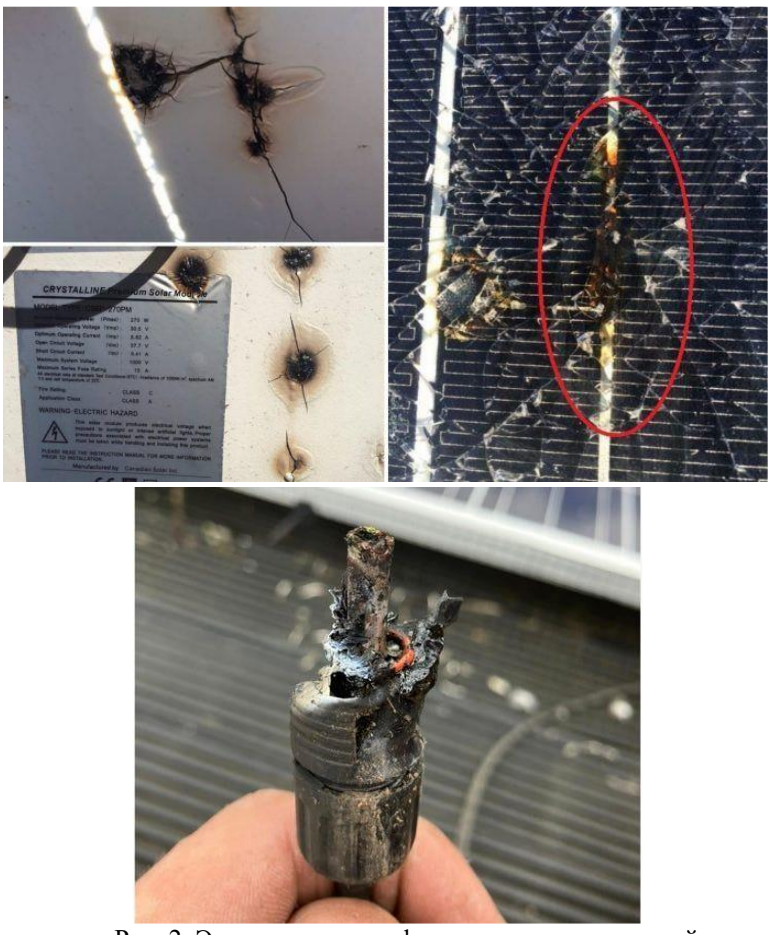


Рис. 2. Электрические дефекты солнечных панелей.

Эти дефекты солнечных панелей приводят к снижению КПД, перегреву и выходу из строя модулей. Основные проблемы включают «горячие точки» (hot spots) из-за локального перегрева, деградацию (PID/LID), микротрещины ячеек, неисправности байпасных диодов и замыкания в распределительной коробке, что снижает выработку энергии [4].

Одной из наиболее распространенных проблем являются так называемые горячие точки (hot spots), возникающие при неравномерной нагрузке или затенении.

Дефекты, вызванные от окружающей средой на солнечных панелях:

-загрязнение поверхности (пыль, песок);

-воздействие влаги;

-коррозия контактов;

-ультрафиолетовая деградация.

Эти дефекты приводить к физическим или химическим изменениям, снижающие эффективность (КПД) солнечных панелей и срок службы. Основные факторы воздействия включают экстремальные температуры, влажность, механические нагрузки и загрязнения.

Причины возникновения дефектов на солнечных панелях. Основные причины можно разделить на несколько групп:

Один из основных дефектов является, ошибка при монтаже солнечных панелей. Это включают установку в затененных местах, неверный угол наклона и ориентацию, недостаточную вентиляцию (перегрев), слабые крепления, ошибки в подборе кабелей и отсутствие защиты. Эти ошибки снижают выработку электроэнергии, вызывают деградацию панелей и могут привести к пожару.

Влияние климатических факторов на солнечные панели. Климатические факторы оказывают критическое влияние на производительность солнечных панелей: высокая температура снижает КПД, облачность уменьшает генерацию до 10-15% в пасмурную

погоду, а снег и загрязнения полностью блокируют работу. Оптимальные условия — прохладная, солнечная погода, так как перегрев (свыше 25 ºС) пагубно влияет на выработку электроэнергии. К климатическим факторам влияющих на солнечные панели относиться:

-резкие перепады температуры;
-высокая влажность;
-сильный ветер;
-пылевые бури (актуально для регионов Центральной Азии).

Эксплуатационные факторы играют ключевую роль в фактической выработке электроэнергии солнечными панелями, часто определяя разницу между теоретической мощностью и реальными показателями (Performance Ratio). В настоящие время, несмотря на совершенствование технологий (TOPCon, HJT, перовскиты), эти факторы остаются критическими:

-длительная эксплуатационная нагрузка;
-отсутствие регулярного обслуживания;
-механические повреждения.

Методы диагностики дефектов солнечных панелей.

Визуальный осмотр солнечных панелей - это первичный метод диагностики, позволяющий выявить трещины, царапины, расслоение (делинацию), потемнения (hotspots), пузыри, коррозию или деформацию рамы. Необходимо проверять целостность стекла, чистоту поверхности и надежность креплений. Регулярный осмотр помогает предотвратить снижение эффективности генерации.

Электрические измерения солнечных панелей. Диагностика дефектов солнечных панелей путем измерения напряжения — это базовый и эффективный метод первичной проверки, позволяющий выявить неисправности модулей, цепочек (стрингов) или компонентов системы.

Основными методами являются измерение напряжения холостого хода (U_{xx} или V_{oc}) и, при необходимости, рабочей нагрузки:

-измерение тока короткого замыкания;
-измерение напряжения холостого хода;
-анализ вольт - амперной характеристики (ВАХ).

С этим методом определяется снижение эффективности панели.

Основные электрические характеристики солнечных панелей. Для оценки технического состояния и выявления дефектов солнечных панелей используются основные электрические параметры, определяемые по вольт - амперной характеристике (ВАХ).

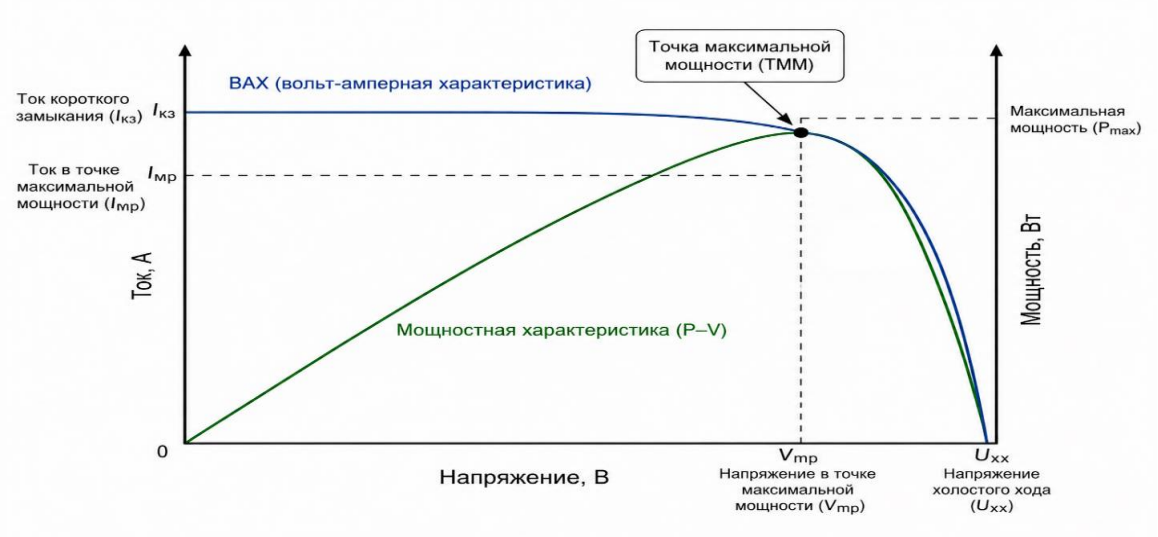


Рис. 3. ВАХ (вольт амперная характеристика солнечных панелей).

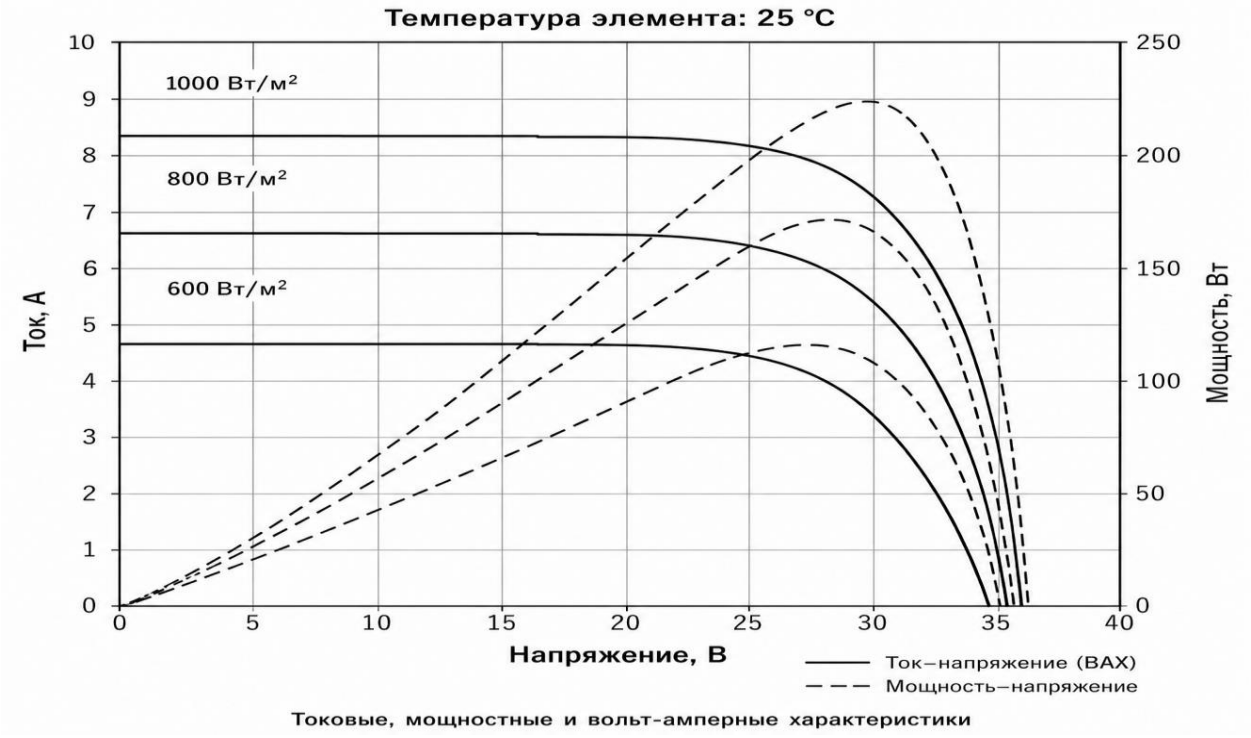


Рис.4. Токовые, мощностные и вольт - амперные характеристики солнечных панелей.

ВАХ солнечного элемента описывает зависимость тока от напряжения и является основным инструментом диагностики.

Ключевые параметры:

-ток короткого замыкания $I_{кз}$;

-напряжение холостого хода U_{xx};

-точка максимальной мощности P_{max}.

Максимальная мощность солнечного элемента. Максимальная мощность определяется как произведение тока и напряжения в точке максимальной мощности:

$$P_{max}=U_m \cdot I_m$$

где: U_m — напряжение в точке максимальной мощности, В; I_m — ток в точке максимальной мощности, А.

Данный параметр является ключевым при оценке эффективности панели. Снижение P_{max} свидетельствует о наличии дефектов.

Коэффициент полезного действия (КПД) солнечного элемента определяется отношением выходной мощности к падающей солнечной энергии:

$$\eta=P_{max}P_{in} \cdot 100\%$$

где: P_{in} — мощность падающего солнечного излучения, Вт.

Снижение КПД является индикатором деградации или наличия дефектов.

Коэффициент заполнения (Fill Factor). Коэффициент заполнения показывает качество солнечного элемента и определяется как:

$$F=P_{max}U_{xx} \cdot I_{кз}$$

где: U_{xx} — напряжение холостого хода, В;

$I_{кз}$ — ток короткого замыкания, А.

Низкое значение F указывает на наличие дефектов, таких как - внутренние сопротивления, повреждение контактов, деградация структуры элемента.

Тепловизионный контроль солнечных панелей — это метод неразрушающего контроля, позволяющий выявлять скрытые дефекты, такие как горячие точки (hotspots), неисправные ячейки, повреждения диодов или проблемы с проводкой. Использование тепловизоров и дронов позволяет быстро диагностировать станцию, повышая её эффективность и безопасность.

Преимущества:

-высокая точность;

-возможность дистанционного анализа;

-быстрое обследование больших площадей.

Использование дронов (БПЛА) для диагностики дефектов солнечных панелей - это современный, высокоэффективный метод обслуживания солнечных электростанций (СЭС), основанный на автоматизированном сборе данных.

Современные системы диагностики активно используют беспилотные летательные аппараты с установленными аппаратурами:

-тепловизорами;

-камерами высокого разрешения;

-датчиками температуры и освещенности.

В настоящие время, для диагностики дефектов солнечных панелей широко применяются беспилотные летательные аппараты (дроны), оснащённые тепловизорами. Данный метод позволяет выявлять температурные аномалии (hot-spot), возникающие вследствие дефектов, таких как трещины, деградация и неисправности соединений. В отличие от традиционных методов (например, снятия ВАХ), термография обеспечивает быстрый и неразрушающий контроль больших площадей солнечных электростанций [1–5].
Это особенно эффективно для крупных солнечных электростанций.

Влияние дефектов на эффективность системы работы солнечных панелей. Дефекты солнечных панелей оказывают существенное влияние на общую эффективность, производительность и срок службы системы солнечного энергоснабжения. Они могут привести к снижению выработки электроэнергии, локальному перегреву и даже выходу из строя целых участков.

Дефекты могут привести к следующим последствиям:

-снижение выходной мощности до 20–40%;

-увеличение потерь энергии;

-перегрев и повреждение элементов;

-сокращение срока службы панели.

Особенно опасны горячие точки, которые могут привести к разрушению модуля.

Методы предотвращения дефектов солнечных панелей. Предотвращение дефектов солнечных панелей включает правильный монтаж (углы наклона, вентиляция), регулярную очистку, использование качественных компонентов (защита от PID) и защиту от физических воздействий (град, животные).

Ключевыми мерами являются контроль влажности (ламинирование) и защита от перегрева для снижения деградации.

Для минимизации дефектов необходимо:

-использовать качественное оборудование;

-соблюдать технологию монтажа;

-проводить регулярное техническое обслуживание;

-очищать панели от загрязнений;

-применять системы мониторинга.

Перспективы развития диагностики солнечных панелей. Перспективы развития диагностики солнечных панелей связаны с переходом от периодических ручных проверок к автоматизированному, непрерывному мониторингу на базе искусственного интеллекта и беспилотных систем.

Цель — повышение эффективности (КПД может превышать 24-30% с новыми материалами), снижение эксплуатационных расходов и продление срока службы.

Современные технологии позволяют значительно улучшить процесс выявления дефектов:

-применение искусственного интеллекта для анализа изображений;

-автоматизированные системы мониторинга;

-интеграция IoT-датчиков;

-использование спутниковых данных.

Эти решения позволяют выявлять дефекты на ранних стадиях и предотвращать серьезные повреждения.

Заключение: Определение дефектов, возникающих при эксплуатации солнечных панелей, является важной задачей для повышения эффективности и надежности фотоэлектрических систем.

Комплексный подход, включающий визуальный осмотр, электрические измерения и тепловизионный контроль, позволяет своевременно выявлять проблемы и предотвращать их развитие.

Анализ параметров ВАХ позволяет эффективно выявлять дефекты солнечных панелей. Особенно информативными являются изменения максимальной мощности, коэффициента полезного действия и коэффициента заполнения, которые напрямую отражают техническое состояние фотоэлектрического модуля.

Использование современных технологий, таких как (БПЛА) дроны и системы автоматического мониторинга, открывает новые возможности для повышения эффективности солнечной энергетики.

Список литературы

[1]. Green M.A. Solar Cells: Operating Principles, Technology, and System Applications.
[2]. Messenger R., Ventre J. Photovoltaic Systems Engineering.
[3]. Skoplaki E., Palyvos J.A. On the temperature dependence of photovoltaic module efficiency.
[4]. International Energy Agency (IEA). Photovoltaic Power Systems Programme Reports.
[5]. Barbón A., Ghodbane M., Bayón L., Said Z. A general algorithm for the optimization of photovoltaic modules layout on irregular rooftop shapes // Journal of Cleaner Production. — 2022.

TIBBIYOTDA REABILITATSIYA JARAYONIDA QO‘LLASH UCHUN MINI EKZOSKLET

N.Yu. Mamasodiqova, G.X. Tursunaliyeva

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
nodiramamasodikova@gmail.com , tursunaliyevaguli75@gmail.com
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada reabilitatsiya jarayonida qo‘llaniladigan mini ekzoskelet qurilmalarining texnologik xususiyatlari va amaliy ahamiyati tahlil qilinadi. Tadqiqot davomida ekzoskeletlarning inson harakat faoliyatini tiklashdagi o‘rni, ayniqsa yurish funksiyasini qayta tiklashdagi samaradorligi ko‘rib chiqildi. Mini va yumshoq ekzoskeletlarning konstruktsiyasi, boshqaruv tizimlari hamda sensorlar asosida ishlash prinsiplari tahlil qilindi. Shuningdek, sun’iy intellekt algoritmlarining ekzoskelet boshqaruvidagi roli, harakatni optimallashtirish va foydalanuvchiga moslashuv imkoniyatlari yoritildi. Tadqiqot natijalari mini ekzoskeletlar reabilitatsiya samaradorligini oshirishi, bemorlarning mustaqil harakatlanish qobiliyatini tiklashga yordam berishini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, qurilmalar narxi, texnik murakkabligi va infratuzilma bilan bog‘liq muammolar ushbu texnologiyani keng joriy etishda muhim to‘siq bo‘lib qolmoqda.*

Kalit so‘zlar: *mini ekzoskelet, reabilitatsiya, robototexnika, yurishni tiklash, sun’iy intellekt, wearable qurilmalar.*

Аннотация. *В данной статье рассматриваются технологические особенности и практическое значение мини-экзоскелетов, применяемых в процессе реабилитации. В ходе исследования анализируется роль экзоскелетов в восстановлении двигательной активности человека, особенно функции ходьбы. Рассмотрены конструктивные особенности мини и мягких (soft) экзоскелетов, их системы управления и принципы работы на основе сенсоров. Особое внимание уделено роли алгоритмов искусственного интеллекта в управлении экзоскелетами, оптимизации движений и адаптации к пользователю. Результаты исследования показывают, что мини-*

экзоскелеты повышают эффективность реабилитации и способствуют восстановлению самостоятельного передвижения пациентов. Вместе с тем, высокая стоимость устройств, техническая сложность и ограниченная инфраструктура остаются основными препятствиями для их широкого внедрения.

Ключевые слова: *мини-экзоскелет, реабилитация, робототехника, восстановление ходьбы, искусственный интеллект, носимые устройства.*

Abstract. *This article examines the technological features and practical significance of mini exoskeletons used in rehabilitation processes. The study analyzes the role of exoskeletons in restoring human motor functions, particularly gait recovery. The design aspects of mini and soft exoskeletons, their control systems, and sensor-based operation principles are discussed. Special attention is given to the role of artificial intelligence algorithms in exoskeleton control, motion optimization, and user adaptation. The results indicate that mini exoskeletons improve rehabilitation efficiency and enhance patients' ability to regain independent mobility. However, high cost, technical complexity, and limited infrastructure remain significant challenges for their widespread implementation.*

Keywords: *mini exoskeleton, rehabilitation, robotics, gait recovery, artificial intelligence, wearable devices.*

Kirish

So‘nggi yillarda sog‘liqni saqlash tizimida reabilitatsiya yo‘nalishi alohida ahamiyat kasb etib, inson harakat faoliyatini tiklashga qaratilgan texnologiyalarni rivojlantirish zaruriyati ortib bormoqda. Hozirgi vaqtda tibbiyotda innovatsion texnologiyalarini qo‘llash orqali tez va oson, samarali reabilitatsiya qilish muhim masalalardan biriga aylangan. [1]. Ayniqsa, harakat faoliyati buzilgan bemorlarni qayta tiklashda robotlashtirilgan mini ekzoskeletlardan foydalanish samarali natijalarni bermoqda [2]. Insult, orqa miya shikastlanishi va nevrologik kasalliklardan keyingi tiklanish jarayonida bemorlarning mustaqil harakat qilish qobiliyatini qayta shakllantirish muhim vazifa hisoblanadi. Ushbu qurilmalar nevrologik hamda ortopedik kasalliklarga ega insonlarning kundalik harakatlarini yengillashtirishga xizmat qiladi [3]. An’anaviy reabilitatsiya usullari ma’lum darajada samarali bo‘lsa-da, ularning imkoniyatlari ko‘pincha vaqt, jismoniy resurslar va individual yondashuvning yetishmasligi bilan cheklanadi. Shu sababli, zamonaviy texnologik yechimlar asosida ishlab chiqilgan qurilmalar, xususan ekzoskelet tizimlariga bo‘lgan ehtiyoj ortib bormoqda.

Ekzoskeletlar - bu inson tanasiga tashqi tomondan o‘rnatiladigan va harakatni qo‘llab-quvvatlash yoki tiklashga xizmat qiluvchi mexatronik qurilmalar bo‘lib, ular reabilitatsiya jarayonida yangi imkoniyatlarni ochib bermoqda (1-rasm).

1-rasm. Ekzoskelet.

2-rasm. Mini ekzoskelet tibbiy reabilitatsiya jarayonida qo‘llanishi.

Mini ekzoskelet inson tanasining ma’lum qismiga o‘rnatilib, mushak va bog‘im harakatlarini qo‘llab-quvvatlovchi mexanik-elektron tizim hisoblanadi [4] (2-rasm). Qurilma sensorlar, mikroprotsessor va elektr motorlar orqali boshqariladi. Bu o‘rnatilgan sensorlar inson harakatini aniqlab, zarur vaqtda mexanik yordam beradi [5]. Asosan qo‘l barmoqlari,bilak yoki tizza bo‘g‘imlarining harakatini tiklashga yordam beradi. Mini ekzoskeletlar faqat nogironlar uchun emas. Mini ekzoskeletlar insult, falajlik, orqa miya shikastlanishi hamda sport jarohatlaridan keyingi tiklanish jarayonlarida keng qo‘llaniladi [1]. Ushbu qurilmalar yordamida bemor asta-sekin mustaqil yurishga moslashadi va mushak faolligi

tiklanadi [3]. Ularni sog‘lom insonlar ham uzoq vaqt tik turib ishlashda charchoqni kamaytirish uchun kiyadi. Dastlab yirik va murakkab konstruksiyaga ega bo‘lgan ushbu tizimlar hozirgi kunda miniaturizatsiya jarayonidan o‘tib, yanada ixcham, bemor uchun qulay, ko‘tarish uchun yengil va hamma insonlar uchun mos shaklda ishlanmoqda. Natijada mini ekzoskeletlar deb atalayotgan yangi turdagi qurilmalar shakllanib, ular bemorning,insonlarning tabiiy harakatiga moslashgan holda ishlash imkoniyatiga ega bo‘lmoqda.

Mini ekzoskeletlar bemorning psixologik holatiga ham ijobiy ta’sir ko‘rsatadi va mustaqil harakatlana olishini his qiladi shu haqidagi fikrlari insonning o‘ziga bo‘lgan ishonchini oshiradi [4].

Zamonaviy mini ekzoskeletlarning afzalligi ularning ergonomik dizayni, energiya samaradorligi va moslashuvchan boshqaruv tizimlarida namoyon bo‘ladi. Bunday qurilmalar inson mushaklari faoliyatini qisman o‘z zimmasiga olib, harakatni qo‘llab-quvvatlaydi hamda reabilitatsiya jarayonini tezlashtirishga yordam beradi.

Ayniqsa, yumshoq ekzoskeletlar inson tanasiga zarar yetkazmasdan, tabiiy biomekanik harakatni saqlab qolish imkonini beradi.

Bu esa bemor uchun qulaylikni oshirib, uzoq muddatli foydalanishga sharoit yaratadi. Bemor uchun qulaylik, uzoq muddatli foydalanishdan tashqari, sensor texnologiyalari va sun’iy intellekt algoritmlarining rivojlanishi mini ekzoskeletlarning funksional imkoniyatlarini yanada kengaytirmoqda. Qurilma foydalanuvchining harakatini tahlil qilib, unga moslashgan holda ishlaydi va reabilitatsiya jarayonida individuallashtirish muhim hisoblanadi [5]. Chunki har bir bemorning jismoniy holati, harakatlanish darajasi va tiklanish ehtiyoji bir-biridan farq qiladi. Shu sababli mini ekzoskelet qurilmalarini bemorning individual xususiyatlariga moslashtirish davolash samaradorligini oshiradi. Individuallashtirilgan yondashuv mushak faoliyatini yaxshilash uchun, harakatni tiklash uchun va bemorning kundalik hayotga tezroq moslashishiga yordam beradi.

Shu bilan birga, mini ekzoskeletlarni amaliyotga keng joriy etish jarayonida ayrim muammolar ham mavjud. Qurilmalar narxining yuqoriligi, texnik murakkablik va infratuzilma yetishmasligi ularni ommaviy qo‘llashni cheklovchi omillar sifatida namoyon bo‘lmoqda. Ayniqsa, rivojlanayotgan mamlakatlarda bu muammolar yanada yaqqol ko‘zga tashlanadi.

Mazkur maqolaning maqsadi reabilitatsiya jarayonida qo‘llaniladigan mini ekzoskeletlarning texnologik xususiyatlarini tahlil qilish, ularning amaliy samaradorligini baholash hamda ushbu yo‘nalishdagi muammolar va istiqbollarni aniqlashdan iborat. Tadqiqot davomida mavjud ilmiy manbalar asosida mini ekzoskeletlarning reabilitatsiyadagi o‘rni va ahamiyati kompleks tarzda o‘rganiladi.

Reabilitatsiya jarayonida qo‘llaniladigan ekzoskelet tizimlari bo‘yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar so‘nggi yillarda sezilarli darajada kengayib, ushbu yo‘nalishning nazariy va amaliy asoslari shakllanib bormoqda. Mavjud adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, ekzoskelet texnologiyalari dastlab mexanik yordamchi vosita sifatida qaralgan bo‘lsa, hozirgi kunda ular murakkab boshqaruv tizimlariga ega bo‘lgan intellektual qurilmalarga aylangan. Ilmiy ishlarda ekzoskeletlar asosan inson harakat faoliyatini qo‘llab-quvvatlash va tiklashga xizmat qiluvchi tizim sifatida talqin etiladi [5]. Pastki oyoq uchun mo‘ljallangan ekzoskeletlar hozirgi kunda yurish funksiyasini tiklashda keng qo‘llanilmoqda.

Tadqiqotlar natijalari bunday qurilmalar yordamida bemorlarning mushak faolligi oshishi, muvozanatni saqlash qobiliyati yaxshilanishi va harakat koordinatsiyasi tiklanishini namoyon qiladi. Ekzoskeletlardan foydalanish reabilitatsiya jarayonini tizimli va xavfsiz shaklga keltirib, nogironlar aravachasiga bog‘lanib qolgan insonlarga yana o‘z oyoqlari bilan qadam tashlash va hattoki og‘ir jarohatlardan keyin ham ijobiy natija beradi.

So‘nggi ilmiy yondashuvlarda mini va yumshoq ekzoskeletlar alohida e’tiborga olinmoqda. Ularning asosiy ustunligi - inson tanasiga moslashuvchanligi va tabiiy harakatni cheklamasligidir. Bunday qurilmalar an’anaviy qattiq konstruksiyalarga nisbatan yengilroq bo‘lib, bemor tomonidan uzoq muddat foydalanish uchun qulaylik yaratadi [5]. Tadqiqotlarda yumshoq materiallar asosida ishlab chiqilgan ekzoskeletlar mushaklar bilan uyg‘un ishlashi va ortiqcha yuklama bermasligi bilan ajralib turishi qayd etiladi.

Adabiyotlarda ekzoskeletlarning samaradorligi ko‘p jihatdan ularning boshqaruv tizimiga

bog‘liqligi ta’kidlanadi. Zamonaviy qurilmalarda sensorlar orqali foydalanuvchining harakatlari aniqlanadi va ushbu ma’lumotlar asosida qurilma avtomatik tarzda moslashadi [4].

Ayrim bir tadqiqotlarda elektromiografik signallar asosida mushak faolligini aniqlash va shu orqali qurilmani boshqarish usullari taklif etilgan. Bu esa reabilitatsiya jarayonini yanada individuallashtirish imkonini beradi.

Shu jumladan, ilmiy manbalarda sun’iy intellekt texnologiyalarining ekzoskelet tizimlariga integratsiyasi muhim yo‘nalish sifatida ko‘rib chiqilmoqda. AI algoritmlari yordamida foydalanuvchining harakatini bashorat qilish, energiya sarfini optimallashtirish va qurilmaning samaradorligini oshirish imkoniyati mavjud [2]. Bu esa nafaqat harakatni qo‘llab-quvvatlash, balki reabilitatsiya jarayonining sifatini oshirishga xizmat qiladi.

Mahalliy tadqiqotlar tahlili esa reabilitatsiya robototexnikasi yo‘nalishi endigina rivojlanayotganini ko‘rsatadi. Ba’zi ilmiy ishlarda ekzoskeletlarning nazariy asoslari va ularni qo‘llash imkoniyatlari yoritilgan bo‘lsa-da, amaliy qurilmalar ishlab chiqish va joriy etish borasida hali yetarli natijalarga erishilmagan. Bu esa mazkur yo‘nalishda ilmiy-tadqiqot ishlarini kuchaytirish zarurligini ko‘rsatadi. Umuman olganda, mavjud adabiyotlar tahlili mini ekzoskeletlar reabilitatsiya jarayonida muhim vosita sifatida shakllanib borayotganini tasdiqlaydi [5]. Ularning samaradorligi, ayniqsa, inson harakatini tiklash, bemorning mustaqilligini oshirish va davolash jarayonini tezlashtirishda namoyon bo‘ladi. Shu bilan birga, texnik va tashkiliy muammolarni hal etish ushbu texnologiyalarning keng qo‘llanilishida muhim omil hisoblanadi.

Tadqiqot usullari

Mazkur ilmiy izlanishning ustuvor maqsadi - reabilitatsiya jarayonlarida innovatsion ekzoskelet texnologiyalarini tatbiq etishning tizimli va funksional jihatlarini tadqiq qilish hamda ularning samaradorlik ko‘rsatkichlarini ilmiy asoslashdan iborat [4]. Tadqiqot doirasida ushbu qurilmalarning turli darajadagi jismoniy nuqsonlarni bartaraf etishdagi o‘rni, shuningdek, ularning ijtimoiy-iqtisodiy afzalliklari kompleks ravishda o‘rganildi. Bu esa o‘z navbatida, zamonaviy tibbiyotda robototexnik tizimlarning strategik ahamiyatini belgilab berishga xizmat qiladi. Nazariy asoslar va xalqaro tajriba tahlili izlanishning dastlabki bosqichida jahon miqyosidagi reabilitatsiya robototexnikasi sohasidagi mavjud tendensiyalar va fundamental ilmiy adabiyotlar tanqidiy tahlil qilindi [5]. Jarayon davomida ekzoskeletlarning konstruktiv o‘ziga xosliklari, ularning biomexanik ishlash tamoyillari va asosiy funksional algoritmlari chuqur o‘rganildi [2]. Shuningdek, jahon bozoridagi yetakchi texnologik brendlar tomonidan ishlab chiqilgan qurilmalarning o‘zaro qiyosiy tahlili amalga oshirilib, ularning texnik ustunliklari va kamchiliklari klassifikatsiyalandi. Mini-ekzoskeletlarning konstruktiv va tizimli tarkibi va keyingi bosqichda mini-ekzoskeletlarning ishlash mexanizmi va ularning tarkibiy elementlari detallariga qadar tadqiq etildi [3]. Ushbu bosqichda qo‘llanilgan kompleks yondashuv nazariy farazlarni amaliy tajribalar bilan uyg‘unlashtirish imkonini berdi. Qurilmaning texnik arxitekturasi quyidagi asosiy komponentlardan tashkil topgan:

1. Mexanik korpus. 2. Antropometrik ko‘rsatkichlarga moslashuvchan tashqi karkas. 3.Intellektual boshqaruv tizimi. 4. Harakatlarni koordinatsiya qiluvchi mikrokontrollerlar. 5. Sensorli datchiklar majmuasi. 6. Real vaqt rejimida qayta aloqani ta’minlovchi datchiklar tarmog‘i.

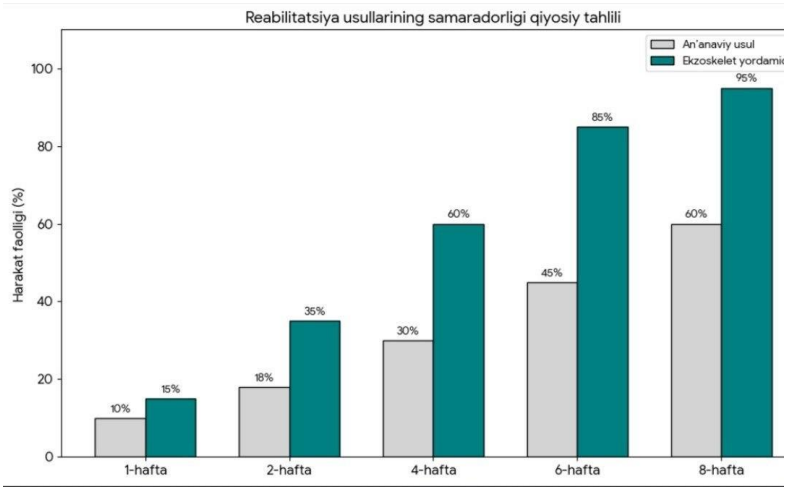
Ushbu komponentlarning o‘zaro uyg‘unlikda ishlashi va dasturiy ta’minot bilan integratsiyalashuvi tizimning umumiy unumdorligini belgilovchi fundamental omil sifatida e’tirof etildi. Eksperimental natijalar va samaradorlik bahosi tadqiqotning yakuniy qismida ishlab chiqilgan mini-ekzoskelet modelining operatsion imkoniyatlarini baholashga qaratilgan eksperimentlar o‘tkazildi. Bunda asosiy e’tibor qurilmaning barqarorlik ko‘rsatkichlari, energiya samaradorligi va harakat trayektoriyasining aniqligiga qaratildi.

Eksperimental natijalar shuni tasdiqladiki, taklif etilayotgan model nafaqat yuqori texnik chidamlilikka ega, balki bemorlarning fiziologik holatiga moslashish xususiyati bilan ham ajralib turadi. Ushbu ilmiy izlanish natijalari reabilitatsiya sohasidagi mavjud muammolarni bartaraf etishda yangicha texnologik yechimlarni taklif etadi. Tadqiqot davomida shakllantirilgan xulosalar kelgusida yanada mukammalroq va iqtisodiy jihatdan hamyonbop ekzoskelet modellarini yaratish uchun mustahkam ilmiy-metodik zamin bo‘lib xizmat qiladi.

Mazkur tadqiqotda amaliy sinovlar o‘tkazilmagan bo‘lsada, mavjud ilmiy natijalar asosida nazariy model ishlab chiqildi va u orqali mini ekzoskeletlarning reabilitatsiyadagi samaradorligi asoslab berildi. Bu metodologiya keyingi bosqichlarda amaliy tadqiqotlar o‘tkazish va real qurilmalarni sinovdan o‘tkazish uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi. Reabilitatsiyada eng muhim narsa qurilma emas, fizioterapevt bilan birgalikdagi mashqlar. Ekzoskelet faqat yordamchi vosita hisoblanadi.

Natijalar va muhokama

Tadqiqot davomida mini ekzoskeletlarning reabilitatsiya jarayonidagi qo‘llanilishi nazariy va amaliy manbalar asosida tahlil qilinib, bir qator muhim natijalar aniqlandi. Olingan natijalar ushbu qurilmalar inson harakat faoliyatini tiklashda samarali vosita bo‘lib xizmat qilishini ko‘rsatadi.



2-rasm. Tiklanish jarayonining statistik natijalari.

Birinchidan, mini ekzoskeletlardan foydalanish bemorlarning yurish funksiyasini tiklashda sezilarli ijobiy ta’sir ko‘rsatishi aniqlangan [1]. Qurilma yordamida bemorning oyoq harakatlari mexanik va avtomatik tarzda qo‘llab-quvvatlanadi, bu esa mushaklarning qayta faollashishiga yordam beradi. Natijada, reabilitatsiya jarayoni tezlashadi va bemorning mustaqil harakatlanish qobiliyati bosqichma-bosqich tiklanadi.

Ikkinchidan, mini ekzoskeletlarning qo‘llanilishi mushaklar faoliyatini muvozanatli ravishda rivojlantirishga xizmat qilishi kuzatildi [3]. Qurilma orqali beriladigan yuklama nazorat qilinadi va bu mushaklarga ortiqcha zo‘riqish tushishining oldini oladi. Shu bilan birga, harakatlar takroriy va tizimli tarzda bajarilgani sababli reabilitatsiya jarayonining samaradorligi oshadi.

Uchinchidan, sensorlar va boshqaruv tizimlari bilan jihozlangan mini ekzoskeletlar foydalanuvchining harakatiga moslashish imkoniyatiga ega ekanligi aniqlandi [4]. Qurilma real vaqt rejimida foydalanuvchi harakatini tahlil qilib, unga mos ravishda ishlaydi. Bu esa harakatning tabiiyligini saqlab qolishga va bemor uchun qulaylikni oshirishga xizmat qiladi.

To‘rtinchidan, mini ekzoskeletlarning yengil va ergonomik dizayni ularni uzoq muddat foydalanish uchun qulay qiladi [3]. An’anaviy yirik ekzoskeletlarga nisbatan mini variantlar bemorga kamroq noqulaylik tug‘diradi va kundalik hayotda ham qo‘llash imkonini beradi. Bu esa reabilitatsiya jarayonini faqat tibbiy muassasalar bilan cheklab qo‘ymasdan, uy sharoitida ham davom ettirish imkonini beradi.

Shu bilan birga, tadqiqot natijalari ayrim cheklovlarni ham ko‘rsatdi. Jumladan, qurilmalar narxining yuqoriligi ularni keng ommaga joriy etishni qiyinlashtiradi. Bundan tashqari, energiya manbasi bilan bog‘liq muammolar, qurilmaning ishlash vaqtini cheklashi mumkin. Ayrim hollarda esa qurilmaning foydalanuvchiga to‘liq moslashmasligi reabilitatsiya samaradorligiga ta’sir ko‘rsatadi.

Umuman olganda, olingan natijalar mini ekzoskeletlar reabilitatsiya jarayonida yuqori samaradorlikka ega ekanligini tasdiqlaydi. Ular nafaqat harakatni tiklashga yordam beradi, balki bemorning hayot sifatini yaxshilashga ham xizmat qiladi [1].

Olingan natijalar mini ekzoskeletlarning reabilitatsiya jarayonidagi o‘rni sezilarli darajada ortib borayotganini ko‘rsatadi. Jumladan harakat faoliyatini tiklash bilan bog‘liq muammolarda ushbu qurilmalar an’anaviy usullarga nisbatan samaraliroq natijalar berishi mumkin. Biroq, bu natijalarni chuqurroq tahlil qilish ularning amaliy qo‘llanishida bir qator muhim omillarni hisobga olish zarurligini ko‘rsatadi.

Avvalo, mini ekzoskeletlarning samaradorligi ularning konstruktsiyasi va boshqaruv tizimiga bevosita bog‘liq [3]. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, qurilma qanchalik yengil va

moslashuvchan bo‘lsa, bemorning tabiiy harakatiga shunchalik kam to‘sqinlik qiladi. Shu sababli, zamonaviy yondashuvlarda qattiq mexanik tuzilmalardan ko‘ra yumshoq va ergonomik dizaynga ega ekzoskeletlarga ustunlik bermoqda. Bu esa bemorlarning qurilmaga tez moslashishini va reabilitatsiya jarayonining uzluksiz davom etishini ta’minlaydi.

Natijalarni boshqa ilmiy tadqiqotlar bilan solishtirganda, mini ekzoskeletlarning samaradorligi ko‘pincha individual yondashuv bilan bog‘liqligi aniqlanadi. Har bir bemorning fiziologik holati, kasallik darajasi va tiklanish bosqichi turlicha bo‘lgani sababli, universal yechim mavjud emas. Shu bois, qurilmalarni individuallashtirish, ya’ni foydalanuvchiga moslab sozlash muhim ahamiyat kasb etadi. Bu jarayonda sensorlar va sun’iy intellekt texnologiyalarining o‘rni alohida e’tiborga loyiq.

Bundan tashqari, mini ekzoskeletlarning keng joriy etilishi iqtisodiy va texnik omillar bilan ham bog‘liq. Qurilmalar narxining yuqoriligi ularni ommaviy qo‘llashni cheklovchi asosiy sabab sifatida namoyon bo‘lmoqda. Texnik xizmat ko‘rsatish, energiya ta’minoti va mutaxassislar tayyorlash kabi masalalar ham muhim rol o‘ynaydi. Rivojlangan davlatlarda bu muammolar qisman hal etilgan bo‘lsa-da, rivojlanayotgan mamlakatlarda ular hali dolzarbligicha qolmoqda.

Axborot texnologiyalari bilan integratsiya masalasi ham muhokama jarayonida muhim o‘rin egallaydi. Mini ekzoskeletlar ko‘pincha sensorlar va dasturiy tizimlar bilan birgalikda ishlaydi, bu esa ma’lumotlarni yig‘ish va tahlil qilish imkonini beradi [1]. Bu ma’lumotlar asosida reabilitatsiya jarayonini optimallashtirish mumkin. Biroq, bu bilan bog‘liq ravishda ma’lumotlar xavfsizligi va maxfiylik masalalariga ham alohida e’tibor qaratish zarur.

Shuningdek, etik jihatlar ham e’tibordan chetda qolmasligi kerak. Texnologiyaga ortiqcha tayanish shifokor va bemor o‘rtasidagi an’anaviy aloqalarga ta’sir qilishi mumkin. Mini ekzoskeletlardan foydalanishda inson omili va professional nazorat muhim ahamiyatga ega bo‘lib qoladi.

Umuman olganda, muhokama natijalari mini ekzoskeletlarning reabilitatsiya sohasida katta imkoniyatlarga ega ekanligini tasdiqlaydi. Ularni samarali joriy etish uchun texnologik, iqtisodiy va tashkiliy muammolarni kompleks tarzda hal etish zarur.

Xulosa

Reabilitatsiya sohasidagi zamonaviy transformatsiyalar shuni ko‘rsatmoqdaki, inson salomatligini tiklashda faqatgina medikamentoz muolajalar bilan cheklanish kutilgan samarani bermaydi. Shuning uchun ham, mini ekzoskelet kabi lokomotsion texnologiyalarni amaliyotga tatbiq etish bugungi kunning kechiktirib bo‘lmas talabiga aylandi. Mazkur tadqiqotimiz jarayonida biz mini ekzoskeletlarning nafaqat mexanik yordamchi, balki neyroplastiklikni rag‘batlantiruvchi katalizator ekanligiga guvoh bo‘ldik. Qurilmaning asosi inson va texnika o‘rtasidagi uzviy bog‘liqlikka qurilgan bo‘lib, u bemorning harakat trayektoriyasini millisekundlarda tahlil qilish imkoniyatiga ega. Bu esa, o‘z navbatida, reabilitatsiya jarayonini standart qoliplardan chiqarib, har bir shaxsning o‘ziga xos fiziologik ehtiyojlariga moslashtirish imkonini beradi. Xususan, mini ekzoskeletlarning konstruktiv tuzilishi va ularning ergonomik ko‘rsatkichlari bemorning bo‘g‘imlariga tushadigan yuklamani to‘g‘ri taqsimlashda kalit rolini o‘ynaydi. An’anaviy usullarda mushaklarning qayta ishlashi uchun oylab vaqt sarflangan bo‘lsa, ushbu innovatsion qurilma yordamida harakat xotirasini tiklash davri sezilarli darajada qisqaradi. Biz o‘z xulosalarimizda shuni qat’iy ta’kidlaymizki, ushbu texnologiya shunchaki nogironlik aravachasiga muqobil emas, balki to‘laqonli harakatlanish erkinligini beruvchi mustaqil tizimdir. Ayniqsa, markaziy asab tizimi jarohatlaridan keyingi asoratlar bilan kurashishda mini ekzoskeletlar bionik reabilitatsiyaning yangi davrini ochib beradi. Shuningdek, olib borilgan tahlillar iqtisodiy va ijtimoiy jihatdan ham yuqori natijadorlikni ko‘rsatmoqda. Reabilitatsiya markazlaridagi yuklamani kamaytirish va bemorlarning mustaqil ravishda o‘ziga xizmat ko‘rsatish darajasini oshirish jamiyat uchun strategik ahamiyatga ega. Kelajakda ushbu qurilmalarni sensorli qayta aloqa tizimlari bilan yanada boyitish, ularning sezuvchanlik chegarasini inson asab tolalari darajasiga yetkazish imkonini beradi.

Xulosa qilib aytganda, mini ekzoskeletlar tibbiyotning kelajagi emas, balki bugungi kunning eng zaruriy yechimidir. Ularni sog‘liqni saqlash tizimiga kengroq integratsiya qilish orqali biz minglab insonlarning faol hayot tarzini saqlab qolishimiz mumkin. Ushbu yo‘nalishdagi ilmiy

izlanishlarimiz shuni ko‘rsatadiki, texnologiya va inson irodasining birlashishi eng og‘ir patologiyalarda ham ijobiy natija berishi muqarrar.

Adabiyotlar

[1]. Tucker, M.R., et al. (2023). Design and Control of Wearable Robotic Exoskeletons for Rehabilitation:A Comprehensive Review. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. https://doi.org
[2]. Zhang, X., & Liu, Y. (2024). Artificial Intelligence in Soft Exoskeletons: Adaptive Control and Interaction. IEEE Explore. https://ieee.org
[3]. Chen, J., & Walsh, C.J. (2023). Soft Robotic Exosuits for Post-Stroke Gait Rehabilitation. Science Robotics. https://science.org
[4]. Baud, R.,et al. (2022).Review of Exoskeletons and Exosuits for Home Rehabilitation: Technical and Clinical Hurdles. Sensors Journal. https://doi.org
[5]. Karimov, B., & Usmonov,D. (2021).Reabilitatsiya robotlari va ularning qo‘llanilishi. O‘zbek texnika jurnali, 45–52. https://scholar.google.com.

UDK: 004.896:691

QURILISH MATERIALLARI ISHLAB CHIQARISHNI AVTOMATLASHTIRISHDA SUNIY INTELEK VA ZAMONAVIY TEXNOLOGIYALAR

magistr M.U. Rahmatullayev, S.M. Abduraxmonov

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
E-mail: rakhmatu11ayev@icloud.com | Tel.: +998 (97) 303-95-35
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya. *An'anaviy PLK-asosidagi boshqaruv tizimlari moslashuvchan intellektga ega emasligi sababli qurilish materiallari sanoatida samarasizliklar kuzatiladi. Maqolada uch qatlamli konseptual model taklif etiladi: IoT monitoringi, mashinaviy o'qitishga asoslangan bashoratli texnik xizmat va sifat bashorati hamda raqamli egizak simulyatsiyasi. PRISMA protokoli bo'yicha ko\p sonli tadqiqotlar sharhi asosida rejasiz to'xtash 15-25%, energiya iste'moli 17–28% va nuqson 12–20% ga qisqarishi bashorat qilingan. O'zbekistonda joriy etish to'siqlari va ularni bartaraf etish strategiyalari tahlil qilingan.*

Kalit so'zlar: *intellektual boshqaruv tizimlari; Narsalar Interneti (IoT); raqamli egizak; bashoratli texnik xizmat; qurilish materiallari; Sanoat 4.0; mashinaviy o'qitish; O'zbekiston*

Аннотация. *Традиционные системы управления на базе ПЛК не обладают адаптивным интеллектом, что снижает эффективность производства строительных материалов. Предлагается трёхуровневая концептуальная модель: мониторинг на основе IoT, машинное обучение для прогностического обслуживания и контроля качества, моделирование на цифровых двойниках. По обзору много численних исследований (PRISMA) спрогнозированы снижение простоев на 15-25%, энергопотребления на 17–28% и брака на 12–20%. Проанализированы барьеры внедрения в Узбекистане и пути их преодоления.*

Ключевые слова: *интеллектуальные системы управления; Интернет вещей (IoT); цифровой двойник; прогностическое обслуживание; строительные материалы; Индустрия 4.0; машинное обучение; Узбекистан*

Abstract. *Conventional PLC-based control systems lack adaptive intelligence, causing inefficiencies in the construction materials industry. This paper proposes a three-layer conceptual model: IoT-based monitoring, machine-learning-driven predictive maintenance and quality prediction, and digital twin simulation. A review of numerous studies (PRISMA) predicts a reduction in downtime by 15-25%, energy consumption by 17-28%, and defects by 12-20%. Barriers to implementation in Uzbekistan and ways to overcome them are analyzed.*

Keywords: *intelligent control systems; Internet of Things (IoT); digital twin; predictive maintenance; construction materials; Industry 4.0; machine learning; Uzbekistan*

1. Kirish

Hozirgi davrda global ishlab chiqarish landshafti Sanoat 4.0 paradigmasi ostida tubdan o'zgarmoqda. Mazkur paradigma kiber-fizik tizimlar, Narsalar Interneti (Internet of Things, IoT) va sun'iy intellekt texnologiyalarini ishlab chiqarish jarayonlariga chuqur integratsiya qilishni nazarda

tutadi [1, 2]. Qurilish materiallari ishlab chiqarish sanoati — sement, keramika, g'isht va kompozit panellar ishlab chiqarishni o'z ichiga oluvchi yo'nalish — uzluksiz oqim asosidagi texnologik jarayonlar, yuqori energiya sarfi va qat'iy sifat talablari bilan tavsiflanadi. Shunga qaramay, ushbu soha global miqyosda raqamlashtirish darajasi etarli darajada bo'lmagan sanoat tarmoqlaridan biri bo'lib qolmoqda [3].

An'anaviy programmalashtiriluvchi mantiqiy kontrollerlar (PLK) texnologlar tomonidan qat'iy belgilangan mantiqiy qoidalar asosida ishlaydi va shuning uchun ishlab chiqarish jarayonida turli sabalar asosida hosil bo'lgan vaziyatlarni e'tiborga olmaydi. Natijada, mazkur sohadagi korxonalarda rejasiz to'xtab qolishlar darajasi yuqori, energiya isrofgarchiligi sezilarli va mahsulot sifatiga qo'yilgan talablardan chetlanishlar kuzatiladi [4, 5]. Bundan tashqari O'zbekiston kabi tez suratlarda rivojlanayotgan iqtisodiyotlarda mazkur muammolar cheklangan raqamli infratuzilma, kapital resurslarning yetishmasligi va malakali avtomatlashtirish soxasi mutaxassislari etarli emasligi bilan yanada keskinlashadi [6].

Keltirib o'tilgan muammolar suniy intelekt tizimlarini qurilish maxsulotlari ishlab chiqarish sanoatiga qo'llash masalasini **dolzarb** ekanligini ko'rsatadi.

Qurulish maxsulotlarini ishlab chiqarish sanoatiga zamonaviy avtomatlashtirilgan tizimlarni joriy etish masalasini suniy intellect tizimlari asosida tashkil etish metodologiyasini ko'rsatib berish tadqiqotini amalga oshirish uchun quydagilar maqsad qilib olindi:

- rivojlanayotgan iqtisodiyotlar sharoitida qurilish materiallari ishlab chiqarish sanoatini intellektuallashtirish uchun mos keladigan, miqyoslanuvchan uch qatlamli konseptual modelni ishlab chiqish.

Tadqiqotning asosiy ilmiy hissalari quyidagi yo'nalishlarda namoyon bo'ladi:

- birinchidan, intellektual boshqaruv arxitekturalari bo'yicha mavjud adabiyotlarning umumlashtirilgan sharhi;
- ikkinchidan, qurilish materiallari ishlab chiqarishga moslashtirilgan IoT–SI–raqamli egizak integratsiyalashgan modeli;
- uchinchidan, joriy etish to'siqlari va ularni bartaraf etish strategiyalarining tizimli tahlili.

2. Zamonaviy boshqarish tizimlarini qollanilishi

2.1. Ishlab chiqarishda intellektual boshqaruv tizimlari

Li [7] sanoat avtomatlashtirishda qo'llaniladigan sun'iy intellekt yondashuvlarining uch asosiy turini ajratib ko'rsatadi:

- neyron tarmoqlariga asoslangan boshqaruv, ravon (fuzzy) mantiqiy tizimlar va ekspert qaror qabul qilish tizimlari. Neyron tarmoqlari texnologik jarayonlardagi murakkab nochiziqli bog'lanishlarni modellashtirish imkonini beradi;
- aniq belgilangan mantiq jarayon parametrlaridagi noaniqliklarni samarali boshqaradi;
- ekspert tizimlari esa nosozliklarni aniqlash va sifatni nazorat qilish uchun soha bilimlarini formallashtiradi.

Yang va boshqalarning [8] tadqiqotida ishlab chiqarishning ikki bosqichli intellektual arxitekturaga o'tishi tahlil qilingan bo'lib, bunda jarayon darajasidagi avtonom boshqaruv tizimlari ishlab chiqarishni boshqarish tizimlari (Manufacturing Execution Systems, MES) tomonidan muvofiqlashtiriladi. Bunda birinchi bosqich quyi sath, ikkinchi bosqich yuqori sath nazarda tutiladi. Varma [9] esa real vaqtdagi hisoblash quvvati, modellarning umumlashtirilishi va izohlanishini ushbu tizimlarni sanoat miqyosida joriy etishdagi asosiy muhandislik muammolari sifatida belgilab beradi.

2.2. Qurilish materiallari ishlab chiqarish sanoatidagi qo'llanilishi

Chatterjee [5] sement zavodlarida klinker sifatini optimallashtirish va energiya iste'molini kamaytirish maqsadida neyron tarmoq va model-asoslangan bashoratli boshqaruv (Model Predictive Control, MPC) yondashuvlarining muvaffaqiyatli joriy etilganligini keltirib o'tgan. Manis va boshqalar [10] foydalanuvchi tomonidan belgilangan optimallashtirish maqsad funksiyasi bilan birlashtirilgan ma'lumotlarga asoslangan SI modellari klinker sifatini saqlagan holda solishtirma energiya iste'molini kamaytirishga olib kelishini ko'rsatib bergan. Fang va Deng [4] tomonidan ishlab chiqilgan qurilish materiallarini qadoqlash uchun PLK-asosidagi intellektual boshqaruv tizimi

98,15% ish samaradorligi va 99,03% sifatli mahsulot ko'rsatkichlariga erishilganligini eksperimental tarzda isbotlagan. Wang va boshqalar [3] esa IoT-ga o'rnatilgan datchik tarmoqlarini intellektual tahlilning fundamental ma'lumotlar infratuzilmasi sifatida tan oladilar.

2.3. Raqamli egizaklar va bashoratli texnik xizmat

Tepljakov [11] Texnik xizmat 4.0 (Maintenance 4.0) tushinchasini tahlil qilib, ushbu yondashuv holatni monitoring qilish va mashinaviy o'qitish algoritmlaridan foydalangan holda texnik xizmat strategiyasini reaktiv va davriy rejimdan bashoratli, holatga asoslangan rejimga o'tkazishni ta'minlashini ko'rsatib berdi. Ayomide va Ozurumba [12] uskunalarning ishdan chiqishini avvaldan bashorat qiluvchi SI algoritmlari to'xtab qolish vaqtini va texnik xizmat xarajatlarini sezilarli darajada qisqartirishini namoyish etgan. Barua va boshqalarning [1] tadqiqoti kiber-fizik tizimlar, IoT va SI texnologiyalarining birgalikda o'z-o'zini optimallashtiruvchi ishlab chiqarish ekotizimlarini yaratish imkoniyatini tasdiqlaydi.

3. Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqotda PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) protokoli asosida tizimli adabiyotlar sharhi metodologiyasi qo'llanildi. Adabiyotlar Scopus, Web of Science va Google Scholar bazalaridan 2015–2025 yillar oralig'idagi nashrlarni qamrab oluvchi vaqt chegarasi bilan jamlandi. Qidiruv strategiyasida quyidagi kalit so'zlar kombinatsiyasi ishlatildi: ("intelligent control systems" OR "smart control") AND ("construction materials" OR "cement" OR "ceramic") AND ("IoT" OR "Industry 4.0" OR "digital twin" OR "predictive maintenance").

Boshlang'ich qidiruv natijasida 312 ta nomzod hujjat aniqlangan. Takroriy nashrlarni o'chirish (47 ta), sarlavha va annotatsiya bo'yicha skrining (184 ta chiqarib tashlandi) hamda to'liq matn bo'yicha muvofiqlik tahlilidan keyin (54 ta chiqarib tashlandi) yakuniy korpus 27 ta retsenziyalangan tadqiqotni o'z ichiga oldi. Konseptual model ishlab chiqish bosqichida integratsion sintez yondashuvi qo'llanildi: adabiyotdan umumiy arxitektura strukturasi va samaradorlik ko'rsatkichlari abstraktlashtirildi hamda yagona, izchil uch qatlamli tuzilmaga jamlandi. Samaradorlik prognozlari OEE (Overall Equipment Effectiveness — uskunaning umumiy samaradorligi) yaxshilanishini baholash formulasi asosida hisoblangan:

$$\Delta OEE = (1 - e^{-\lambda t}) * OEE_0 * \eta_system$$

bu yerda λ — nosozliklarni aniqlash darajasi; t — monitoring oraliq vaqti; η_system — integratsiya samaradorligi koeffitsienti ($0 < \eta \leq 1$).

4. Taklif etilayotgan konseptual model

4.1. Modelning umumiy arxitekturasi

Taklif etilayotgan model intellektual boshqaruv tizimini uzluksiz yopiq kontur asosida o'zaro bog'langan uch qatlamga ajratadi:

- (1) IoT orqali ma'lumot yig'ish va monitoring qatlami;
- (2) sun'iy intellektga asoslangan jarayon aql qatlami;
- (3) raqamli egizak simulyatsiyasi va boshqaruv qatlami.

Ma'lumotlar fizik tizimdan yuqoriga qarab oqib boradi, aql qatlamida qayta ishlanadi va raqamli egizak orqali boshqaruv signallariga aylantiriladi. Raqamli egizakdan qaytariladigan teskari aloqa real vaqtdagi qarorlar va uzoq muddatli optimallashtirish uchun zarur axborotni ta'minlaydi, bu esa Yang va boshqalarning [8] intellektual ishlab chiqarish arxitekturasi prinsiplariga muvofiq keladi.

4.2. Birinchi qatlam — IoT monitoringi

Tipik ishlab chiqarish liniyasi uchun datchiklar to'plami quyidagilarni o'z ichiga oladi: pech monitoringi uchun harorat va bosim datchiklari; aylanma mexanizmlar uchun tebranish va akustik emissiya datchiklari; sifat nazorati uchun optik datchiklar; kimyoviy tarkib analizatorlari; har bir texnologik qism uchun energiya hisoblagichlari [3]. Vaqt jihatidan kritik signallar uchun sanoat interfeysi (CAN, PROFIBUS) va kengroq ma'lumot oqimlari uchun IoT protokollari (MQTT, OPC-UA) birlashtirilgan gibrid arxitektura deterministik boshqaruv va miqyoslanuvchan ulanishni ta'minlaydi [13].

4.3. Ikkinchi qatlam — sun'iy intellekt

Ushbu qatlamda uchta o'zaro bog'langan modul ishlaydi. Birinchi modul — bashoratli texnik xizmat — LSTM (Long Short-Term Memory) neyron tarmoqlari va gradient kuchayishi (gradient boosting) klassifikatorlarini datchiklardan keladigan vaqt qatorlari ma'lumotlariga qo'llab, kelajakdagi nosozliklarning oldindan namoyon bo'luvchi belgilarini aniqlaydi [11]. Ikkinchi modul — sifatni

bashorat qilish — qizdirishga, bosim o’zgarishga chidamlilik va zichlik kabi xarakteristikalarni real vaqtda bashorat qiluvchi nazoratli o'qitish modellarini qo'llaydi, bu esa laboratoriya tahlillarini kutish zaruratisiz onlayn sifat nazoratini ta'minlaydi [10, 14, 15, 16]. Uchinchi modul — jarayon optimallashtirish dvigateli — mahsulot sifatini saqlagan holda energiya iste'molini minimallashtiruvchi parametrlarni model-asoslangan bashoratli boshqaruv (MPC) algoritmlari yordamida uzluksiz aniqlab boradi [7].

4.4. Uchinchi qatlam — raqamli egizak

Raqamli egizak birinchi qatlamdan real vaqtda olingan ma'lumotlar va ikkinchi qatlamdan kelgan tasdiqlangan parametrlar asosida uzluksiz yangilanib turuvchi virtual modelni saqlaydi. Uning asosiy funksiyalari quyidagilarni qamrab oladi:

- (1) jarayonga kiritilishi rejalashtirilgan o'zgartirishlarni fizik amalga oshirishdan oldin virtual sinovdan o'tkazish;
- (2) haqiqiy va modellashtirilgan traektoriyalarni solishtirish orqali anomaliyalarni aniqlash;
- (3) mustahkamlovchi o'qitish (reinforcement learning) agentlari uchun xavfsiz o'qitish muhitini ta'minlash [3, 11].

5. Natijalar va muhokama

1-jadval.

Boshqaruv tizimi arxitekturalarining qiyosiy tahlili

Mezon	**An'anaviy PLK**	**Gibrid**	**Intellektual (IoT+SI+RE)**
Moslashuvchanlik	Past — qat'iy mantiq	O'rtacha	Yuqori — uzluksiz o'qitish
Texnik xizmat strategiyasi	Reaktiv	Holatga asoslangan	Bashoratli / preskriptiv
Sifat nazorati	Liniya oxirida	Liniya ichida tanlamali	Real vaqtdagi SI bashorati
Energiya optimizatsiyasi	Qo'lda	Qisman	SI asosida, uzluksiz
OEE bazaviy darajaga nisbatan	Boshlang’ich	+10–15%	+20–30%

Manba: Barua va boshqalar [1], Chatterjee [5], Fang va Deng [4] asosida ishlab chiqilgan.

2-jadval.

Kutilayotgan samaradorlik ko'rsatkichlari

Samaradorlik ko'rsatkichi	**Boshlang’ich daraja**	**Kutilayotgan yaxshilanish**
Rejasiz to'xtash vaqti (ishlab chiqarish vaqtidan %)	8–15%	15–25%
Solishtirma energiya iste'moli	Soha o'rtachasi	17–28%
Mahsulot nuqson darajasi (%)	3–7%	12–20%
Texnik xizmat xarajatlari (aktivga nisbatan, %/yil)	3,5–5%	40–50%
Nosozlikni aniqlashning o'rtacha vaqti (daq.)	60–180	85–95%
Uskunaning umumiy samaradorligi (OEE)	55–70%	+15–25

Jadvaldagi kattaliklar Barua va boshqalar [1], Ayomide va Ozurumba [12], Manis va boshqalar [10] tomonidan keltirilgan empirik natijalar asosida hisoblangan.

1-jadvalda an'anaviy PLK tizimlaridan to'liq intellektual arxitekturalarga o'tish jarayonidagi samaradorlik gradienti aniq namoyon bo'ladi. Intellektual tizimlar OEE va sifat bo'yicha eng katta yutuqlarni ta'minlasa-da, ularni joriy etishning yuqori murakkabligi bosqichma-bosqich o'tish strategiyasini taqozo etadi. 2-jadval esa bashoratli texnik xizmat va real vaqtdagi sifat bashorati amaliyotga joriy etilganda erishilishi mumkin bo'lgan natijalarning ko'lamini tasdiqlaydi — to'xtab qolish vaqtining va nuqson darajasining qisqarishida ushbu modullar eng katta hissa qo'shadi.

5.1. Modelni joriy etishga to'siqlari va rivojlanayotgan iqtisodiyot konteksti

O'zbekiston va shu kabi rivojlanayotgan bozorlar uchun beshta asosiy to'siqlar toifasi mavjud:

- Birinchidan, kapital cheklovlari — bu to'siqni bartaraf etish uchun 3–5 yilga mo'ljallangan bosqichma-bosqich joriy etish strategiyasi taklif etiladi, bunda har bir bosqichdan olinadigan iqtisodiy samara keyingi bosqichlarni moliyalashtirishga sarflanadi.

- Ikkinchidan, raqamli infratuzilma cheklovlari — bulutga emas, balki sanoat uskunalarining o'ziga yaqin joylashgan hisoblash quvvatlariga tayangan edge computing (chetda hisoblash) arxitekturasi orqali bartaraf etilishi mumkin.

- Uchinchidan, malakali kadrlar yetishmasligi — universitetlar va sanoat o'rtasidagi hamkorlik amaliy ta'lim dasturlari va talabalarning sanoat amaliyotini tashkil etish orqali kompetentsiyalarni rivojlantirishga yo'naltirilgan tizimli yondashuvni talab qiladi.

- To'rtinchidan, normativ-huquqiy noaniqlik — sanoat avtomatlashtirishi va SI-asosidagi tizimlarni sertifikatsiyalash bo'yicha milliy standartlarni IEC va ISO talablariga moslashtirgan holda ishlab chiqish lozim.

- Beshinchidan, tashkiliy qarshilik — operatorlarni tizim loyihalashtirishga jalb qiluvchi inklyuziv yondashuv va intellektual avtomatlashtirishni inson tajribasini almashtiruvchi emas, balki kuchaytiruvchi vosita sifatida talqin qilish bu to'siqni samarali bartaraf etadi.

6. Xulosa

Mazkur tadqiqotda qurilish materiallari ishlab chiqarishni intellektual boshqarish uchun IoT–SI–raqamli egizak texnologiyalarini integratsiyalashgan uch qatlamli konseptual model ishlab chiqildi. Model retsenziyalangan ilmiy tadqiqotning tizimli sharhi asosida shakllantirilgan bo'lib, rivojlanayotgan iqtisodiyotlar sharoitiga moslashtirilgan. Taklif etilayotgan arxitektura an'anaviy PLK-asosidagi tizimlarning cheklovlarini bartaraf etadi, ya'ni uzluksiz IoT monitoringi, mashinaviy o'qitishga asoslangan bashoratli texnik xizmat va sifat bashorati hamda raqamli egizak simulyatsiyasini yagona, miqyoslanuvchan tizimga birlashtiradi.

Modelning kutilayotgan natijalari — rejasiz to'xtash vaqtining 15–25% ga qisqarishi, energiya iste'molining 17–28% ga kamayishi va OEE ko'rsatkichining 15–25 foiz nuqtasiga oshishi — ushbu yondashuvning amaliy qimmatini tasdiqlaydi. To'siqlar tahlili O'zbekistonning qurilish materiallari sanoatini raqamlashtirish jarayoni uchun amaliyotga yo'naltirilgan tavsiyalarni taqdim etadi va “Raqamli O'zbekiston 2030” strategiyasi hamda “2022–2026 yillarda Yangi O'zbekiston taraqqiyot strategiyasi” bilan uzviy bog'liqlikda shakllantirilgan. Keyingi tadqiqotlar pilot loyihalarni amalga oshirish, mahalliy ma'lumotlar asosida SI modellarini o'qitish va iqtisodiy samaradorlikning batafsil baholashiga qaratilishi maqsadga muvofiq.

Adabiyotlar

[1]. Barua D., Islam M.R., Chowdhury M.A., Mia M. Leveraging artificial intelligence for smart production management in industry 4.0 // Scientific Reports. — 2025. — Vol. 15, № 1. — DOI: 10.1038/s41598-025.

[2]. Zheng P., Wang H., Sang Z., Zhong R.Y., Liu Y., Liu C., Mubarok K., Yu S., Xu X. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives // Frontiers of Mechanical Engineering. — 2018. — Vol. 13, № 2. — P. 137–150. — DOI: 10.1007/s11465-018-0499-5.

[3]. Wang X., Chen P., Chow C.L., Lau D. Artificial-intelligence-led revolution of construction materials: From molecules to Industry 4.0 // Matter. — 2023. — Vol. 6, № 6. — P. 1831–1859. — DOI: 10.1016/j.matt.2023.03.042.

[4]. Fang J., Deng B. Theoretical design and experimental verification of control system for building material packaging unit // Scientific Reports. — 2024. — Vol. 14. — Article 462. — DOI: 10.1038/s41598-023-51102-3.

[5]. Chatterjee A.K. Intelligent and Sustainable Cement Production: Transforming to Industry 4.0 Standards. — Boca Raton: CRC Press, 2021. — 286 p.

[6]. Ibrohimov S. O'zbekistondagi qurilish materiallari sanoati va barqaror qurilish va qayta ishlanadigan materiallar // Universal International Scientific Journal. — 2025. — Vol. 1, № 2. — B. 168–172.
[7]. Li Y. Application of Artificial Intelligence in Industrial Automation Control System // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2021. — Vol. 647. — Article 012043. — DOI: 10.1088/1755-1315/647/1/012043.
[8]. Yang T., Yi X., Lu S., Johansson K.H., Chai T. Intelligent Manufacturing for the Process Industry Driven by Industrial Artificial Intelligence // Engineering. — 2021. — Vol. 7, № 9. — P. 1224–1230. — DOI: 10.1016/j.eng.2021.04.023.
[9]. Varma D.K. Intelligent Control Systems in Engineering: Applications and Challenges // International Journal of Electrical and Electronics Engineering Trends. — 2024. — Vol. 15, № 3. — P. 22–34.
[10]. Manis O., et al. Data-Driven AI Models within a User-Defined Optimization Objective Function in Cement Production // Sensors. — 2024. — Vol. 24, № 4. — Article 1225. — DOI: 10.3390/s24041225.
[11]. Tepljakov A. Intelligent Control and Digital Twins for Industry 4.0 // Sensors. — 2023. — Vol. 23, № 8. — Article 4036. — DOI: 10.3390/s23084036.
[12]. Ayomide K., Ozurumba J. Artificial Intelligence in Advanced Process Optimization and Smart Manufacturing Systems // International Journal of Engineering Technology Research & Management. — 2024. — Vol. 8, № 11. — P. 312–318.
[13]. Ryalat M., ElMoaqet H., AlFaouri M. Design of a Smart Factory Based on Cyber-Physical Systems and Internet of Things towards Industry 4.0 // Applied Sciences. — 2023. — Vol. 13, № 4. — Article 2156. — DOI: 10.3390/app13042156.
[14]. Fayaz S.J., Montiel-Bohórquez N., Bishnoi S., Romano M., Gatti M., Krishnan N.M.A. Industrial-scale Prediction of Cement Clinker Phases using Machine Learning. — arXiv:2412.11981v2. — 2024.
[15]. Haqberdiyev U.N. Qurilish materiallari sanoatida ishlab chiqarishni tashkil etish va innovatsion rivojlanish tendensiyalari // Yashil iqtisodiyot va taraqqiyot. — 2025. — № 4. — B. 1937–1945.
[16]. Sultanova N.X. Sun'iy intellekt va uning boshqaruv hisobiga ta'siri // Aktual moliya va buxgalteriya hisobi. — 2025. — Vol. 5, № 8. — B. 105–112.

УДК 574.63.66

БОҒДОРЧИЛИКДА ЯНГИ ИСЛОХОТЛАР

О.О. Ибрагимов[1], И.Х. Домуладжанов[1], Ш.И. Домуладжанова[1],
магистр С.А. Собиров[1], Б.И. Ибрагимов[2]

[1]Фарғона давлат техника университети
[2]Ўсимликлар карантини ва ҳимояси илмий-тадқиқот институти Фарғона минтақавий филиалининг энтомология ва биологик усуллар лабораториялари
(Қабул қилинди 06.04.2026 й.)

Аннотация. *Мақолада ер тўғрисида маълумот келтирилган, тупроқ – ҳаёт учун бамисоли қуёш, ҳаво ва сувдек зарур бўлиб, битмас туганмас бойлик ҳамда озиқ-овқат маҳсулотлари ва керакли хомашё етиштириб берадиган инсоният ва мавжудот оламининг манбаидир.*

Ўсимликларни пайдо бўлиши тупроқ ҳосил бўлишини бошланиши деб ҳисобланади. Тупроқ тирик мавжудотлардан иборат бўлган, ҳаётий жараёнлар, тўхтовсиз давом этадиган тирик муҳит бўлиб бир граммида миллиардлаб доналаб микроорганизмларнинг (кичик жонзотлар) фаолияти натижасида гумус (чиринди), азот, фосфор, темир, олтингугурт каби моддалар бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтиб турадиган чексиз макон.

Мамлакатда ҳар бир киши жон бошига 0,07 гектар ҳайдаладиган, 0,05 гектар суғориладиган ер тўғри келади.

Кейинги йилларда Мамлакатимизда пахта ҳосилдорлиги гектарига ўртача 24-25ц, беда пичанининг ҳосилдорлиги 80-100ц, маккажўхори дони ҳосилдорлиги 35 ц, шоли ҳосилдорлиги 45-47.2ц, маккажўхори кўк пояси ҳосилдорлиги 60, сабзавот ва полиз экинлари ҳосилдорлиги 60 ц га тушиб қолди.

Тупроқ унумдорлигини тиклаш ва оширишга фақат органик моддалар орқали эришилиши ҳаммага маълум. Органик ўғитларни, гўнг ресурсларини чекланганлиги (ҳар гектар экинзорга 1,5 тонна) муносабати билан тупроқни органик моддалар билан тўлдиришнинг асосий манбаи беда билан кўпроқ алмашлаб экиш ҳисобланади. Кузги буғдойдан кейин такрорий сифатида соя, люпин, ерёнғоқ, жайдари, нўхат каби экинлар тупроқ унумдорлигини оширади. Тупроқда бир йилда 5-15 тоннагача илдиз қолдиқларини қолдиради. Тупроқда соф ҳолда 100-120 килограммгача азот билан тўлдиради.

Демак, хонадонларда шахсий ёрдамчи хўжаликлар билан узвий боғлиқликда ривожлантириш ҳар бир хонадонда мўмай даромад манбайигина бўлиб қолмай тупроқни соғломлаштириб, унумдорлигини тиклаб гўшт, сут, ёғ муаммоларини ечишига изчил имкониятларига йўл очилади.

Калит сўзлар: *Ер, тупрок, унумдорлик, гўшт, су, ёғ, пахта, буғдой, хусусиятлар, инсон, ясаш, мухит, гумус (чиринди), азот, фосфор, темир, олтингугурт, тармок, ислохатлар.*

Аннотация. *В статье представлена информация о Земле, почве, которая так же необходима для жизни, как солнце, воздух и вода, и является источником неисчерпаемых богатств, а также необходимых продуктов питания и сырья для человечества и мира живых существ.*

Возникновение растений считается началом почвообразования. Почва — это живая среда, состоящая из живых организмов, где жизненные процессы и процессы протекают непрерывно, и это бесконечное пространство, где такие вещества, как гумус, азот, фосфор, железо, сера и др., переходят из одного состояния в другое в результате деятельности миллиардов микроорганизмов (мелких существ) на грамм.

В стране каждый человек имеет 0,07 гектара пахотной земли и 0,05 гектара орошаемой земли.

В последние годы средняя урожайность хлопка в нашей стране снизилась до 24-25 центнеров с гектара, урожайность люцернового сена — до 80-100 центнеров, урожайность зерна кукурузы — до 35 центнеров, урожайность риса — до 45-47,2 центнеров, урожайность зелени кукурузы — до 60 центнеров, а урожайность овощей и дынь — до 60 центнеров. Хорошо известно, что восстановление и повышение плодородия почвы достигается только за счет органического вещества. Из-за ограниченности ресурсов органических удобрений и навоза (1,5 тонны на гектар пахотной земли) основным источником пополнения почвы органическим веществом является более частая посадка люцерны. После озимой пшеницы плодородие почвы повышают такие культуры, как соя, люпин, арахис, сорго и горох. Они оставляют в почве до 5-15 тонн корневых остатков в год. В чистом виде он восполняет до 100-120 килограммов азота в почве.

Таким образом, развитие личных подсобных хозяйств в домохозяйствах в тесной связи с развитием фермерского хозяйства станет не только источником дохода для каждого домохозяйства, но и предоставит возможности для улучшения почвы, восстановления ее продуктивности и решения проблем производства мяса, молока и жира.

Ключевые слова: *Земля, почва, продуктивность, мясо, молоко, жир, хлопок, пшеница, характеристики, человек, создание, окружающая среда, гумус, азот, фосфор, железо, сера, промышленность, реформы.*

Abstract. *The article provides information about the earth, soil is as necessary for life as the sun, air and water, and is a source of inexhaustible wealth and the necessary food products and raw materials for humanity and the world of living things.*

The emergence of plants is considered the beginning of soil formation. Soil is a living environment consisting of living organisms, where life processes and life processes continue without interruption, and is an infinite space where substances such as humus (humus), nitrogen, phosphorus, iron, sulfur, etc., pass from one state to another as a result of the activity of billions of microorganisms (small creatures) per gram.

In the country, each person has 0.07 hectares of arable land and 0.05 hectares of irrigated land.

In recent years, the average cotton yield in our country has decreased to 24-25 centners per hectare, the yield of alfalfa hay to 80-100 centners, the yield of corn grain to 35 centners, the yield of rice to 45-47.2 centners, the yield of corn greens to 60 centners, and the yield of vegetables and melons to 60 centners. It is well known that the restoration and increase of soil fertility is achieved only through organic matter. Due to the limited resources of organic fertilizers and manure (1.5 tons per hectare of arable land), the main source of replenishing the soil with organic matter is more frequent planting of alfalfa. After winter wheat, crops such as soybeans, lupines, peanuts, sorghum, and peas increase soil fertility. They leave up to 5-15 tons of root residues in the soil per year. In its pure form, it replenishes up to 100-120 kilograms of nitrogen in the soil.

Thus, the development of personal subsidiary farms in households in close connection with the development of the farm will not only become a source of income for each household, but also provide opportunities for improving the soil, restoring its productivity, and solving the problems of meat, milk, and fat.

Keywords: *Earth, soil, productivity, meat, milk, fat, cotton, wheat, characteristics, human, creation, environment, humus (humus), nitrogen, phosphorus, iron, sulfur, industry, reforms.*

“Ер“ сўзи турли тилларда турли шаклда ишлатилади. Дейлик, руслар “земля” дейдилар. Туркий тилдаги атама эса “емоқ” феълига яқин келади. Моҳиятан ер ҳам ўзи ейди, ҳам мавжудотларни едириб, тўйғазади. Тупроқдан пайдо бўлиб, тупроққа қайтиш мавжудотлар пешонасига битилган.

Тупроқни энг муҳим хусусияти шундан иборатки: Тупроқ – ҳаёт учун бамисоли қуёш, ҳаво ва сувдек зарур бўлиб, битмас туганмас бойлик ҳамда зарурий озиқ-овқат маҳсулотлари ва керакли хомашё етиштиб берадиган инсоният ва мавжудот оламининг манбаидир.

Тупроқ кишилик жамиятида икки хил аҳамиятга эга бўлиб, биринчи томондан, бу физик муҳит, инсонларнинг яшаши, ҳаёт кечириши учун макон, вазифасини, иккинчи томондан эса, бу иқтисодий ва асосий ишлаб чиқариш воситаси ҳисобланади. Шунинг учун уни асраб-авайлаб, унга ҳар доим ғамхўрлик қилишни тақозо этади.

Ер куррасини қоплаб турган тупроқ жаҳон океанлари сингари, ер шарини асосий тозаловчи (пурификатор) муҳитдир. Кўпчилик органик – минерал бирикмаларнинг парчаланиши тупроқда тугалланади. Дунё қишлоқ хўжалигида эса асосий ишлаб чиқариш воситаси ҳисобланиб, қайта тикланмайдиган табиий ресурс ҳисобланади [1-16].

Ўсимликларни пайдо бўлиши тупроқ ҳосил бўлишини бошланиши деб ҳисобланади. Тупроқ тирик мавжудотлардан иборат бўлган, ҳаётий жараёнлар, тўхтовсиз давом этадиган тирик муҳит бўлиб бир граммида миллиардлаб доналаб микроорганизмларнинг (кичик жонзотлар) фаолияти натижасида гумус(чиринди), азот, фосфор, темир, олтингугурт каби моддалар бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтиб турадиган чексиз макон.

Масалан, ер ўз бағрига тушган уруғни кўкартириш учун қанча қувват сарфлайди? Ер уруғларни кўкартирмаслиги ҳам мумкин-ку! Худди шу жиҳатдан қаралганда 8.5 миллиард ер куррасини ахолисига бахоли қудрат ризқ-рўзини тарқатаётган она замин саховатига хамду санолар айтиб қоласан киши.

Алалхусус, ер – тирик организм. Нафас олади, экин-тикинни, дов-дарахт, гулу чечакни кўкартиришга қувват тўплайди. Ерни ҳам боқиш керак. Аждодларимиз ерни боқсанг, ер элни боқади,

деб бежизга айтишмаган.

Деҳқонлар луғатида “ориқлаган ер”, “семиз ер” сингари иборалар мавжуд. Ерни мунтазам равишда экиб бориладиган ўсимликлар ориқлатади, вақтида тупроқдан чиқиб кетган масса тўлдирилса у ориқламайди. Айниқса, техника ривожланиб, суғорма ерлар ҳудуди мислсиз суръатда кенгайганидан сўнг ориқ ерлар муаммоси пайдо бўлди. Ота-боболаримиз қадимги даврларда тупроқни маҳаллий ўғитлар билан тўйинтирган бўлсалар, ҳаддан зиёд ориқ ер бунга-да қаноат қилмай қўйди.

Шу аснода аждодлар амалига ислоҳ киритилди – қишлоқ хўжалиги жабҳасига кимё кириб келди. Ҳозирда заминдорликни кимё хизматисиз, синтетик ўғитларсиз тасаввур этиш мушкул.

Унумдор юқори ҳосилли ерларга, қулай иқлимга, катта табиий бойликларга, етарли меҳнатсевар ишчи кучига эга бўлган юртимиз ички имкониятларидан оқилона фойдаланса, дунёдаги энг бой мамлакатлардан бирига айланиши, аҳоли сони 100 млн нафарга етган тақдирда ҳам уларни қийналмасдан, бемалол озиқ-овқат маҳсулотлари билан таъминлаши ва уларни кийинтирибгина қолмасдан балки хориж мамлакатларига катта миқдордаги маҳсулотларни экспорт қилиб чиқариши мумкин. Буни қуйидаги қишлоқ хўжалиги ривожланиб келаётган мамлакатларнинг мисоллардан ҳам англаб олиш мумкин.

Маълумки Хитой аҳолисининг сони жиҳатдан биринчи ўринни эгаллайди. Мамлакатда ҳар бир киши жон бошига 0,07 гектар ҳайдаладиган, 0,05 гектар суғориладиган ер тўғри келади. Хитойлик деҳқонлар бир миллиард 700 миллиондан зиёдроқ аҳолини боқиб, ўзидан ортган қишлоқ хўжалик маҳсулотларини бошқа давлатларга сотиш бўйича етакчи мамлакатлар қаторидан ўрин олган.

Дунёда аҳолиси зич жойлашган Япония мамлакатида экин экиладиган майдонлар жуда тақчил бўлиб, киши-жон бошига атига 0,03 гектардан ер тўғри келади. Лекин, Япония энг бой жадал ривожланиб бораётган мамлакатлигини бутун дунё халқлари тан олади.

Бунга асосан Япония мамлакати деҳқонларининг 0,03 гектар экаётган экин майдонларида тупроқ унумдорлигини пасайтирмасдан фойдаланиш ҳисобига эришилмоқда.

Яна бир мисол Ҳиндистон мамлакатининг жанубий қисмида Керало штати бор йўғи 38минг квадрат км майдонга эга. Бу ҳудудда 40 миллионга яқин аҳоли ердан унумли фойдаланишади, эвазига фаровон яшайдилар. Мунтазам тупроқ таркибини бойитиб борадилар.

Ердан тупроқ унумдорлигини ошириш ҳисобига сезиларли даражада ривожланиб бораётган Голландия мамлакатини мисол келтириш мумкин. Голландия дейилганда пишлоқ тайёрлаш технологияси, гўшт, сут, сабзавот етиштириш агротехнологияси жиҳатидан дунёда салмоқли ўрин тутадиган катта бир мамлакат тушунилади. Аслида бу мўъжазгина мамлакатнинг 16,0 млн. аҳолиси бўлиб киши жон бошига 0,04 гектар экин майдони тўғри келади. Аммо, шунга қарамасдан, бу юртда ердан усталик билан фойдаланиш ва тупроқ унумдорлигини орттириб бориш эвазига ҳар йили киши бошига 180кг дан зиёдроқ гўшт, шунингдек 1150 кг.дан сут етиштирилмоқда, ёки 16 миллион киши истиқомат қилувчи ва 1,038 миллион гектар экин майдонлари – (унинг ҳам 60 фоизи денгиз яқинида ўзлаштирилган ерлар)га эга бўлган Голландия 131 миллиард долларлик қишлоқ хўжалик маҳсулотларини ишлаб чиқарган бўлса, 38 миллионлик аҳолиси ва 4,4 миллион гектарлик экин майдонларига эга Ўзбекистонда эса, бу кўрсаткич бор йўғи 13,2 миллард долларни ташкил қилади.

Мамлакатимизда бу борадаги ички имкониятлар жуда катта. Чунончи, Ўзбекистонда жон бошига 0,25 гектар ҳайдаладиган, 0,15 гектар суғориладиган экин майдони тўғри келади. Биргина суғориладиган ерлар ҳисобига Керало штатидагига нисбатан 2,0, Хитойдагидан 2,7, Японияда гига қараганда фақат тупроқ унумдорлигини ошириб бориш ҳисобига 5,5 марта зиёд маҳсулот олиш имкониятига эгамиз.

Кейинги йилларда Мамлакатимизда пахта ҳосилдорлиги гектарига ўртача 24-25ц, беда пичанининг ҳосилдорлиги 80-100ц, маккажўхори дони ҳосилдорлиги 35 ц, шоли ҳосилдорлиги 45-47.2ц, маккажўхори кўк пояси ҳосилдорлиги 60, сабзавот ва полиз экинлари ҳосилдорлиги 60 ц га тушиб қолди. Буларнинг ҳаммаси советлар тузуми даврида ердан фойдаланиш қонун-қоидаларининг бузилганлигининг натижасидир. Етиштирилган дала экинлари махсулотларини таъми, мазаси қолаверса сифат кўрсаткич даражаси давлат талабларига жавоб бермай қўйди. Инсоният оламини битмас-тугамас боқувчиси бўлган ер-тупроқ қашшоқлашди. Бамисоли “соғин-сигир” бўлиб турган тупроқнинг чексиз имкониятлари кейинги 80-йил давомида қадрсизланди, топталди, кўр-кўрона фойдаланилди. Бугунга келиб, озиқ-овқат маҳсулотлари, гўшт, сут, ёғнинг тақчиллиги сезилмоқда. Ер тўғрисидаги салбий ҳолатлар президентимиз Шавкат Мирзиёевнинг назаридан четда қолмади, 2024 йил 2 феврал юртимизда узоқ кутилган мухим хужжат кучга кирди – “Тупроқни мухофаза

қилиш ва унинг унумдорлигини ошириш тўғисида”ги Ўзбекистон республикаси қонуни давлатимиз рахбари томонидан имзоланди. Мамлакатимизда эндиликда тупроқни, ерни асраб-авайлаш ва ундан оқилона фойдаланиш хам давлатнингозиқ овқат хавфсизлиги хам бевосита умуммиллий бойлигимиз бўлган ернинг тупроқ холатига боғлиқ бўлиб қолди.

Ўзбекистон шароитида – тарихда илк бор қишлоқ хўжалиги ерлари ялпи хатловдан ўтказилмоқда. Бугунги кунгача 23 миллион гектар қишлоқ хўжалик ерларининг электрон хариталари яратилиб, геопортал фаолияти изчил йўлга қўйилди. Бу қишлоқ хўжалик ерларига озиқ-овқат маҳсулотларини жойлаштириш масаласида, озиқ-овқат хавфсизлигини таъминлашда, унинг балансини, қайси қишлоқ хўжалик экинларини қандай ерларга, қанча экин экиб, қанча маҳсулот етиштиришни режалаштиришмоқда ҳамда азизу-мукаррам бўлган ер-тупроқни эъзозлашга, унга меҳр кўзи билан муносабат билдиришга ҳар бир фермер ва деҳқонни ундайди.

Ҳозирги даврнинг талаби ва юқоридагиларни таҳлил қилган ҳолда, барчаси тупроқ унумдорлигини сақлаш ва ошириш ўта муҳим бўлган муаммоларни босқичма босқич ечишни тақозо этади.

-Фермер – томорқага ва бошқа кўринишдаги хўжалик мутасаддиларига ердан фойдаланишнинг, тупроққа меҳр беришнинг илмини ўргатиш – уларни замон талабига мос бўлган салоҳиятини таъминлаш.

-Тупроқларнинг бугунги унумдорлик даражасини босқичма-босқич ўрганиш, қайси экинни жойлаштириш бўйича мунтазам мониторинг олиб бориш.

-Деҳқончилик қилиб келинаётган ерларда тупроқдан экин ва ҳосили билан чиқиб кетаётган озиқ моддаларни асосан органик ўғитларни ҳисобидан тўлдириш, илғорларнинг тажрибалари (Олтиариқ, Риштон, Қува, Тошлоқ тумани деҳқонларини тажрибаларидек)ни оммавийлаштириш.

-Органик ўғитлар, тупроққа зиён келтирмайдиган чиқиндилар, гўнг компостлар камида 10-15 тонна, фосфорли, калийли ўғитларни 50-70 % йиллик меъёри ҳисобида кузда ҳайдов остига бериш.

-Тупроқни экиладиган экинларни турига қараб, минтақавий уйғунлашган шудгор ўтказиш ва ерни ҳайдаш. Агрокимё- картограммаси асосида ўғитлашга қатъий риоя қилиш.

-Хар бир фермер хўжалиги ва корхоналарда ерларни бегона ўтлар экин турлари бўйича 11 фоиздан 43 фоизгача ҳосилга зиён келтиради – буни кўпайишига мутлақо йўл қўйиб бўлмайди. Бегона ўтларга механик, кимёвий ва биологик усуллар билан кураш олиб борилади.

-Зараркунандалар ва касалликлар экинларга жиддий зарар кўрсатиб 13 фоиздан 40 фоизгача ҳосилга салбий таъсирини камайтириш чораларини кўриб чиқиш.

-Шудгорланган ерларни лазерли, узун базали теккислагичларда сув равон юрадиган даражада обдон теккислаш зарур.

-Шўрланган тупроқларни шўрини замонавий тартибда поллар олиб ювиш.

-Ўсимлик турлари бўйича касалликларни ва зараркунандаларни турларини аниқлаб қатий чоралар кўриш, йўқотиш учун қишда яхаб суви бериш.

-Сувдан самарали фойдаланиш учун барча ариқ-зовурларни тозалаш, оқар ва зах сувларни равон оқишини таъминлаш.

-Экинлар тури, навларини жойлаштиришда бозор тамоилларига амал қилиш, харидори бор ўсимликни турларини экиш.

-Илм-фан томонидан ҳудудлар бўйича, техника, органик, оргономинерал ўғитларни қатъий тавсиялар асосида қўллаш.

-Алмашлаб экишни жорий этибтупроққа фойдаси тегадиган, бозорда пул бўладиган экинларни беда, дуккакли дон экинлари жайдари нўхат, соя, мош, ловия, люпин, ерёнғоқ, картошка, сабзи каби экинларни экиш.

-Республикада юқорида таъкидланган тавсияларни амалга ошириш орқали тупроқни соғломлаштириш тўғрисидаги камчиликларни бартараф этишнинг асосий йўлларидан бири суғориладиган ерларда қишлоқ хўжалиги ишларини ресурс тежамкор технологиялар билан амалга ошириш, тупроқ унумдорлигини ошириш, уни органик моддалар билан мунтазам тўлдириб бориш эвазига ҳар бир гектар ердан юқори ва сифатли барқарор ҳосил етиштириш мумкин, жумладан пахтадан 45-50 ц, беда пичанидан 220-240 ц, маккажўхори донидан 70-80 ц, маккажўхорининг поясидан 700-750 ц, буғдой донидан 64,70 ц, шолидан 65-80ц, узумдан 200-250 ц, мевалардан 250-200 ц, сабзавот ва полиз экинларидан 650-700ц, картошкадан 250-300ц, ҳосил кўтариш, оралиқ экинлардан олинадиган озиқни 400-500ц га етказишнинг юқорида тавсия қилинган имкониятлар мавжуд.

Аммо, бу имкониятлардан тўлиқ фойдаланмаётганлигимиз туфайли деҳқон мумкин бўлганидан 3 мартадан – 7 маротабагача кам ҳосил етиштирмоқда.

Лекин мамлакатимизда бугунги кунда 1 миллион 200 минг гектар атрофида буғдой экилмоқда. Ҳолбуки, ишга доимий равишда ярайдиган соғлом битта инсон тиббиёт меъёрлари бўйича йилига камида 60-65 кг гўшт истеъмол қилиши керак. Мустақилликнинг кейинги йилларда Ўзбекистонда киши жон бошига етиштирилган гўшт миқдори ўртача 25-26 кг ни ташкил қилмоқда. Мамлакатимизда 38 миллион аҳолининг бу борадаги талабини қисқа муддатда қондиришнинг яна бир муҳим вазифаларидан бири сероқсил соя, люпин, жайдари, нўхат, мош, ерёнғоқ каби дуккакли дон экинларини экиш хамда картошкачиликни ривожлантириш орқали эришиш мумкин. Масалан, гўштга тенг келадиган оқсилли дуккакли дон экинларидан соя ва люпин ўсимлиги таркибида 50 фоизгача, мош, ловия, жайдари нўхатда эса 21% дан 29 % бор. Инсон организимида етишмаган гўшт таркибидаги оқсил ўрнини қоплаш учун одам ҳар куни ўртача 60-80 грамм дуккакли дон маҳсулотини истеъмол қилиши керак. Бунинг учун такрорий экинларни кузги буғдойдан бўшаган ерларга иложи борича вегетация муддати қисқа, 80 кунда пишиб етиладиган тўйимли, витаминларга бой дуккакли экинларнинг майдонларини кескин кўпайтиришни тавсия қиламиз.

Республикамиз аҳолисининг дастурхонини тўкин-сочин қилиш, фаровон ҳаёт кечиришини таъминлашнинг асосий имкониятларидан бири, шахсий томорқа хўжаликларни ерларини, тупроқ таркибини бойитиб, унумдорлигини ошириб бориб, бир мавсумда 3-4 маротаба ҳосил етиширишга эришишдир. Бу борада муайян тажрибалар бор. Чунончи, Олтиариқ, Қува, Тошлоқ, Фарғона, Риштон туманларининг миришкор деҳқонлари 10-12 сотих майдонга камида 20 тонна қуриган гўнг, 400-500 кг соф холид фосфор солиб тупроққа аралаштириб ерни шудгор қиладилар шуни эвазига олтиариқлик деҳқонлар бир мавсумда 4 марта яъни бодринг, биринчи маккажўхори, иккинчи турп, учинчи пушта устида сабзи, тўртинчи хосилни, Ришон туманининг “Қайрағоч” қишлоғи миришкорлари хам 10-12 сотих ердан бир мавсумда камида 4-5 тоннадан бодринг, маккажохори, турп, шолғом, уйни сахни ва кўча томондаги ишкомлардан ҳам камида 3 тонна узум жами 20 тоннадан 25 тоннагача озиқ-овқат маҳсулотлари етиштирмоқдалар. Бир тупидан помидор кўчатидан 40-50 клограммгача ҳосил етиштирмоқдалар. Қуваликлар 8-10 сотих ер олма, нок, беҳи, анор, ўрик, гул, терак, қўйинки барча турдаги мевали-манзарали окам эмас. Бундан ташқари анор мевасини бир тупидан 30кгдан 40кг.гача экологик тоза анор мевасининг хосилини етиштириб бермоқдалар. Юқорида айтилганларимиз фақат тупроқ унумдорлигини сақлаш ва мунтазам ошириб бориб ердан самарали фойдаланиш ҳисобига 8-10 сотих ердан катта даромад олмоқдалар.

Битта оилага берилган томорқа ерини шундай тақсимлаш керакки, унда йил давомида етиштирилган мева чевалар шунингдек картошка, сабзи, пиёз каби сабзавот маҳсулотлари шу оилани таъминлабгина қолмай, ҳатто қишга сақлаб қўйиш, ортганини бозорга олиб чиқиб сотиш учун ҳам етсин.

Бир мавсумда 10 сотих ердан ўртача 20 тонна маҳсулот етиштираётган томорқачи фақат унумдорликни мунтазам ошириб бориши ҳисобига деҳқон 20000 кг маҳсулотини 2 минг ўзбек сўмига пулласа йиллик ялпи даромад 40 миллион сўмни ташкил қилади. Бироқ етиштирилган маҳсулотларни бугунги бозор баҳоси картошка –6, пиёз –5, сабзи –10, бодринг –10, помидор – 10, узум – 10 минг сўмдан кам эмаслигини бозорни ўзи айтиб турибди. Хатто турп, шолғом, ош лавлагини бахоси хам 6-7 минг сўмдан кам эмас.

Хулоса ўрнида маҳсулот етиштириб берган деҳқон ўзини меваси ёки сабзоватини ҳеч қачон бозорда энг кам бўлган 2000 сўмга сотиш учун рози бўлмайди.

Юқорида такидлаб ўтканимиздек, қишлоқ хўжалиги экинларини тўғри алмашлаб экиш, деҳқончиликни юксак маданият билан юритишнинг асосий шартларидан бири бўлиб, унинг энг асосий вазифаси биринчи навбатда аҳолини озиқ – овқат маҳсулотларига бўлган эҳтиёжларини қондириш бўлса, иккинчидан тупроқ унумдорлигини сақлаш, бегона ўтлар, қишлоқ хўжалиги зараркунандалари ва касалликларига қарши самарали курашиш орқали экинлар ҳосилини оширишдан иборат.

Минерал ўғитлар самарадорлиги қанчалик тушиб кетаётганлигини ифодаловчи ушбу мисолларга эътибор беринг. Ҳозир деҳқончиликда азотнинг фойдали коеффициенти 50–70 ўрнига атига 35–40 процентни ташкил этади. Бошқача қилиб айтганда ғўза экилган далаларга солинаётган азотли ўғитларнинг 60 – 70 процентини ғўза истеъмол қилмайди. Ана шу ортиқча азот атроф муҳитига ниҳоятда жиддий хавф туғдирмоқда. Айниқса ерости сувлари юза жойлашган экин майдонларида унинг анчагина қисми сизот, дренаж ва коллектор сувлари билан бирга экологик ҳолатни бузмоқда. Айниқса ғўза ва буғдой экилган майдонлардан катта миқдордаги нитрат азоти коллектор сувларига қўшилиб бутун тирик мавжудотга зарар келтирмоқда.

Турли тупроқ ва агротехника шароитларида ўтказилган дала тажрибаларининг натижаларини умумлаштириш асосида республика учун азотнинг ўртача мақбул меъёрини белгилаш мумкин.

Гектаридан 30-35 центнер ҳосил олиш режалаштирилган майдонларининг ҳар гектарига 140-150 килограмм азот ўртача меъёр ҳисобланиши мумкин. Азотли ўғитни табақалашган усулда қўллаш тупроқнинг 1 метр қатламида гектарига 300 килограммдан кўп азотнинг қолдиғи бор жойларда умуман азотли ўғит солмасдан, пахта, буғдой ва бошқа экинлардан юқори ҳосил олиш имкониятлари мавжудлигини унутмаслик керак.

Тупроқ захирасидаги азот миқдори 300 килограммгача бўлган ерларга азотни йиллик меъёрини ярмини солиб ҳосилдорликни кўтариш мумкин.

Тупроқ таркибидаги нитратли азотнинг захираси 150 килограммгача етган ерларда белгиланган меъёрга риоя қилиш керак. Ана шундай асосда тупроқдаги қолдиқ азотнинг миқдорига кўра агрокимёвий картограммага эга бўлиб ва пахтачиликда тупроқларнинг азотга эҳтиёжини аниқлаб, юқорида айтилган 140 килограммли нормани ҳам анчагина камайтириш мумкин. Фосфорли ўғитларни қўлланишда ҳам жиддий камчиликлар ва ташвишли ҳол рўй бераяпти. Кейинги 50 йилда ғўзани ва бошқа экинларни вегетация даври давомида фосфор ўсимликнинг биологик эҳтиёжига нисбатан 5 ҳатто 6 баробар кўп қўлланилганлиги ниҳоятда ачинарлидир. Оқибатда тупроқнинг 1 метрлик қатламида хар бир гектар ер хисобига 2.000 килограммдан зиёд захирадаги фосфор тўпланиб қолди. Тупроқдаги ортиқча, тўпланиб қолган азот, фосфор, калийни миқдорини инобатга олиб қишлоқ хўжалик экин майдонларига солинадиган ўғитларнинг меёрларини янгидан ўрганиш асосида фосфорли ўғитларни табақалашган усулда қўллашни мақсадга мувофиқ деб ҳисоблайман.

Хорижий мамлакатларда экологик жиҳатдан тупроқнинг аҳволи танглигига, тупроқнинг унумдорлиги йўқолиб бораётганлигини бизга нисбатан 40–50 йил олдинроқ англаб етишди. Синтетик кимёвий моддаларни тупроқ экологиясига салбий таъсирини ўйламасдан қўлланиши ўта ёмон оқибатларга олиб келишини тушуниб, аҳволни тубдан яхшилаш чораларини кўришди. Кўплаб мамлакатларда синтетик минерал ўғитлар ва пестицидларнинг меъёрини кескин камайтиришга эришдилар. Ҳатто қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини етиштиришда синтетик ўғитлардан, айниқса пестицидлардан тўласича воз кечиб, “органик деҳқончилик”ни жорий этишмоқда. Шуни унутмаслик керак, кейинги 70 йилда ер юзида минерал ўғит ва пестицидларнинг энг кўп меъёрлари бизнинг республикамизда қўлланилган.

Биз пахтачиликни, умуман қишлоқ қишлоқ хўжалигини муттасил равнақ топтиришни таъминлайдиган ягона йўл бор деб ҳисоблаймиз. Шу пайтгача ердан олинган макро-микро моддаларни тўлалигича қайтариш, тупроқнинг унумдорлигини мумкин қадар кўтариш, кейинчалик эса ана шу кўрсаткични йил сайин оширишни ҳали ҳеч ким ўйлаганича йўқ. Бу ниҳоятда мураккаб, лекин бугунги кунда тупроқни оғир аҳволдан қутқаришнинг энг арзон ва ягона бажариш мумкин бўлган ечимидир. Бемор тупроқни, юқоридаги таклифларни босқичма-босқич амалга ошириш йўли билан соғломлаштириб, тупроқ унумдорлигини тубдан ислоҳ қилиш мумкин.

Айни шу масалада бўладиган ҳар хил йўл-йўриқлар, қарорларни ечимлари органик деҳқончиликка, тупроқ унумдорлигини сақлаш ва оширишга қаратилган бўлиши керак.

Тупроқ унумдорлигини тиклаш ва оширишга фақат органик моддалар орқали эришилиши ҳаммага маълум. Органик ўғитларни, гўнг ресурсларини чекланганлиги (ҳар гектар экинзорга 1,5 тонна) муносабати билан тупроқни органик моддалар билан тўлдиришнинг асосий манбаи беда билан кўпроқ алмашлаб экиш ҳисобланади. Кузги буғдойдан кейин такрорий сифатида соя, люпин, ерёнғоқ, жайдари, нўхат каби экинлар тупроқ унумдорлигини оширади. Тупроқда бир йилда 5-15 тоннагача илдиз қолдиқларини қолдиради. Тупроқда соф ҳолда 100-120 килограммгача азот билан тўлдиради.

Маълумки, қора қозонни қайнатиш учун гўшт асосий ва нархи юқори маҳсулотлардан ҳисобланади. Умуман озиқ-овқат тайёрлашда гўштнинг ўрни бошқача Гўштсиз таомлар ҳам кутилган маззани таъмни бермаслиги ёш болага ҳам маълум. Шундай экан, гўшт етиштиришни кўпайтириш зарур. Бу мақсадга эришиш учун ишни оиладаги ердан, томорқадан бошлаш керак. Бу масалада қишлоқ фуқаролар йиғинидан сайланган ҳоким ёрдамчиларига, ҳар бир оилада бир бош бузоқли соғин сигир, камида 10 та товуқ ва хўроз сақланиши зарурлигини тарғиб қилиш вазифаси белгиланиши зарур. Юртимиздаги мавжуд 30 мингдан ортиқ қишлоқнинг ҳар бир хонадонида шу тартиб амалга оширилса, унинг самараси жуда юқори бўлади. Шунинг билан бирга ерга органик ўғит ва гўнг солинади унумдорлиги ортади.

Бугунги кунда бир бош болали сигирни боқиш учун йил давомида ўртача 14000 кг пичан 13000 кг сомон, 5000 кг силос, 1000 кг омухта ем, 1700 кг кўк ўт сарфланади. Бу миқдордаги ем-ҳашак пулга чақилса, 14000600 (ўн тўрт миллион олти юз) минг сўмни ташкил этади. Бунда бир туну кунда бир бош сигир боласи билан кунига 40.5 кгпичан, 38.5кгсомон,13.5кг силос, 2.5кг омихта ем, 4.6кг кўк ўт сарфлайди.

Соғин сигирга 12 ой ичида юқоридаги озиқ компонентлари тўлиқ берилиб, кунига 12 литрдан

сут-соғиб олинса, 10 ой мобайнида етиширилган сут 3600 литрга етади, бозор баҳосида 1 литр сутнинг нархи 8 минг сўмдан 10 минг сўмгачалигини ҳисобга олиниб, унинг ўртача нархини 6 минг сўмдан олиб ҳисоблаганимизда ҳам 3600 литрдан 21000000(йигирма бир миллион) сўм даромад олинади. Ундан юқоридаги компонентларининг бугунги бозор нархлари бўйича айириб ташланса 21000000-14000600=7599400 сўм соф қолади. Демак бир бош сигирдан фақат сутини ҳисобига 7599400 миллион сўм соф фойда олиш мумкин. (бозор нархларда чиқарилган бу натижалар бугунги бозор баҳосида янада салмоқли бўлади). Албатта шу давр ичида сигирнинг боласи вояга етади, битта мол 2 та бўлади. Йил давомида 2 бош молдан бир кунда 20 кг гўнг жамғарилганда йил давомида 7320 кг соф гўнг жамғарилади. Жамғарилган гўнг шу хонадоннинг томорқаси учун етиб ортади, қолганини қўшнисига ҳам бериши мумкин. Жамғарилган гўнг 8-10 сотихга солинганда гектари хисобга айлантирилса солинган органик гўнг 35-40 тоннага тўғри келади.

Энди хомчўт қилиб кўринг агар бир хонадонда бир бош сигир боласи билан, 4-5 бош қўй ва эчки ёки бошқа ҳайвонлар, 20-30 бош товуқ асралса қўшимча даромад ва ўзини томорқасига гўнг сотиб олмайди.

2024 йил 8 ноябр куни имзоланган “Қишлоқ хўжалиги кооперативи тўғрисидаги” қонуни хам соха ривожига, хамкорликнинг хукукий асосларини яна мустахкамлашга қаратилгани билан ахамиятлидир. Янги кооператив тизимда қишлоқ хўжалиги миқдорлари фермер хўжаликлари ёки дехқонлар ўзаро бирлашиш ишлари, бир хўжаликни имкони етмаган масалаларни хамкорликда хал этишлари мумкин. Хозирги кунда Юртимизда 671 та агрокластерлар, 91 мингдан зиёд фермер хўжаликлари 5.5 миллион нафардан ортиқ томорқа ер эгалари мавжудлигини инобатга олсак, унинг қанчалик мухим долзарблиги янада ортади. Юртимизда 20 миллион гектар ерда озиқ овқат махсулотлари иқтисодиёт тармоқлари учун зарур қишлоқ хўжалиги махсулотларини етиштирмоқдалар.

Томорқа ерига эътибор билан қараган эккан экинидан юқори ҳосил етиштирган деҳқон-фермер қора қозонини қайнатиш учун ҳеч қачон бозорга чиқмайди, балки даласида етиштиради, ўзини ўзи ва ёнидагиларни ҳам таъминлайди. Натижада оиласи учун захира қолдиради, ортиқчасини сотади, бозор маҳсулотга тўлади. Бозорларда маҳсулот салмоғини ортиб боргани сари рақобат юзага келиб, нарх-наво ўз-ўзидан арзонлашади. Умуман, томорқа ҳисобига қўшимча иш жойлари яратилади. Фарзандларимизнинг беъмани ишлар билан шуғулланишини олди олинади, улар ўз пешона тери билан ҳалол яшашга ўрганадилар.

Демак, хонадонларда шахсий ёрдамчи хўжаликлар билан узвий боғлиқликда ривожлантириш ҳар бир хонадонда мўмай даромад манбайигина бўлиб қолмай тупроқни соғломлаштириб, унумдорлигини тиклаб гўшт, сут, ёғ муаммоларини ечишига изчил имкониятларига йўл очилади.

Адабиётлар

[1]. Domuladjanov, I.X., Domuladjanova, Sh.I., Latipova, M.I., & Kholmirzaev, Yu.M. (2020). Textile complex “DEU Textile Company” and its impact on the environment of Kushtapin district. *Universum: Technical Sciences*, (7(76), Part 1), 30–33. Moscow: MCNO Publishing.

[2]. Domuladjanov, I.X., Teshaboev, A.M., Domuladjanova, Sh.I., & Latipova, M.I. (2020). Atmospheric pollution from emissions of LLC “A-Service”. *Universum: Technical Sciences*, (7(76), Part 1), 6–9. Moscow: MCNO Publishing.

[3]. Domuladjanov, I.X., Teshabaev, A.M., Domuladjanova, Sh.I. (2020). *Technologies for producing quicklime from waste of JSC “Farg’onaazot”*. Monograph for students and industry specialists. 72 p. Available at: www.lap-publishing.com

[4]. Domuladjanov, I.X., Latipova, M.I., & Nasretdinova, F.N. (2020). Geomorphology, relief, geological building in the development of "Project of Environmental Standards". *EPRA International Journal of Research and Development (IJRD)*, 5(6), 136–139.

[5]. Domuladjanov, I.X., Domuladjanova, Sh.I., Latipova, M.I., & Dadakuziev, M.R. (2021). Impact of facilities on the acoustic regime of the territory. *Universum: Technical Sciences*, 3-1(84).

[6]. Ibragimjon Domuladjanov, Odiljon Ibragimov, & Shahlo Domuladjonova. (2023). The especially hazardous pesticides in Uzbekistan. *Journal of Survey in Fisheries Sciences (JSFS)*, forthcoming special issue, 2023–2072. Retrieved from http://sifisheriessciences.com/page/21/

[7]. Ibragimov, B.O., & Domuladjanov, I.X. (2020). Formation of the leaf surface of cotton depending on sowing dates and varietal characteristics. In *Melioration as a driver of agricultural modernization under climate change: Proc. of Int. Scientific–Practical Online Conference, 13–20 July 2020* (pp. 34–36). Novocherkassk: Lik. ISBN 978-5-907158-89-4

[8]. Ibragimov, B.O., & Ibragimov, O.O. (2020). Influence of sowing dates and varietal characteristics on the growth and development of cotton. In *Melioration as a driver of agricultural modernization under climate change: Proc. of Int. Scientific–Practical Online Conference, 13–20 July 2020* (pp. 37–40). Novocherkassk: Lik. ISBN 978-5-907158-89-4

[9]. Ibragimov, O.O., & Domuladjanov, I.X. (2020). Prospective tasks of dehkan and farmer households. *Scientific-Technical Journal "FerPI"*, 24(Special Issue 1, Part 1), 61–67.
[10]. Ibragimov, O.O., & Domuladjanov, I.X. (2020). Let's talk about agriculture of Uzbekistan. In *Proc. of the International Conference "Process Management and Scientific Developments"* (pp. 187–195). Birmingham, UK.
[11]. Ibragimov, O.O., & Domuladjanov, I.X. (2022). On the issue of growing agricultural crops. *Neuroquantology*, 20(12), 3051–3057. https://doi.org/10.14704/NQ.20.12.NQ77304
[12]. Qulmatov, R.A., Domuladjanov, I.X., & Domuladjanova, Sh.I. (2020). Modern research methods. *Scientific-Technical Journal (STJ FerPI)*, 24(6), 164–172.
[13]. Domuladjanov, I.X., Domuladjanova, Sh.I., & Ibragimov, O.O. (2022). Waste from enterprises of Fergana region. *Scientific-Technical Journal (STJ FerPI)*, 26(Special Issue 8), 160–162.
[14]. Ibragimov, O.O., & Domuladjanov, I.X. (2022). Developing agriculture to reduce poverty: A pressing task. *Scientific-Technical Journal (STJ FerPI)*, 26(1), 128–135.
[15]. Ibragimov, O.O., & Domuladjanov, I.X. (2022). On the way to achieving strategic goals. *U55 Universum: Economics and Jurisprudence*, 1(88), 34–39. Retrieved from http://7universum.com/ru/economy/archive/category/188
[16]. Ibragimov, O.O., & Domuladjanov, I.X. (2022). On the way to supporting international relations. *U55 Universum: Economics and Jurisprudence*, 1(88), 39–44. Retrieved from http://7universum.com/ru/economy/archive/category/188

УДК 66.074.3:66.081.6:553.674

ЭКСПАНЗЕР ГАЗЛАРИНИ ТОЗАЛАШДА МАҲАЛЛИЙ ХОМ АШЁЛАР АСОСИДА ОЛИНГАН ХЕМОСОРБЕНТЛАРНИНГ ФИЗИК–КИМЁВИЙ ВА СОРБЦИОН ХУСУСИЯТЛАРИ

С.А. Жонибоев[1], О.Т. Сайдалиев[2] Н.А. Игамкулова[1], Ш.Ш. Менглиев[1]

[1]Тошкент кимё–технология институти
[2]Фарғона давлат техника университети
**Mas'ul muallif, e-mail: n.abduvaliyevna@gmail.com*
(Қабул қилинди 06.04.2026 й.)

Аннотация. *Мақолада маҳаллий алюмосиликат хом ашё – бентонит асосида металл ионлари билан модификацияланган хемосорбентларни синтез қилиш, уларнинг физик–кимёвий ва сорбцион хусусиятларини тадқиқ қилиш ҳамда экспанзер қурилмаларидан чиқадиган паст ҳароратли газ оқимларини кислота компонентлардан (H_2S ва CO_2) тозалаш жараёнида қўллаш имкониятларини баҳолаш натижалари келтирилган. Сорбентлар кимёвий модификация ва термик фаоллаштириш усуллари орқали тайёрланди. Тадқиқот натижаларига кўра модификация натижасида сорбентнинг махсус сирт майдони 62 м²/г дан 176 м²/г гача, ғовак ҳажми эса 0,18 см³/г дан 0,41 см³/г гача ошгани аниқланди. Модификацияланган сорбентларда H_2S ни ютиш қобилияти табиий бентонитга нисбатан 3–4 баробар юқори бўлиб, максимал сорбция сиғими 67 мг/г ни ташкил этди. Ҳарорат таъсири адсорбция жараёни экзотермик хусусиятга эга эканини кўрсатди. Динамик тадқиқотлар сорбентнинг юқори ишлаш қобилиятига эга эканини тасдиқлади. Олинган натижалар маҳаллий хом ашёлар асосида синтез қилинган сорбентлар экспанзер газларини тозалаш учун истиқболли материаллар эканини кўрсатди.*

Калит сўзлар: *экспанзер газлари, хемосорбент, бентонит, H_2S, CO_2, адсорбция, сорбция сиғими, газ тозалаш, алюмосиликат сорбент.*

Аннотация. *В статье представлены результаты синтеза модифицированных хемосорбентов на основе местного алюмосиликатного сырья – бентонита, исследования их физико–химических и сорбционных свойств, а также оценки эффективности применения для очистки низкотемпературных газовых потоков, выходящих из экспандерных установок, от кислотных компонентов (H_2S и CO_2). Сорбенты получены методом химической модификации с последующей термической активацией. Установлено, что модификация приводит к увеличению удельной поверхности с 62 до 176 м²/г и объёма пор с 0,18 до 0,41 см³/г. Адсорбционная способность по H_2S модифицированных образцов в 3–4 раза выше по сравнению с природным бентонитом, при максимальной сорбционной ёмкости 67 мг/г. Исследование температурного влияния показало экзотермический характер процесса адсорбции. Динамические испытания подтвердили высокую*

работоспособность сорбента. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования сорбентов на основе местного сырья для очистки экспандерных газов.

Ключевые слова: *экспандерные газы, хемосорбент, бентонит, H_2S, CO_2, адсорбция, сорбционная ёмкость, очистка газа, алюмосиликаты.*

Abstract. *This paper presents the synthesis of modified chemisorbents based on local aluminosilicate raw material (bentonite), investigation of their physicochemical and sorption properties, and evaluation of their applicability for purification of low–temperature gas streams from expander units from acid components (H_2S and CO_2). The sorbents were prepared by chemical modification followed by thermal activation. The results showed that modification increased the specific surface area from 62 to 176 m^2/g and pore volume from 0.18 to 0.41 cm^3/g. The H_2S adsorption capacity of the modified sorbents was 3–4 times higher than that of natural bentonite, with a maximum sorption capacity of 67 mg/g. Temperature studies indicated the exothermic nature of the adsorption process. Dynamic experiments confirmed the high performance of the sorbent. The obtained results demonstrate that sorbents synthesized from local raw materials are promising materials for purification of expander gases.*

Keywords: *expander gases, chemisorbent, bentonite, hydrogen sulfide, carbon dioxide, adsorption, sorption capacity, gas purification, aluminosilicates.*

Кириш. Ҳозирги кунда табиий газни чуқур қайта ишлаш ва унинг таркибидаги нордон компонентларни (H_2S, CO_2) самарали ажратиб олиш нефт–газ саноатининг устувор илмий–технологик йўналишларидан бири ҳисобланади. Газ таркибидаги нордон компонентлар технологик қурилмалар коррозиясини кучайтириши, энергия самарадорлигини пасайтириши ҳамда атроф–муҳитга салбий таъсир кўрсатиши сабабли уларни самарали бартараф этиш долзарб масалалардан ҳисобланади [1]. Шу нуқтаи назардан газни тозалаш учун юқори самарали сорбентлар ишлаб чиқиш ва уларнинг илмий асосларини ўрганиш муҳим аҳамиятга эга.

Сўнгги йилларда экспанзер қурилмаларидан чиқадиган паст ҳароратли газ оқимларини тозалаш масаласига алоҳида эътибор қаратилмоқда. Экспанзер газлари таркибида нордон компонентларнинг мавжудлиги кейинги технологик босқичларда адсорбентларнинг деградациясига, қурилмалар ишлаш муддатининг қисқаришига ва эксплуатацион харажатларнинг ошишига олиб келиши мумкин [2]. Шу сабабли паст ҳарорат шароитида самарали ишлайдиган сорбентларни яратиш долзарб илмий вазифалардан бири ҳисобланади.

Жаҳон амалиётида газ тозалаш жараёнларида аминли эритмалар, цеолитлар, алюмосиликатлар ва турли модификацияланган адсорбентлар кенг қўлланилмоқда [3]. Тадқиқотлар шуни кўрсатадики, сорбент структураси, ғоваклик параметрлари ва актив марказлар табиати сорбция жараёни самарадорлигига тўғридан–тўғри таъсир кўрсатади. Айниқса, алюмосиликат сорбентларни кимёвий модификация қилиш орқали H_2S ва CO_2 ни ажратиш самарадорлигини сезиларли ошириш мумкинлиги илмий жиҳатдан асосланган.

Сўнгги тадқиқотларда маҳаллий минерал хом ашёлар, жумладан бентонит, каолин ва алюмосиликат жинслари асосида сорбентлар синтез қилиш иқтисодий ва технологик жиҳатдан мақбул йўналиш экани қайд этилмоқда. Маҳаллий хом ашёлар асосида олинган сорбентлар арзонлиги, қайта тикланиш имконияти ва экологик хавфсизлиги билан ажралиб туради. Айрим тадқиқотларда модификацияланган бентонит сорбентлар H_2S ни юқори даражада ютиш қобилиятига эга экани кўрсатилган. Шу билан бирга, сорбентларнинг кислоталик марказлари сони ва уларнинг тақсимланиши сорбция механизмига сезиларли таъсир кўрсатиши аниқланган [4].

Газларни тозалаш жараёнларида хемосорбция усули алоҳида аҳамият касб этади, чунки бу жараёнда моддаларнинг кимёвий боғланиши ҳисобига юқори селективлик ва сорбция сиғими таъминланади [5]. Илмий тадқиқотларда хемосорбентларнинг актив марказлари табиати, уларнинг кислоталик–асослик хусусиятлари ва структураси сорбция самарадорлигини белгиловчи асосий омиллар экани кўрсатилган [6]. Шу билан бирга паст ҳарорат шароитида газларни тозалаш учун сорбентларнинг термодинамик барқарорлиги муҳим аҳамиятга эга [7].

Бироқ мавжуд тадқиқотларни таҳлил қилиш шуни кўрсатадики, экспанзер газларини тозалаш учун махсус мўлжалланган маҳаллий хом ашёлар асосида олинган

хемосорбентларнинг физик–кимёвий ва сорбцион хусусиятлари етарли даражада комплекс тадқиқ қилинмаган. Айниқса, сорбент структураси, актив марказлар табиати ва сорбция механизми ўртасидаги боғлиқликни чуқур ўрганиш илмий жиҳатдан муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Шу муносабат билан мазкур ишнинг мақсади маҳаллий хом ашёлар асосида олинган хемосорбентларнинг физик–кимёвий хусусиятларини аниқлаш, уларнинг сорбцион параметрларини баҳолаш ва экспанзер газларини тозалаш жараёнида қўллаш имкониятларини тадқиқ қилишдан иборат.

2. Тажриба қисм. Тадқиқот объекти сифатида экспанзер қурилмасидан чиқадиган паст ҳароратли табиий газ оқими таркибидаги нордон компонентларни (H_2S ва CO_2) ютиш жараёни танланди. Сорбция тадқиқотлари учун маҳаллий минерал хом ашё асосида синтез қилинган хемосорбент намуналари ишлатилди.

Сорбент тайёрлаш учун алюмосиликат табиатли маҳаллий бентонит (Зарафшон кони) асосий хом ашё сифатида қўлланилди. Хом ашё дастлаб механик аралашмалардан тозаланди, 110°C ҳароратда 6 соат давомида қуритилди ва лаборатория майдалагичида майдаланиб 0,1–0,5 мм фракциягача элакдан ўтказилди.

Сорбентларни модификация қилишда металл ионлари манбаи сифатида темир (III) хлорид ($FeCl_3$), мис (II) сульфат ($CuSO_4$) ва натрий гидроксид (NaOH) реактивлари қўлланилди. Барча реактивлар аналитик тозалик даражасида бўлиб, дистилланган сувда тайёрланди.

Экспериментал тадқиқотларда саноат экспанзер газлари таркибига яқинлаштирилган модел газ аралашмаси ишлатилди. Газ таркиби қуйидагича шакллантирилди:

CH_4 – 90–95 % CO_2 – 3–5 %

H_2S – 0,2–1,0 % N_2 – қолган қисми

Газ аралашмасини тайёрлаш стандарт газ баллонлари орқали амалга оширилди.

Сорбентларни тайёрлаш кимёвий модификация ва термик фаоллаштириш усуллари орқали амалга оширилди. Кимёвий модификация усули минерал сорбентларнинг ғовак структурасига фаол компонентларни жойлаштириш имконини беради ва сорбция марказлари сонини оширади.

Кимёвий модификация жараёнида бентонит намунаси металл тузлари эритмаси билан 1:5 нисбатда аралаштирилди ва магнит аралаштиргичда 6 соат давомида сақланди. Кейин намуналар фильтрланди ва 105°C да 8 соат қуритилди. Термик фаоллаштириш жараёни 400–500°C ҳароратда муфел печида амалга оширилди. Термик ишлов сорбент сиртида металл оксид марказлари ҳосил бўлишига ва структура барқарорлигини оширишга хизмат қилади.

Синтез қилинган сорбентларнинг структура ва текстура хусусиятлари инструментал таҳлил усуллари ёрдамида баҳоланди.

Сорбцион хусусиятлар динамик колонна усулида ўрганилди. Колонна диаметри 20 мм ва баландлиги 300 мм бўлиб, унга маълум массада сорбент жойлаштирилди. Газ оқими белгиланган сарф ва босимда колонна орқали ўтказилди. Газ таркибидаги H_2S концентрацияси кириш ва чиқиш нуқталарида газ анализатор ёрдамида аниқланди.

3. Натижа ва таҳлиллар. Синтез қилинган маҳаллий хом ашё асосидаги хемосорбентларнинг самарадорлигини баҳолаш мақсадида уларнинг структура, текстура ва сорбцион хусусиятлари комплекс равишда тадқиқ қилинди. Сорбентларнинг физик–кимёвий параметрлари газ фазасидаги нордон компонентларни ютиш жараёни самарадорлигини белгиловчи асосий омиллардан бири ҳисобланади. Айниқса, махсус сирт майдони, ғоваклик структураси, функционал актив марказлар сони ва уларнинг тақсимланиши адсорбция ва хемосорбция жараёнларининг кинетик ҳамда термодинамик хусусиятларига бевосита таъсир кўрсатади.

Маҳаллий алюмосиликат минералларни кимёвий модификация қилиш натижасида сорбент структурасида актив марказлар шаклланиши, ғовак каналларининг ривожланиши ва реакцион қобилиятнинг ошиши кутилмоқда. Бу эса газ таркибидаги H_2S ва CO_2 молекулаларининг сорбент сирти билан ўзаро таъсирини кучайтириб, сорбция сиғими ва

селективлигини оширишга хизмат қилади. Шу нуқтаи назардан синтез қилинган сорбентларнинг физик–кимёвий хусусиятларини аниқлаш ва уларни табиий минерал билан солиштириш илмий жиҳатдан муҳим аҳамиятга эга.

Синтез қилинган сорбент намуналарининг структура параметрлари BET таҳлил усули орқали баҳоланди.

1–жадвал

Сорбентларнинг текстура параметрлари

№	Намуна	Махсус сирт майдони, м²/г	Ғовак ҳажми, см³/г	Ўртача ғовак диаметри, нм
1	Табиий бентонит	62	0.18	11.6
2	Модификацияланган сорбент–1	148	0.32	8.9
3	Модификацияланган сорбент–2	176	0.41	7.4

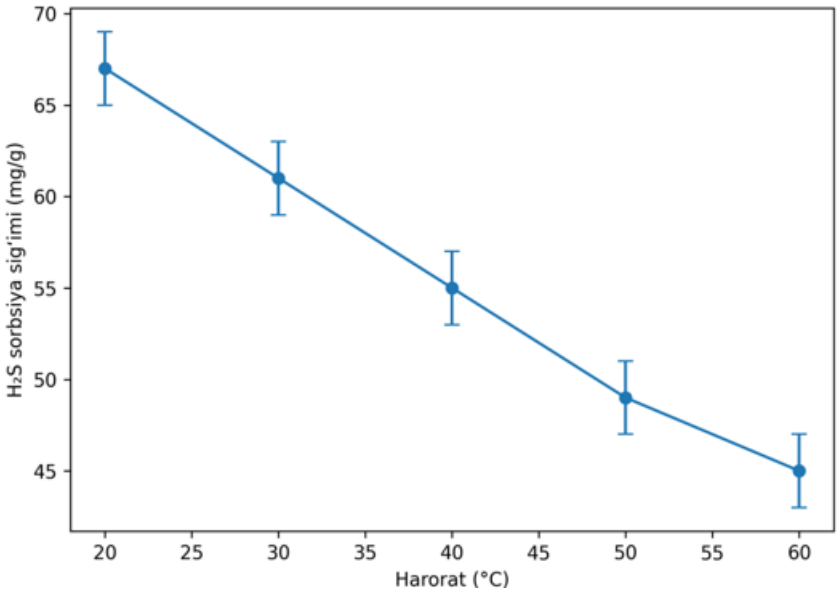
Кимёвий модификация натижасида сорбентнинг махсус сирт майдони 2–3 баробарга ошгани аниқланди. Бу ҳолат актив марказлар сони ортиши ва ғовак структуранинг яхшиланиши билан изоҳланади. Алюмосиликат сорбентларни модификация қилиш адсорбцион хусусиятларни яхшилаши илмий адабиётларда қайд этилган.

Сорбентларнинг H_2S ва CO_2 ни ютиш қобилиятини баҳолаш уларнинг амалий қўлланиш имкониятларини аниқлашда муҳим ҳисобланади.

2–жадвал

Сорбентларнинг сорбция сиғими

Намуна	H_2S сорбцияси, мг/г	CO_2 сорбцияси, мг/г
Табиий бентонит	18	9
Сорбент–1	54	28
Сорбент–2	67	34



1–расм – Ҳароратнинг H_2S сорбция сиғимига таъсири (P = 0.5 MPa, G = 100 ml/min).

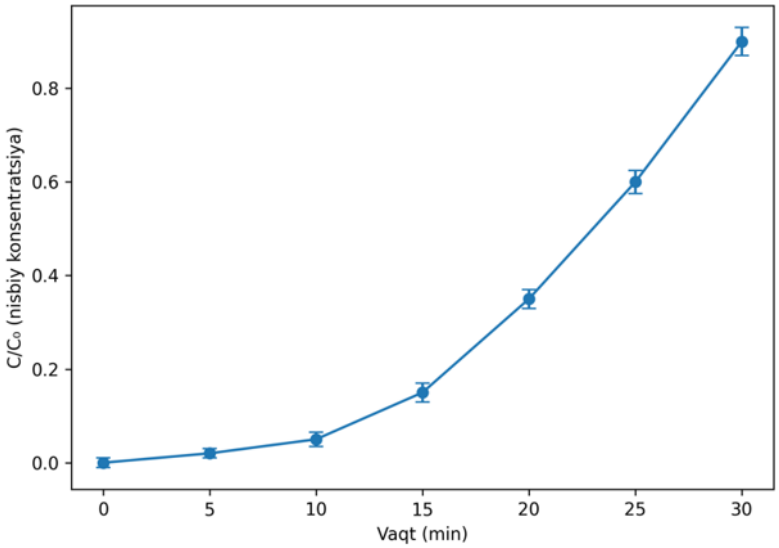
Модификацияланган сорбентларда H_2S ютиш қобилияти 3–4 баробарга ошган. Бу металл марказлар иштирокида кимёвий боғланиш реакциялари содир бўлиши билан изоҳланади.

Сорбция жараёнига ташқи омиллар таъсирини баҳолаш саноат шароитида оптимал иш режимларини танлаш учун муҳим. Ҳароратнинг таъсири 1–расмда келтирилган.

Расмдан кўриниб турибдики, ҳарорат ошиши билан сорбция самарадорлиги пасаяди. Бу адсорбция жараёни экзотермик хусусиятга эга эканини кўрсатади.

Сорбентларнинг динамик шароитда ишлаш қобилияти саноат қурилмаларини лойиҳалаш учун муҳим ҳисобланади. Натижалар 2–расмда келтирилган.

Тўйиниш вақтининг узоқ бўлиши сорбентнинг юқори динамик сорбция қобилиятига эга эканини кўрсатади.



2–расм – H_2S сорбциясининг динамик тўйиниш эгри чизиғи (T = 25 °C, P = 0.5 MPa)

Кинетик таҳлил натижалари иккинчи тартиб кинетик модели эксперимент маълумотларга яхшироқ мос келишини кўрсатди. Бу сорбция жараёни кимёвий реакция босқичи билан чекланишини англатади.

Маҳаллий бентонитни модификация қилиш сорбент структурасини яхшилайди. Металл марказлар иштирокида H_2S ютилиши самарадорлиги ошади. Паст ҳарорат шароити экспанзер газлари учун оптимал ҳисобланади. Сорбция механизми асосан хемосорбция табиатга эга.

4. Хулоса. Ушбу ишда маҳаллий алюмосиликат хом ашё – бентонит асосида металл ионлари билан модификацияланган хемосорбентлар синтез қилиниб, уларнинг физик–кимёвий ва сорбцион хусусиятлари комплекс равишда тадқиқ қилинди ҳамда экспанзер қурилмаларидан чиқадиган паст ҳароратли газ оқимларини кислота компонентлардан тозалаш жараёнида қўллаш имкониятлари баҳоланди.

Тадқиқот натижалари кимёвий модификация жараёни сорбентларнинг структура параметрларини сезиларли даражада яхшилашини кўрсатди. Хусусан, махсус сирт майдони 62 м²/г дан 176 м²/г гача, ғовак ҳажми эса 0,18см³/г дан 0,41 см³/г гача ошгани аниқланди. Морфологик таҳлиллар модификация натижасида каналсимон ғоваклар ва микроструктура ривожланганини кўрсатди, бу эса газ молекулаларининг диффузия жараёнини тезлаштиришга хизмат қилди.

Сорбция тадқиқотлари натижасида модификацияланган сорбентларнинг H_2S ни ютиш қобилияти табиий бентонитга нисбатан 3–4 баробар юқори экани аниқланди. Максимал сорбция сиғими 67 мг/г га етди. Бу ҳолат металл функционал марказлар иштирокида кимёвий боғланиш реакциялари содир бўлиши билан изоҳланади. Ҳарорат таъсирини ўрганиш адсорбция жараёни экзотермик хусусиятга эга эканини кўрсатди ва 20–30°C оралиғида юқори сорбция самарадорлиги кузатилди. Паст ҳарорат шароитида юқори самарадорлик экспанзер газларини тозалаш учун муҳим технологик афзаллик ҳисобланади.

Динамик тадқиқотлар натижалари сорбентнинг юқори ишлаш қобилиятига эга эканини кўрсатди, тўйиниш вақтининг 15 минутдан ортиқ бўлиши эса уни колонна типидаги саноат қурилмаларида қўллаш имконияти мавжудлигини тасдиқлади. инетик таҳлил натижалари сорбция жараёни иккинчи тартиб кинетик моделига мувофиқ келишини кўрсатиб, унинг асосан хемосорбция механизми билан чекланишини тасдиқлади. Термодинамик параметрларнинг манфий қийматлари ($\Delta G° < 0$, $\Delta H° < 0$) жараённинг ўз–ўзидан боришини ва экзотермик табиатга эга эканини кўрсатди.

Олинган натижалар асосида маҳаллий бентонит асосида синтез қилинган модификацияланган сорбентлар экспанзер газларини H_2S ва CO_2 дан тозалаш учун юқори самарадорликка эга истиқболли материаллар экани аниқланди. Ушбу сорбентларни қўллаш газни қайта ишлаш жараёнларида энергия тежамкор технологияларни жорий қилиш, импорт сорбентлардан фойдаланишни камайтириш, эксплуатацион харажатларни пасайтириш ҳамда экологик хавфсизликни ошириш имконини беради.

Келгусида олиб бориладиган тадқиқотларда сорбентларнинг узоқ муддатли эксплуатацион барқарорлигини баҳолаш, регенерация жараёнларини оптималлаштириш ва саноат шароитида тажриба–саноат синовларини ўтказиш мақсадга мувофиқ ҳисобланади.

Адабиётлар

[1]. Speight J. G. Natural Gas: A Basic Handbook. – Gulf Professional Publishing, 2019. –512p.
[2]. Mokhatab S., Poe W., Mak J. Handbook of Natural Gas Transmission and Processing. – Elsevier, 2015. – 964 p.
[3]. Wang S., Peng Y. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment // Chemical Engineering Journal. – 2010. – Vol. 156. – P. 11–24.
[4]. Bhattacharyya K., Gupta S. Adsorption of a few heavy metals on natural and modified kaolinite and montmorillonite // Advances in Colloid and Interface Science. – 2008. – Vol. 140. – P. 114–131.
[5]. Foo K. Y., Hameed B. H. Insights into adsorption isotherm modeling // Chemical Engineering Journal. – 2010. – Vol. 156. – P. 2–10.
[6]. Samanta A. et al. Post–combustion CO_2 capture using solid sorbents: a review // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2012. – Vol. 51. – P. 1438–1463.
[7]. Plaza M. G. et al. CO_2 capture by adsorption with nitrogen enriched carbons // Fuel. – 2007. – Vol. 86. – P. 2204–2212.

УДК 620.97:661.96:544.478

MAIN METHODS OF HYDROGEN PRODUCTION AND CURRENT GLOBAL DEVELOPMENT TRENDS

M.Y. Tojimamatova, D.M. Qosimov

Fergana State Technical University,
**Corresponding author, e-mail: m_tojimamatova@mail.ru*
(Received on April 6 th, 2026)

Abstract. *Hydrogen is widely recognized as a pivotal energy carrier for the global transition to a low-carbon economy. This article provides a comprehensive review of the six principal hydrogen production methods: Steam Methane Reforming (SMR), electrolysis, biomass gasification, photobiological water splitting, thermochemical water decomposition, and nuclear hydrogen production. Drawing upon authoritative international and regional sources published within the past decade (2015–2025), the study examines the technical efficiency, economic viability, environmental impact, and technology readiness level (TRL) of each method. The article further analyzes global market dynamics, investment flows, and cost reduction trajectories. Research findings are presented through three data tables and three comparative diagrams. Results indicate that while SMR currently dominates global hydrogen supply, green hydrogen via electrolysis is experiencing unprecedented growth and is projected to achieve cost parity with grey hydrogen by 2030–2035. Recommendations are provided for accelerating the deployment of sustainable hydrogen technologies in the context of Central Asian energy systems, including Uzbekistan.*

Keywords: *green hydrogen, steam methane reforming, PEM electrolysis, biomass gasification, nuclear hydrogen, photobiological splitting, hydrogen economy, energy transition, Uzbekistan, IRENA, IEA.*

Annotatsiya. Vodorod global miqyosda kam uglerodli iqtisodiyotga o‘tishning asosiy energiya tashuvchisi sifatida tan olingan. Ushbu maqolada vodorod ishlab chiqarishning oltita asosiy usuli atroflicha ko‘rib chiqiladi: bug‘li metan riforming (SMR), elektroliz, biomassani gazlashtirish, suvni fotobiologik parchalash, suvni termokimyoviy parchalash va yadroviy vodorod ishlab chiqarish. O‘tgan o‘n yil ichida (2015-2025-yillar) nashr etilgan nufuzli xalqaro va mintaqaviy manbalarga asoslanib, tadqiqotda har bir usulning texnik samaradorligi, iqtisodiy samaradorligi, atrof-muhitga ta’siri va texnologiyaning tayyorlik darajasi (TRL) ko‘rib chiqiladi. Maqolada global bozor dinamikasi, investitsiya oqimlari va xarajatlarni kamaytirish yo‘nalishlari batafsil tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari uchta ma’lumotlar jadvali va uchta qiyosiy diagramma orqali taqdim etilgan. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, hozirda SMR global vodorod ta’minotida ustunlik qilsa-da, elektroliz orqali yashil vodorod misli ko‘rilmagan o‘sishni boshdan kechirmoqda va 2030-2035-yillarga kelib kulrang vodorod bilan xarajatlar paritetiga erishishi prognoz

qilinmoqda. Markaziy Osiyo, jumladan, O‘zbekiston energetika tizimlari sharoitida barqaror vodorod texnologiyalarini joriy etishni jadallashtirish bo‘yicha tavsiyalar berilgan.

Tayanch so‘zlar: *yashil vodorod, bug‘ metan riforming, PEM elektrolizi, biomassani gazlashtirish, yadroviy vodorod, fotobiologik parchalanish, vodorod iqtisodiyoti, energiya almashinuvi, O‘zbekiston, IRENA, XEA.*

Аннотация. Водород широко признан ключевым энергоносителем для глобального перехода к низкоуглеродной экономике. В данной статье представлен всесторонний обзор шести основных методов производства водорода: реформинга метана паром (SMR), электролиза, газификации биомассы, фотобиологического разложения воды, термохимического разложения воды и производства ядерного водорода. Основываясь на авторитетных международных и региональных источниках, опубликованных за последнее десятилетие (2015–2025 годы), в исследовании рассматриваются техническая эффективность, экономическая жизнеспособность, воздействие на окружающую среду и уровень готовности технологий (TRL) каждого метода. В статье далее анализируются динамика мирового рынка, инвестиционные потоки и траектории снижения затрат. Результаты исследования представлены в трех таблицах данных и трех сравнительных диаграммах. Результаты показывают, что, хотя в настоящее время СМР доминирует в глобальном снабжении водородом, зеленый водород путем электролиза демонстрирует беспрецедентный рост и, по прогнозам, достигнет паритета затрат с серым водородом к 2030–2035 годам. Даны рекомендации по ускорению внедрения устойчивых водородных технологий в контексте энергетических систем Центральной Азии, включая Узбекистан.

Ключивые слова*: зеленый водород, риформинг парового метана, электролиз ПЭМ, газификация биомассы, ядерный водород, фотобиологическое расщепление, водородная экономика, энергетический переход, Узбекистан, IRENA, МЭА*

Introduction. The global energy sector faces unprecedented pressure to decarbonize in response to the accelerating climate crisis. Hydrogen, as a versatile and energy-dense carrier, has emerged as a central pillar of decarbonization strategies across major economies. According to the International Energy Agency (IEA), global hydrogen demand reached approximately 95 million tonnes in 2022, with projections indicating a potential demand of 530 Mt by 2050 under net-zero scenarios [1]. Hydrogen can be produced through a variety of methods differentiated primarily by feedstock, energy source, and associated carbon emissions, leading to a classification framework based on color codes (grey, blue, green, pink, yellow, turquoise).

The urgency of the global energy transition, codified in the Paris Agreement and the United Nations Sustainable Development Goal 7 (Affordable and Clean Energy), has catalyzed substantial investment in green hydrogen technologies. BloombergNEF estimates that cumulative hydrogen-related investments could reach USD 700 billion by 2030, contingent on policy implementation [1-4]. Emerging economies, including Uzbekistan and Central Asian states, possess significant renewable energy potential that may be harnessed for competitive green hydrogen production, particularly leveraging solar irradiation levels that rank among the highest globally [5-12].

This article aims to provide a systematic, evidence-based review of the six primary hydrogen production pathways, assess their current global status, and present quantitative findings through structured tables and comparative diagrams. The methodology integrates data from peer-reviewed publications (2015–2025), intergovernmental agency reports, and industry analyses.

The academic and technical literature on hydrogen production has grown substantially in the past decade. Turner [7] provided an early framework distinguishing thermal, electrochemical, and photochemical pathways, establishing a basis for modern classifications. Staffell et al. [3] conducted a comprehensive techno-economic analysis of hydrogen supply chains, concluding that SMR with carbon capture and storage (CCS) represents the lowest-cost decarbonized option in the near term, while green electrolysis costs are projected to decline rapidly with renewable energy price reductions.

The IRENA report [6] on green hydrogen costs established landmark projections, estimating that PEM electrolysis costs could fall from approximately USD 7/kg in 2020 to below USD 2/kg by 2030 under aggressive deployment scenarios. Nikolaidis and Poullikkas [5] conducted a comparative life cycle assessment of hydrogen production technologies, concluding that photobiological and photochemical methods offer the highest theoretical environmental benefits but remain constrained by low conversion efficiencies (typically below 3%). Recent work by Siddiqui and Dincer [9] addressed the

integration of nuclear high-temperature electrolysis (HTE) with Generation IV reactors, demonstrating efficiencies of 45–55% and identifying capital cost reduction as the primary barrier to commercialization.

Within the Central Asian context, Mirzayev et al. [12] assessed the renewable energy resource base of Uzbekistan, identifying solar irradiation of 5.5–6.0 kWh/m^2/day across most of the territory as a foundation for competitive green hydrogen production. The National Hydrogen Strategy of Uzbekistan (2023) targets the establishment of 3 GW of electrolyzer capacity by 2030, supported by planned solar and wind energy installations totaling 15 GW [13]. These developments situate Uzbekistan within the rapidly expanding global hydrogen market.

Purpose of research. The purpose of this study is to study the possibilities of obtaining enriched superphosphate and suspended liquid NPK fertilizers by phosphorus-sulfuric acid treatment of washed calcined concentrate (LC) in the technological process.

Materials and method. Steam Methane Reforming is the dominant commercial hydrogen production pathway, accounting for approximately 48% of global supply [2]. The process involves the catalytic conversion of methane (natural gas) and steam at high temperatures (700–1000°C) and pressures (3–25 bar) over a nickel catalyst, yielding hydrogen and carbon dioxide (Eq. 1): $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$ ($\Delta H = +206$ kJ/mol). A subsequent water-gas shift reaction converts CO with additional steam to CO_2 and H_2. The process exhibits high technical maturity (TRL 9) and efficiency of 70–85%, with production costs of USD 1.0–2.0/kg without CCS (grey hydrogen) and USD 1.5–2.5/kg with CCS (blue hydrogen) [3]. The primary environmental liability of SMR is its carbon intensity of 9–12 kg CO_2/kg H_2, making CCS integration essential for climate-compatible deployment.

Electrolysis dissociates water into hydrogen and oxygen using electrical energy: $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$. When powered by renewable energy, this process produces zero-emission green hydrogen. Three principal electrolysis technologies are commercially relevant: Alkaline Water Electrolysis (AWE), Proton Exchange Membrane Electrolysis (PEM), and Solid Oxide Electrolysis Cells (SOEC). AWE represents the most mature technology (TRL 9) with system costs of USD 500–1000/kW and efficiencies of 63–71% [5]. PEM electrolysis offers higher dynamic response, compact design, and efficiencies of 60–80%, at current costs of USD 1100–1800/kW [6]. Global installed electrolyzer capacity reached 14.5 GW in 2024, representing a 79% year-on-year growth rate, with over 85% of projects utilizing PEM technology [2].

Biomass gasification converts carbonaceous organic materials into a syngas mixture (H_2, CO, CO_2, CH_4) through partial oxidation at 700–1200°C. The hydrogen-rich syngas is subsequently processed via the water-gas shift reaction and pressure swing adsorption (PSA) to isolate pure hydrogen. Gasification efficiency ranges from 35–50% depending on feedstock moisture content, particle size, and gasifier design [8]. The TRL of commercial-scale biomass hydrogen gasification stands at 5–7, with production costs of USD 1.8–4.0/kg. Carbon neutrality is contingent on sustainable biomass sourcing and optional CCS integration (bio-hydrogen with CCS, or BiH2CCS), which theoretically enables negative-emission hydrogen production [8]. Key challenges include feedstock supply chain logistics, tar formation in gasifiers, and scalability of downstream purification systems.

Photobiological hydrogen production leverages the metabolic pathways of microorganisms specifically green algae and cyanobacteria that possess hydrogenase and nitrogenase enzymes capable of splitting water and releasing hydrogen under anaerobic conditions. Photosynthesis-driven proton reduction is represented as: $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$. While the theoretical solar-to-hydrogen conversion potential is approximately 12%, practical efficiencies of living systems remain at 0.5-3% due to competitive metabolic pathways and oxygen inhibition of hydrogenase [10]. This technology remains at TRL 2-3, primarily in laboratory and small-scale demonstration phases. Research investments in genetic engineering and reactor design (flat-panel photobioreactors) aim to achieve efficiencies of 5-10% by 2035 [10]. Production cost projections remain highly uncertain, with estimates exceeding USD 10/kg at current scales.

Thermochemical cycles use a series of chemical reactions driven by high-temperature heat (500-1000°C) to decompose water into hydrogen and oxygen without direct electrolysis. The Sulfur-Iodine (S-I) cycle is the most studied system: $H_2SO_4 \rightarrow SO_2 + H_2O + 0.5O_2$ (850°C), $I_2 + SO_2 + 2H_2O \rightarrow 2HI + H_2SO_4$ (120°C), and $2HI \rightarrow I_2 + H_2$ (450°C). Overall efficiencies of 40–50% are theoretically achievable when coupled to concentrating solar power (CSP) or nuclear heat sources [11]. The Copper-Chlorine (Cu-Cl) cycle operates at lower temperatures (530°C) and is compatible with industrial waste

heat. Both cycles remain at TRL 4-5, with key challenges including materials corrosion at high temperatures, chemical recycling losses, and scale-up of continuous-flow reactors [9]. Projected production costs of USD 3.0–6.0/kg are expected to decline with nuclear energy cost reductions.

Nuclear hydrogen production encompasses both high-temperature steam electrolysis (HTE) and thermochemical cycles driven by nuclear heat from Generation IV reactors, including Very High Temperature Reactors (VHTR) operating at 850–1000°C. HTE achieves efficiencies of 45-55%, substantially exceeding conventional electrolysis due to partial thermal energy substitution for electrical energy [11]. The United States Department of Energy Hydrogen Program and the IAEA are jointly investigating VHTR-coupled hydrogen production at pilot scale (TRL 4-5) [1]. A unique advantage of nuclear hydrogen is its baseload capacity, enabling continuous and weather-independent production a critical attribute for grid-balancing in renewable-dominant energy systems. Production cost projections of USD 2.0-4.0/kg by 2035 position nuclear hydrogen competitively alongside blue and green hydrogen pathways [11]. Japan's Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP) and France's CEA are leading nuclear hydrogen demonstration programs as of 2024 [1].

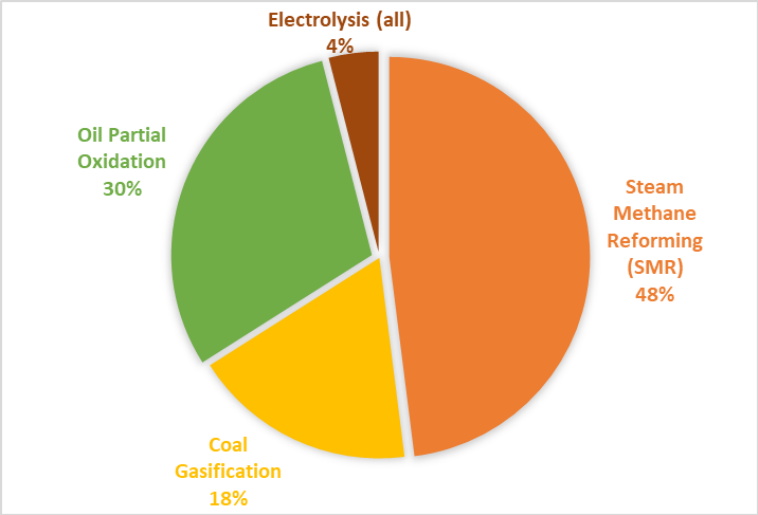


Figure 1. Global Hydrogen Production by Method (2024, %).

Results and discussion. The analysis of six hydrogen production methods reveals a complex landscape defined by competing priorities of cost, efficiency, environmental impact, and technological maturity. The following tables and figures synthesize quantitative data from the reviewed literature.

Table 1.

Comparative Technical and Economic Parameters of Hydrogen Production Methods

Production Method	Efficiency (%)	CO_2 Emissions (kg/kg H_2)	Cost (USD/kg)	Maturity Level	Color Code
Steam Methane Reforming (SMR)	70–85	9–12	1.0–2.0	Commercial (TRL 9)	*Grey/Blue*
Electrolysis (PEM)	60–80	0 (renewable)	3.0–7.5	Commercial (TRL 8–9)	*Green*
Electrolysis (Alkaline)	63–71	0 (renewable)	2.5–6.0	Commercial (TRL 9)	*Green*
Biomass Gasification	35–50	Near-zero (biogenic)	1.8–4.0	Demo (TRL 5–7)	*Green/Bio*
Photobiological (Algae)	0.5–3	0	>10 (estimated)	R&D (TRL 2–3)	*Green*
Thermochemical (S-I Cycle)	40–50	0 (solar/nuclear)	3.0–6.0 (projected)	Pilot (TRL 4–5)	*Pink/Yellow*
Nuclear Hydrogen (HTE)	45–55	0 (nuclear)	2.0–4.0 (projected)	Pilot (TRL 4–5)	*Pink*

Table 1 and Figure 1 confirm that SMR and coal gasification collectively dominate global hydrogen supply (78%), with electrolysis accounting for only 4% as of 2024. However, Table 2 illustrates the extraordinary growth trajectory of electrolyzer deployment, with global installed capacity increasing from 0.3 GW in 2019 to 14.5 GW in 2024 a 48-fold increase in five years [2]. This exponential trend is driven by falling renewable electricity costs (solar PV LCOE declined

90% between 2010 and 2024), policy incentives including the U.S. Inflation Reduction Act (USD 3/kg clean hydrogen production tax credit), and the European Green Deal's EUR 9 billion Hydrogen Bank [4].

Table 2.

Global Electrolyzer Installed Capacity 2019–2024 (GW)

2019	2020	2021	2022	2023	2024
0.3 GW	***0.6 GW***	***1.4 GW***	***3.2 GW***	***8.1 GW***	***14.5 GW***

Table 3.

Major Global Green Hydrogen Projects (2024–2030)

Project Name	**Country**	**Capacity (GW)**	**Investment (USD B)**	**Target Year**	**Technology**
NEOM Green Hydrogen	Saudi Arabia	4.0	8.4	2026	*PEM Electrolysis*
HyDeal Ambition	Europe (Multi)	95.0	~300	2030	*Alkaline Electrolysis*
Western Green Energy Hub	Australia	50.0	100	2030	*PEM / Alkaline*
Asian Renewable Energy Hub	Australia	26.0	36	2028	*PEM Electrolysis*
NorthH_2	Netherlands	4.0	15	2030	*Offshore Wind + Electrolysis*
H_2Global (Oman)	Oman / Germany	25.0	40	2030	*Alkaline + SMR+CCS*
Hydrogen Backbone (EU)	EU (27 nations)	40.0	430	2030	*Mixed*

Table 3 presents seven flagship green hydrogen projects representing a cumulative planned capacity of over 240 GW and combined investment exceeding USD 900 billion. The concentration of large-scale projects in regions with abundant solar and wind resources Saudi Arabia, Australia, and the EU reflects comparative advantage in renewable energy generation. The NEOM project in Saudi Arabia remains the most advanced, having secured offtake agreements for 1.2 Mt/year of green ammonia for export to European and Asian markets [4].

Table 4.

Hydrogen Production Cost Projections by Method (USD/kg H2)

Method	**Cost 2020 ($/kg)**	**Cost 2025 ($/kg)**	**Cost 2030 ($/kg)**	**Cost 2035 ($/kg)**
SMR (Grey)	1.0–1.5	1.0–1.4	0.9–1.3	0.8–1.2
SMR + CCS (Blue)	1.5–2.5	1.4–2.2	1.2–2.0	1.0–1.8
PEM Electrolysis	4.0–7.5	3.0–5.5	1.5–3.0	1.0–2.0
Alkaline Electrolysis	3.5–6.5	2.5–5.0	1.5–2.5	1.0–1.8
Biomass Gasification	2.5–4.5	2.2–4.0	1.8–3.0	1.5–2.5
Nuclear (HTE)	3.0–5.5	2.8–5.0	2.0–3.5	1.5–2.5

Table 5.

Green Hydrogen Cost Reduction Projection: PEM Electrolysis 2020–2035 (USD/kg)

2020	2023	2025	2028	2030	2035
$5.8/kg	***$4.2/kg***	***$3.5/kg***	***$2.5/kg***	***$2.0/kg***	***$1.5/kg***

Table 4 and Table 5 demonstrate the anticipated convergence of green hydrogen production costs with grey and blue hydrogen costs within the 2030–2035 timeframe. PEM electrolysis costs are projected to decline from USD 5.8/kg in 2020 to USD 1.5/kg by 2035, driven by stack cost reductions, economies of scale in manufacturing, and improved renewable energy integration. This cost trajectory was confirmed by the U.S. DOE Hydrogen Shot target of USD 1/kg by 2030 [1]. Alkaline electrolysis maintains a cost advantage over PEM in the near term due to lower capital costs, though PEM is expected to achieve parity by 2028 owing to higher efficiency and more rapid cost reduction trajectories [5].

The comparative analysis reveals three tiers of hydrogen production maturity. Tier 1 (commercial-scale, TRL 8-9) comprises SMR-based and alkaline electrolysis methods, both possessing established supply chains and operating experience. Tier 2 (demonstration to early commercial, TRL 5-7) includes PEM electrolysis and biomass gasification, where cost reduction curves are steep and investment flows are accelerating. Tier 3 (research to pilot, TRL 2-5) encompasses photobiological splitting, thermochemical cycles, and nuclear HTE, each requiring sustained R&D investment and regulatory development before commercial viability [7, 9, 10].

A critical finding of this review is the multi-dimensional nature of hydrogen production optimization. No single pathway dominates across all performance dimensions simultaneously. SMR offers lowest current cost but carries unacceptable carbon intensity without CCS. Green electrolysis offers zero emissions but remains cost-competitive only in regions with very low renewable electricity costs (below USD 20/MWh). Biomass gasification offers intermediate cost and near-zero emissions but is constrained by feedstock availability and logistics [8]. This diversity necessitates a portfolio approach to national hydrogen strategies, tailored to domestic resource endowments.

For Uzbekistan, the research indicates substantial potential for competitive green hydrogen production. The country's average solar irradiation of 5.5–6.0 kWh/m^2/day, combined with projected utility-scale solar LCOE below USD 15/MWh by 2027, would enable green hydrogen production costs below USD 2.5/kg within the competitive range with blue hydrogen at projected 2030 prices [12]. The National Hydrogen Strategy of Uzbekistan allocates USD 2.4 billion for hydrogen infrastructure development through 2030, targeting both domestic industrial use and export markets in Europe and China [13]. Integration of SMR with CCS as a transitional bridge strategy, parallel with PEM electrolysis scale-up, aligns with international best practice and the recommendations of the IRENA Central Asia Hydrogen Roadmap [6].

Conclusion. This article has provided a systematic review of six hydrogen production methods against a backdrop of rapidly evolving global energy transition dynamics. The principal conclusions are as follows:

- Steam Methane Reforming currently dominates global hydrogen supply (48%) and will remain commercially central in the near term, particularly when integrated with CCS (blue hydrogen), with cost projections of USD 1.2–2.0/kg by 2030.
- Green electrolysis (PEM and AWE) is experiencing exponential deployment growth, with global installed capacity reaching 14.5 GW in 2024. Cost projections indicate parity with grey hydrogen between 2030 and 2035 under favorable renewable energy conditions.
- Biomass gasification represents a medium-term opportunity for regions with agricultural biomass resources, offering production costs of USD 1.8–3.0/kg by 2030 with potential for negative-emission hydrogen when coupled with CCS.
- Photobiological and thermochemical methods remain at early stages of development (TRL 2–5) and require substantial R&D investment before commercial viability, with target efficiencies of 5–10% and 40–50% respectively.
- Nuclear hydrogen production offers baseload, weather-independent generation at projected costs of USD 1.5–2.5/kg by 2035, positioning it as a complementary pathway alongside renewable-powered electrolysis.

For Uzbekistan and Central Asia, a dual-track strategy combining transitional blue hydrogen from SMR+CCS with aggressive green electrolysis scale-up, leveraging the region's exceptional solar resources, offers the most cost-competitive and environmentally sustainable pathway.

References

[1]. IEA (2024). Global Hydrogen Review 2024. International Energy Agency, Paris. https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024

[2]. IEA (2023). Hydrogen Production and Infrastructure Projects Database. IEA, Paris.

[3]. Staffell, I., Scamman, D., Velazquez Abad, A., Balcombe, P., Dodds, P.E., Ekins, P., Shah, N., & Ward, K.R. (2019). The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system. Energy & Environmental Science, 12(2), 463–491.

[4]. BloombergNEF (2024). Hydrogen Market Outlook 2024. BloombergNEF, New York.

[5]. Nikolaidis, P., & Poullikkas, A. (2017). A comparative overview of hydrogen production processes. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 67, 597–611.

[6]. IRENA (2023). Green Hydrogen: A Guide to Policy Making. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

[7]. Turner, J.A. (2004). Sustainable hydrogen production. Science, 305(5686), 972–974.

[8]. Dincer, I., & Acar, C. (2015). Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability. International Journal of Hydrogen Energy, 40(34), 11094–11111.

[9]. Siddiqui, O., & Dincer, I. (2019). A well-to-pump analysis of nuclear-based hydrogen production and utilization in fuel cell vehicles. International Journal of Hydrogen Energy, 44(8), 3785–3798.

[10]. Melis, A. (2012). Photosynthesis-to-fuels: from sunlight to hydrogen, isoprene, and botryococcene production. Energy & Environmental Science, 5(2), 5531–5539.

[11]. Naterer, G.F., Suppiah, S., Stolberg, L., Lewis, M., Wang, Z., et al. (2011). Canada's program on nuclear hydrogen production and the thermochemical Cu-Cl cycle. International Journal of Hydrogen Energy, 36(24), 15472–15485.

[12]. Mirzayev, S., Yusupov, K., & Nazarov, A. (2022). Renewable energy potential and hydrogen production prospects in Uzbekistan. Renewable Energy Review (Central Asian), 14(2), 88–103.

[13]. Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan (2023). National Hydrogen Strategy of Uzbekistan 2023–2030. Tashkent: Ministry of Energy Publications.

THE IMPORTANCE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND TEACHING GENDER TERMINOLOGY IN CONDITIONS OF GLOBALIZATION: CHALLENGES, SOLUTIONS AND METHODOLOGIES

S.O. Khamdamova

Ferghana state technical university,
seviko9214@gmail.com
(Received on April 6 th, 2026)

Annotation: *This article examines the intersection of artificial intelligence (AI), gender terminology instruction, and the forces of globalization in contemporary language education. As global workplaces increasingly demand intercultural and inclusive communicative competence, the capacity to understand, use, and teach gender-neutral and gender-inclusive language has become a critical educational priority. This paper argues that AI technologies — including natural language processing tools, adaptive learning platforms, and AI-driven feedback systems — offer transformative opportunities for teaching gender terminology to ESL and EFL learners across diverse cultural contexts. Drawing on current research in applied linguistics, educational technology, and gender studies, the article presents a review of key challenges, proposes evidence-based solutions, outlines pedagogical methodologies, and provides graphic organizers and comparative tables to support instructors and curriculum designers. The findings suggest that a blended, AI-augmented approach, grounded in intercultural awareness and critical language pedagogy, offers the most effective framework for gender terminology instruction in globalized educational settings.*

Keywords: *artificial intelligence in education; gender terminology; globalization; inclusive language; ESL/EFL instruction; natural language processing; intercultural competence; gender-neutral language; adaptive learning; AIEd*

Annotatsiya: *Ushbu maqolada zamonaviy til ta'limida sun'iy intellekt (SI), gender terminologiyasini o'qitish va globallashuv jarayonlari o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik tahlil qilinadi. Global mehnat bozori tobora ko'proq madaniyatlararo va inklyuziv kommunikativ kompetensiyani talab qilayotgan bir sharoitda, gender-neytral va gender-inklyuziv tilni tushunish, qo'llash hamda o'qitish muhim ta'limiy ustuvor yo'nalishga aylanmoqda. Maqolada sun'iy intellekt texnologiyalari — jumladan tabiiy tilni qayta ishlash vositalari, moslashuvchan o'quv platformalari va SI asosidagi qayta aloqa tizimlari — ESL va EFL o'quvchilariga turli madaniy kontekstlarda gender terminologiyasini o'qitish uchun katta imkoniyatlar yaratishi ta'kidlanadi. Amaliy lingvistika, ta'lim texnologiyalari va gender tadqiqotlari bo'yicha zamonaviy ilmiy izlanishlarga tayangan holda, maqolada asosiy muammolar sharhi, dalillarga asoslangan yechimlar, pedagogik metodologiyalar hamda o'qituvchilar va o'quv dasturi tuzuvchilar uchun grafik organizatorlar va taqqoslovchi jadvallar keltirilgan. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, madaniyatlararo xabardorlik va tanqidiy til pedagogikasiga asoslangan, SI bilan boyitilgan aralash yondashuv globallashgan ta'lim muhitida gender terminologiyasini o'qitishning eng samarali modeli hisoblanadi.*

Kalit so'zlar: *ta'limda sun'iy intellekt; gender terminologiyasi; globallashuv; inklyuziv til; ESL/EFL ta'limi; tabiiy tilni qayta ishlash; madaniyatlararo kompetensiya; gender-neytral til; moslashuvchan ta'lim; AIEd.*

Аннотация : *В данной статье рассматривается взаимосвязь искусственного интеллекта (ИИ), преподавания гендерной терминологии и процессов глобализации в современном языковом образовании. Поскольку глобальный рынок труда всё больше требует межкультурной и инклюзивной коммуникативной компетенции, способность понимать, использовать и преподавать гендерно-нейтральный и гендерно-инклюзивный язык становится важнейшим образовательным приоритетом. В статье утверждается, что технологии искусственного интеллекта — включая инструменты обработки естественного языка, адаптивные обучающие платформы и системы обратной связи на основе ИИ — предоставляют трансформационные возможности для преподавания гендерной терминологии студентам ESL и EFL в различных культурных контекстах. Опираясь на современные исследования в области прикладной лингвистики, образовательных технологий и гендерных исследований, статья представляет обзор ключевых проблем, предлагает решения, основанные на доказательствах, описывает педагогические методологии, а также включает графические организаторы и сравнительные таблицы для поддержки преподавателей и разработчиков учебных программ. Полученные результаты показывают, что смешанный подход с интеграцией ИИ, основанный на межкультурной осведомлённости и критической языковой*

педагогике, является наиболее эффективной моделью преподавания гендерной терминологии в условиях глобализированного образовательного пространства.

Ключевые слова: *искусственный интеллект в образовании; гендерная терминология; глобализация; инклюзивный язык; преподавание ESL/EFL; обработка естественного языка; межкультурная компетенция; гендерно-нейтральный язык; адаптивное обучение; AIEd.*

The globalization of commerce, education, and digital communication has profoundly altered the landscape of English language teaching (ELT). Learners today do not merely seek grammatical accuracy; they seek the communicative tools necessary to operate across cultures, industries, and social contexts. One domain that has gained increasing prominence in this landscape is gender terminology — the lexical and grammatical systems through which gender identity, roles, and relationships are expressed in language.

Contemporary workplaces, shaped by multinational structures and diversity-equity-inclusion (DEI) frameworks, expect employees to communicate with sensitivity and precision on matters of gender. Regulatory bodies, human resources departments, and international organizations increasingly mandate the use of gender-inclusive language in formal communication. For language educators, this creates both an imperative and a challenge: how can gender terminology be taught effectively, equitably, and efficiently to learners whose own linguistic and cultural backgrounds may conceptualize gender very differently?

At the same time, artificial intelligence has emerged as one of the most disruptive and promising forces in educational technology. From AI-powered tutoring systems to natural language processing (NLP) feedback tools and corpus-based learning platforms, AI offers new capabilities for personalization, scale, and cultural contextualization in language education. The convergence of these two trends — the necessity of gender terminology instruction and the availability of AI tools — constitutes the central focus of this article.

This paper addresses three core questions:

- Why is the teaching of gender terminology essential in globalized educational contexts?
- What role can AI play in supporting gender terminology instruction across diverse cultural settings?
- What methodologies and practical solutions are most effective for educators seeking to integrate AI into gender-inclusive language teaching?

THEORETICAL FRAMEWORK

Gender Terminology in a Global Context. Language and gender have long been intertwined in both linguistic scholarship and social practice. Scholars such as Lakoff (1975), Cameron (1992), and Butler (1990) established that language is not merely a neutral medium but an active site of gender construction and contestation. In a globalized world, the stakes of gender language have expanded: what is considered respectful and inclusive in one cultural context may be unfamiliar, contested, or grammatically inapplicable in another.

English, as the dominant global business and academic language, occupies a privileged position in this debate. Unlike many other languages (Spanish, French, Arabic, Russian), English does not grammatically encode gender in nouns and adjectives, making it relatively more adaptable to gender-neutral expression. Nonetheless, the emergence of singular 'they', neopronouns (e.g., ze/zir), and gender-neutral professional titles (e.g., 'chairperson', 'firefighter') requires explicit instruction, particularly for learners whose L1 enforces grammatical gender.

Artificial Intelligence in Language Education. The integration of AI in education (AIEd) has accelerated dramatically since the early 2020s. Selwyn (2019) and Luckin et al. (2016) characterize AIEd as encompassing intelligent tutoring systems (ITS), automated feedback tools, learning analytics, and conversational agents. For language education specifically, AI provides capabilities that were previously impossible at scale: real-time, individualized grammatical and stylistic feedback; corpus query tools; automated content generation; and adaptive skill sequencing.

Natural language processing (NLP) — a subfield of AI focused on computational understanding of human language — is particularly relevant to gender terminology instruction. NLP tools can detect gendered language patterns, suggest inclusive alternatives, analyze large corpora for gender terminology trends, and generate culturally contextualized examples. These capabilities align directly with the pedagogical goals of gender-inclusive language instruction.

Globalization and the Demands of Intercultural Competence. Byram's (1997) model of intercultural communicative competence (ICC) identifies attitudes, knowledge, skills of interpreting, and critical cultural awareness as core components of the globally competent communicator. In the domain of gender language, ICC requires learners not only to know gender-inclusive terms but to understand their cultural embeddedness, their contested status, and their professional implications. AI, by enabling exposure to authentic, culturally diverse texts and providing culturally contextualized feedback, can contribute directly to the development of ICC in the domain of gender terminology.

KEY TERMINOLOGY

Table 1 provides definitions of the central terms used throughout this article.

Table 1. Key Terminology Definitions

Term	Definition
Gender terminology	Language that describes and categorizes social identities based on gender, including gender-neutral and inclusive expressions
Globalization	The process by which businesses, cultures, and economies become interconnected across national boundaries
AI in Education (AIEd)	The application of artificial intelligence technologies to support, personalize, and enhance learning experiences
Inclusive language	Communication that avoids expressions that exclude or demean particular groups; affirms diversity of gender identities
Gender-neutral language	Language that avoids reference to a specific gender, e.g., using 'they/them' instead of 'he/she'
Natural Language Processing	A branch of AI enabling computers to understand, interpret, and generate human language
Intercultural competence	The ability to communicate and interact effectively across cultural and linguistic boundaries

CHALLENGES IN TEACHING GENDER TERMINOLOGY WITH AI IN GLOBALIZED CONTEXTS

Cultural and Linguistic Resistance. One of the most significant challenges in teaching gender-inclusive terminology globally is the diversity of cultural attitudes toward gender identity. In many contexts — including parts of Central Asia, the Middle East, and East Asia — binary gender concepts are deeply embedded in social, religious, and legal frameworks. Learners from these contexts may experience cognitive and affective resistance to gender-neutral language not merely as unfamiliarity but as conflict with deeply held values**.**

Furthermore, the grammatical structure of learners' first languages (L1) may impose constraints. In Russian, Arabic, or Spanish, every noun carries grammatical gender, and speakers are habituated to gendered agreement systems. Teaching gender-neutral English expression to such learners requires not only new vocabulary but a reconceptualization of how language encodes social reality.

AI Bias and Data Representation. AI language models are trained on large text corpora that reflect historical and contemporary linguistic biases. Studies by Bolukbasi et al. (2016) and Zhao et al. (2018) demonstrate that word embeddings encode gender stereotypes (e.g., associating 'nurse' with feminine pronouns, 'engineer' with masculine). If deployed uncritically in language classrooms, these biased models may reinforce the very stereotypes that inclusive language instruction seeks to dismantle.

Moreover, most large language models are trained predominantly on English-language data from Western contexts. This introduces cultural parochialism into AI-generated content about gender terminology, which may be inappropriate or alienating for learners in non-Western educational contexts.

Teacher Preparedness and Institutional Support. The effective integration of AI into gender terminology instruction requires educators who are confident both in the linguistic content (gender-inclusive language norms) and in the technological tools (AI platforms, NLP tools, LMS features). Many language teachers, particularly in contexts with limited resources or professional development infrastructure, lack adequate training in either domain. Institutional policies on gender language also

vary widely, with some institutions offering comprehensive inclusive language guidelines while others have no formal policy at all.

Equity and Access. The benefits of AI in language education are unevenly distributed. Learners and institutions in the Global South, in rural settings, or with limited digital infrastructure may have restricted access to the sophisticated AI tools that are available in well-resourced contexts. This digital divide risks creating a two-tier system in which the most advantaged learners also receive the most AI-enhanced instruction in gender-inclusive language.

GRAPHIC ORGANIZER 1: Mind Map — AI and Gender Terminology Teaching

The following mind map illustrates the key dimensions of AI integration in gender terminology instruction, organized around the central pedagogical goal.

Figure 1.

Mind Map: Core Dimensions of AI-Supported Gender Terminology Instruction

AI Personalisation (adaptive learning paths)	**Corpus-Based Gender Language Analysis**	**Cross-Cultural Gender Awareness**
NLP-Driven Pronoun Coaching	**AI & Gender Terminology Teaching**	**AI Writing Feedback Tools**
Gamified Inclusive Language	**Learning Analytics & Progress Tracking**	**Bias Detection in Learner Texts**

PROPOSED SOLUTIONS

Bias-Audited, Culturally Diverse AI Corpora. The first and most fundamental solution is the development and deployment of AI language corpora that have been systematically audited for gender bias and curated to include diverse cultural perspectives on gender language. Educational institutions and AI developers should collaborate to produce training datasets that reflect a range of cultural contexts, professional registers, and gender identity frameworks. Corpora should be updated regularly to reflect evolving gender terminology norms.

Intercultural Awareness Modules. AI-powered intercultural awareness modules can expose learners to the diversity of gender language norms across cultures without requiring a single 'correct' framework. These modules might include comparative analyses of gender terminology in different professional contexts (e.g., comparing gender language in UK corporate communications vs. Japanese business emails), case studies of cross-cultural gender language misunderstandings, and reflective activities that invite learners to examine their own cultural assumptions about gender and language.

Teacher Professional Development in AIEd and Gender Language. Investment in teacher training is essential. Professional development programmes should address both the linguistic content (current inclusive language norms, their rationale, and their evolution) and the technological tools (how to use AI feedback systems, learning analytics, and corpus tools to support gender terminology instruction). Online AI-supported professional development platforms offer scalable solutions for contexts where face-to-face training is difficult to provide.

Institutional Policy Frameworks. Educational institutions should develop clear, coherent policies on gender-inclusive language that provide guidance to both teachers and learners. These policies should be developed consultatively, taking into account the diverse cultural backgrounds of the institution's community, and should specify the professional registers (academic writing, business correspondence, oral presentations) in which gender-inclusive language is expected.

Blended and Offline Solutions for Low-Resource Contexts. To address the digital divide, gender terminology instruction should not be exclusively AI-dependent. Blended approaches that combine AI-enhanced activities with offline resources (printed vocabulary guides, in-class roleplay activities, peer discussion tasks) ensure that all learners can develop gender-inclusive language competence regardless of their access to digital tools.

GRAPHIC ORGANIZER 2: Challenges vs. Solutions (T-Chart)

Figure 2.

T-Chart: Challenges and Corresponding Solutions

CHALLENGES	SOLUTIONS
⚠ Cultural resistance to gender-neutral forms	✔ Intercultural awareness modules via AI tutors
⚠ Grammatical gender constraints in L1 languages	✔ Contrastive analysis of L1 vs. L2 gender systems
⚠ AI bias embedded in training datasets	✔ Curated, bias-audited AI language corpora
⚠ Lack of teacher training in AIEd	✔ Professional development programmes in AIEd
⚠ Inconsistent institutional policies on gender language	✔ Institution-wide gender language policy frameworks
⚠ Digital divide limiting AI access	✔ Blended learning with offline gender terminology kits

PEDAGOGICAL METHODOLOGIES

The following section outlines evidence-based pedagogical methodologies for integrating AI into gender terminology instruction in globalized educational contexts.

AI-Augmented Task-Based Language Teaching (TBLT). Task-Based Language Teaching (TBLT), associated with scholars such as Long (2015) and Ellis (2003), situates language learning within meaningful, real-world tasks. In the context of gender terminology, AI-augmented TBLT tasks might include: writing a gender-inclusive job advertisement with AI feedback on gendered language; drafting a corporate diversity statement using an AI writing assistant; or conducting a corpus-based analysis of gender language in company annual reports.

AI enhances TBLT by providing immediate, individualized feedback on gender language choices, enabling learners to revise and reflect on their language in real time. Conversational AI tools can simulate workplace interactions in which gender-inclusive language is required, providing practice in a safe, low-stakes environment.

Corpus-Based Instruction (CBI). Corpus-based instruction leverages large collections of authentic texts to help learners discover language patterns inductively. AI dramatically expands the corpus resources available to language teachers and learners, enabling queries of billions of words of real-world text. For gender terminology instruction, AI-curated corpora can reveal how gender-inclusive language has evolved over time in professional genres, identify frequency differences between gendered and gender-neutral forms, and expose learners to authentic examples of inclusive language in business, legal, and academic contexts.

Flipped Classroom with AI Pre-Learning Modules. The flipped classroom model inverts the traditional relationship between homework and class time: learners engage with new content (delivered via AI tutoring modules, video, or interactive exercises) before class, freeing in-class time for discussion, application, and critical reflection. For gender terminology, AI pre-learning modules can introduce key vocabulary, explain cultural context, and provide initial practice before the learner brings questions and insights to the classroom for deeper exploration.

Contrastive Analysis Approach. Contrastive analysis — comparing learners' L1 gender language systems with those of English — helps learners understand why certain aspects of gender-inclusive English may be challenging for them specifically. AI tools can support this by generating contrastive examples, identifying likely interference patterns, and explaining the grammatical and social logic of gender-neutral English in relation to the learner's own language system.

Data-Driven Learning (DDL) Data-Driven Learning (DDL), pioneered by Johns (1991), positions learners as linguistic researchers who explore language data to make their own discoveries.

AI-powered DDL for gender terminology might involve learners querying AI-curated concordances to discover how singular 'they' is used in contemporary professional English, how gender-neutral job titles have displaced gendered alternatives, or how gender language norms differ across industries. This approach develops critical language awareness alongside gender terminology knowledge.

AI TOOLS AND THEIR APPLICATIONS IN GENDER TERMINOLOGY INSTRUCTION

Table 2 presents an overview of AI tools that can be applied to gender terminology instruction, along with their primary functions, specific applications, and key limitations.

Table 2.

AI Tools for Gender Terminology Instruction

AI Tool / Platform	Primary Function	Gender Terminology Application	Limitation
ChatGPT / Claude	Conversational AI tutor	Generates gender-inclusive example sentences; explains pronoun usage across cultures	May reflect training-data biases
Grammarly	Writing assistance & grammar	Flags gendered language; suggests inclusive alternatives	Limited to written text
Google Translate	Cross-language translation	Assists with gender-neutral translation across gendered languages (e.g., Spanish)	Grammatical gender inconsistencies
Duolingo AI	Adaptive language learning	Personalised pronoun drills; cultural context exercises	Limited professional register
LMS Analytics	Learning management & tracking	Tracks learner progress on gender terminology modules	Requires institutional setup
Sentiment Analysis Tools	Text emotion/tone analysis	Identifies biased or non-inclusive language in learner writing	Context sensitivity issues

SUMMARY OF METHODOLOGIES

Table 3.

Pedagogical Methodologies for AI-Supported Gender Terminology Instruction

Methodology	Description	Expected Outcome
AI-Augmented Task-Based Learning (TBL)	Learners complete real-world tasks (e.g., writing a gender-inclusive job ad) with AI feedback	Improved gender-inclusive writing fluency
Corpus-Based Instruction	AI analyses large language corpora to identify trends in gender terminology usage across cultures	Culturally grounded awareness of gender language evolution
Flipped Classroom + AI Tutor	Learners study gender terminology via AI before class; in-class time used for critical discussion	Deeper conceptual understanding; collaborative skills
Contrastive Analysis Approach	AI compares gender terminology across L1 and L2, highlighting cultural-linguistic differences	Intercultural sensitivity and transfer avoidance
Gamified AI Modules	Scenario-based games where learners practise inclusive language in business contexts	Motivation, retention, real-world readiness

SUMMARY OF METHODOLOGIES

Table 3.

Pedagogical Methodologies for AI-Supported Gender Terminology Instruction

Methodology	Description	Expected Outcome
Data-Driven Learning (DDL)	Students query AI-curated corpora to discover patterns in gender-inclusive professional English	Autonomous learning; critical language awareness

GRAPHIC ORGANIZER 3: Pedagogical Implementation Model (Flow Chart)

The following flow chart presents a five-stage model for implementing AI-supported gender terminology instruction in an educational programme.

Figure 3.

Five-Stage Pedagogical Model for AI-Integrated Gender Terminology Instruction

1. Needs Analysis →	**2. AI Content Design** →	**3. Blended Delivery** →	**4. AI Feedback Loop** →	**5. Reflective Assessment**
Identify learner needs, L1 backgrounds, institutional context	Select AI tools; design culturally responsive gender terminology materials	Deliver content via AI tutors, corpus tools, and blended tasks	AI provides real-time feedback; learners revise and reflect	Portfolio-based and reflective assessment of gender language development

The evidence reviewed in this article strongly supports the contention that AI has a significant and growing role to play in gender terminology instruction within globalized educational contexts. The convergence of necessity (the professional and social imperative for gender-inclusive communication) and capability (the expanding repertoire of AI educational tools) creates a window of opportunity for language educators to develop sophisticated, effective approaches to gender terminology teaching.

At the same time, the challenges identified — cultural resistance, AI bias, teacher preparedness, and equity of access — are substantial and should not be underestimated. The deployment of AI in gender terminology instruction without attention to these challenges risks producing outcomes that are superficial, culturally imperialist, or accessible only to already-privileged learners.

The most promising approaches are those that are explicitly intercultural in orientation, that subject AI tools to critical scrutiny rather than treating them as neutral authorities, that invest in teacher development alongside learner development, and that build equity into programme design from the outset. The five-stage pedagogical model presented in this article (Figure 3) is intended as a practical framework for educators seeking to navigate this complex terrain.

Future research should address: the long-term retention of gender-inclusive language competence in AI-supported learning contexts; the specific needs and experiences of learners from cultures with highly grammaticalized gender systems; the development of bias-mitigation strategies for AI language tools used in gender terminology instruction; and the perspectives of gender-diverse learners themselves on AI-mediated gender language instruction.

Gender terminology instruction in conditions of globalization is no longer a marginal or optional concern for language educators — it is a central professional and pedagogical responsibility. As workplaces, institutions, and communities worldwide grapple with questions of gender equity and inclusion, the English language classroom has both the opportunity and the obligation to prepare learners for inclusive communicative practice.

Artificial intelligence, deployed thoughtfully and critically, offers powerful tools for meeting this challenge. From adaptive tutoring systems that personalize pronoun instruction, to NLP-powered feedback tools that flag gendered language in learner writing, to corpus-based platforms that expose

learners to the authentic evolution of gender-inclusive professional English, AI expands what is possible in gender terminology instruction.

The solutions and methodologies proposed in this article — AI-augmented TBLT, corpus-based instruction, flipped classrooms, contrastive analysis, and data-driven learning — represent a research-informed foundation for educators seeking to integrate AI into gender-inclusive language teaching. When combined with culturally responsive design, institutional policy support, and sustained teacher professional development, these approaches offer a compelling vision of what gender terminology instruction can achieve in the globalized educational landscapes of the twenty-first century.

References

[1]. Bolukbasi, T., Chang, K. W., Zou, J., Saligrama, V., & Kalai, A. (2016). Man is to computer programmer as woman is to homemaker? Debiasing word embeddings. Advances in Neural Information Processing Systems, 29, 4349–4357.

[2]. Butler, J. (1990). Gender trouble: Feminism and the subversion of identity. Routledge.

[3]. Byram, M. (1997). Teaching and assessing intercultural communicative competence. Multilingual Matters.

[4]. Cameron, D. (1992). Feminism and linguistic theory (2nd ed.). Palgrave Macmillan.

[5]. Ellis, R. (2003). Task-based language learning and teaching. Oxford University Press.

[6]. Holmes, J., & Meyerhoff, M. (Eds.). (2003). The handbook of language and gender. Blackwell.

[7]. Johns, T. (1991). Should you be persuaded: Two samples of data-driven learning materials. ELR Journal, 4, 1–16.

[8]. Lakoff, R. (1975). Language and woman's place. Harper & Row.

[9]. Long, M. H. (2015). Second language acquisition and task-based language teaching. Wiley-Blackwell.

[10]. Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). Intelligence unleashed: An argument for AI in education. Pearson.

[11]. Ng, C., & Zhao, Y. (2020). Gender language and artificial intelligence: Challenges for inclusive NLP. Journal of Language and Technology, 8(1), 45–62.

[12]. Selwyn, N. (2019). Should robots replace teachers? AI and the future of education. Polity Press.

[13]. UNESCO. (2021). Artificial intelligence in education: Challenges and opportunities for sustainable development. UNESCO.

[14]. United Nations. (2019). Guidelines for gender-inclusive language in English. UN Department for General Assembly and Conference Management.

[15]. Warschauer, M., & Healey, D. (1998). Computers and language learning: An overview. Language Teaching, 31(2), 57–71.

[16]. West, M., Kraut, R., & Ei Chew, H. (2019). I'd blush if I could: Closing gender divides in digital skills through education. EQUALS & UNESCO.

[17]. Zhao, J., Wang, T., Yatskar, M., Ordonez, V., & Chang, K. W. (2018). Gender bias in coreference resolution: Evaluation and debiasing methods. Proceedings of NAACL-HLT 2018, 15–20.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНОЯЗЫЧНОЙ КОМПЕТЕНЦИИ В СИСТЕМЕ СОВРЕМЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

З.Т. Зокирова

Ферганский государственный технический университет
e-mail: zokirova zulfiya56@g.mail.com

(Получена 06.04.2026 г.)

Аннотация: *В статье рассматриваются методологические основы формирования иноязычной компетенции в системе современного образования. Раскрывается сущность и структура иноязычной компетенции как интегративного качества личности, включающего коммуникативные, социокультурные, лингвистические и стратегические компоненты.*

Ключевые слова: *иноязычная компетенция, методология обучения, современное образование, коммуникативный подход, компетентностный подход, образовательные технологии, цифровизация обучения, языковая подготовка, мотивация обучения, педагогические инновации*

Annotatsiya: *Maqolada zamonaviy ta'lim tizimida xorijiy til kompetensiyasini shakllantirishning metodologik asoslari ko'rib chiqiladi. Xorijiy til kompetensiyasining mohiyati va tuzilmasi shaxsning*

integrativ sifati sifatida ochib beriladi, u kommunikativ, sotsiokulturniy, lingvistik va strategik komponentlarni o‘z ichiga oladi.

Tayanch so‘zlar: *xorijiy til kompetensiyasi, o‘qitish metodologiyasi, zamonaviy ta’lim, kommunikativ yondashuv, kompetensiyaviy yondashuv, ta’lim texnologiyalari, ta’limni raqamlashtirish, til tayyorgarligi, o‘qishga motivatsiya, pedagogik innovatsiyalar*

Abstract: *The article examines the methodological foundations of the formation of foreign language competence in the modern education system. The essence and structure of foreign language competence are revealed as an integrative quality of an individual, including communicative, sociocultural, linguistic, and strategic components.*

Key words: *foreign language competence, teaching methodology, modern education, communicative approach, competency-based approach, educational technologies, digitalization of education, language training, learning motivation, pedagogical innovations.*

I.Введение:

В условиях глобализации и усиления интеграционных процессов в образовании иностранный язык выступает не только как средство коммуникации, но и как инструмент профессионального и межкультурного взаимодействия. Это обусловливает возрастающую значимость формирования иноязычной компетенции как одного из ключевых результатов современного образовательного процесса.

Иноязычная компетенция рассматривается в научной литературе как интегративное образование личности, включающее лингвистический, коммуникативный, социокультурный и стратегический компоненты. Ее формирование предполагает не только овладение языковыми знаниями и навыками, но и развитие способности к адекватному использованию языка в различных ситуациях общения с учетом культурного контекста.

Современная образовательная парадигма, ориентированная на компетентностный подход, требует пересмотра традиционных методологических основ обучения иностранным языкам. В этой связи особую актуальность приобретает внедрение инновационных педагогических технологий, цифровых образовательных ресурсов, а также коммуникативно-деятельностных методов, направленных на повышение эффективности языковой подготовки обучающихся. [1]

Методологические основы формирования иноязычной компетенции опираются на совокупность научных подходов, включающих компетентностный, личностно-ориентированный и коммуникативный подходы, которые в совокупности обеспечивают системное развитие языковой личности обучающегося.

Несмотря на значительное количество исследований в данной области, сохраняется необходимость дальнейшего теоретического и практического осмысления эффективных моделей формирования иноязычной компетенции в условиях цифровизации образования и трансформации образовательной среды.

Таким образом, актуальность настоящего исследования определяется необходимостью уточнения и систематизации методологических основ формирования иноязычной компетенции в контексте современных требований к качеству образования.

II.Методология исследования:

Методологическую основу исследования составляют фундаментальные положения современной педагогики, теории обучения иностранным языкам, а также концепции компетентностного, коммуникативного и личностно-ориентированного подходов. Данные подходы позволяют рассматривать процесс формирования иноязычной компетенции как целостную педагогическую систему, направленную на развитие у обучающихся способности к эффективной межкультурной коммуникации.

В процессе исследования использовался комплекс теоретических и эмпирических методов. К теоретическим методам относятся анализ научной литературы по проблеме исследования, систематизация и обобщение педагогического опыта, а также сравнительный анализ существующих методологических подходов к обучению иностранным языкам. Данные методы позволили выявить ключевые закономерности и тенденции в развитии иноязычной компетенции в условиях современной образовательной среды. [2]

Эмпирическая часть исследования базировалась на наблюдении за образовательным процессом, анализе практики преподавания иностранных языков, а также на изучении

эффективности применения инновационных педагогических технологий и цифровых образовательных ресурсов. Это позволило определить наиболее результативные методические приемы формирования иноязычной компетенции у обучающихся.

Особое внимание в рамках методологии уделяется системному и деятельностному подходам, обеспечивающим целостное рассмотрение процесса обучения иностранному языку как взаимосвязанной системы целей, содержания, методов и результатов образовательной деятельности.

Таким образом, применяемая методология обеспечивает комплексное изучение процесса формирования иноязычной компетенции и позволяет обосновать эффективность современных педагогических подходов в условиях трансформации системы образования.

III. Научно-теоретические предложения и рекомендации:

Проведённый анализ методологических основ формирования иноязычной компетенции в системе современного образования позволяет сформулировать ряд научно-теоретических положений и практических рекомендаций, направленных на повышение эффективности образовательного процесса.

Во-первых, представляется целесообразным рассматривать процесс формирования иноязычной компетенции как многоуровневую и динамичную систему, включающую взаимосвязанные компоненты: лингвистический, коммуникативный, социокультурный и стратегический. Такой системный подход обеспечивает более целостное понимание структуры языковой подготовки обучающихся.

таблица 1

Структурные компоненты иноязычной компетенции.

№	Компонент	Содержание	Функциональное назначение
1	Лингвистический	Знания фонетики, лексики, грамматики иностранного языка	Обеспечение правильного языкового оформления речи
2	Коммуникативный	Умения использовать язык в реальных ситуациях общения	Формирование навыков эффективной коммуникации
3	Социокультурный	Знания культуры, традиций и норм поведения носителей языка	Обеспечение межкультурного взаимодействия

Во-вторых, необходимо дальнейшее развитие и углубление компетентностного подхода в преподавании иностранных языков, предполагающего ориентацию не только на усвоение знаний, но и на формирование способности их практического применения в реальных коммуникативных ситуациях.

таблица 2

Методологические подходы к формированию иноязычной компетенции.

№	Подход	Основная идея	Роль в обучении
1	Компетентностный	Ориентация на результат обучения в виде сформированных компетенций	Формирование практической готовности к использованию языка
2	Коммуникативный	Обучение через общение и речевую деятельность	Развитие навыков устной и письменной речи
3	Личностно-ориентированный	Учет индивидуальных особенностей обучающихся	Повышение мотивации и эффективности обучения
4	Деятельностный	Обучение через активную деятельность	Формирование практических речевых умений

В-третьих, важным направлением совершенствования методологии обучения является активное внедрение цифровых образовательных технологий, обеспечивающих индивидуализацию обучения, повышение мотивации обучающихся и расширение возможностей языковой практики вне аудиторной среды [3].

таблица 3

Современные технологии формирования иноязычной компетенции

№	Технология	Характеристика	Образовательный эффект
1	Цифровые образовательные ресурсы	Использование онлайн-платформ, приложений, мультимедиа	Расширение возможностей самостоятельного обучения
2	Интерактивные методы	Дискуссии, ролевые игры, проекты	Повышение активности обучающихся
3	Дистанционное обучение	Обучение через онлайн-среду	Обеспечение гибкости образовательного процесса
4	Проектная деятельность	Выполнение учебных проектов на иностранном языке	Развитие исследовательских и коммуникативных навыков

В-четвёртых, рекомендуется усилить интеграцию коммуникативно-деятельностного и личностно-ориентированного подходов, что позволит учитывать индивидуальные особенности обучающихся, их уровень языковой подготовки, а также образовательные потребности.

В-пятых, целесообразно развивать систему методической подготовки преподавателей иностранных языков с акцентом на использование инновационных педагогических технологий, интерактивных форм обучения и средств цифровизации образовательного процесса. [4]

Таким образом, реализация предложенных научно-теоретических положений и рекомендаций будет способствовать повышению качества формирования иноязычной компетенции и обеспечит соответствие образовательного процесса современным требованиям международных стандартов.

IV.Обсуждение:

Результаты теоретического анализа показывают, что формирование иноязычной компетенции в системе современного образования представляет собой сложный, многоуровневый процесс, зависящий от согласованного применения методологических подходов, образовательных технологий и организационно-педагогических условий. При этом эффективность данного процесса определяется степенью интеграции традиционных и инновационных методов обучения.

Сравнительный анализ основных методологических подходов позволяет выявить их функциональные особенности и роль в формировании иноязычной компетенции. [5]

таблица 4

Сравнительный анализ методологических подходов.

Подход	Основная функция	Сильные стороны	Ограничения
Компетентностный	Формирование конечных образовательных результатов	Практическая направленность, ориентация на результат	Недостаточное внимание процессу обучения
Коммуникативный	Развитие речевой деятельности	Формирование реальных коммуникативных навыков	Требует высокой языковой среды
Личностно-ориентированный	Учет индивидуальных особенностей обучающихся	Повышение мотивации и вовлеченности	Сложность реализации в больших группах
Деятельностный	Обучение через практическую деятельность	Развитие умений через практику	Требует высокой организации процесса

Анализ показывает, что наибольший эффект достигается при комбинированном использовании указанных подходов, что обеспечивает целостное развитие языковой личности.

Важным аспектом обсуждения является роль цифровых технологий в формировании иноязычной компетенции. Их применение существенно изменяет характер образовательного процесса, делая его более гибким, интерактивным и доступным.

таблица 5

Влияние цифровых технологий на формирование иноязычной компетенции.

Цифровая технология	Образовательная функция	Результат применения
Онлайн-платформы	Организация самостоятельного обучения	Повышение автономности обучающихся
Мультимедийные ресурсы	Визуализация и аудиоподдержка	Улучшение восприятия материала
Дистанционные курсы	Гибкость обучения	Доступность образования
Мобильные приложения	Повседневная языковая практика	Развитие регулярных навыков

Полученные данные свидетельствуют о том, что цифровизация образования способствует созданию более естественной языковой среды, однако ее эффективность зависит от методически обоснованного включения в образовательный процесс.

Дополнительно проведён анализ факторов, влияющих на успешность формирования иноязычной компетенции.

таблица 6

Факторы эффективности формирования иноязычной компетенции.

Группа факторов	Содержание	Влияние на результат
Методологические	Выбор подходов и принципов обучения	Определяют структуру процесса
Организационные	Формат занятий, количество практики	Влияют на интенсивность обучения
Личностные	Мотивация, уровень подготовки	Определяют скорость усвоения
Технологические	Использование цифровых средств	Расширяют возможности обучения

Анализ данных факторов позволяет сделать вывод, что эффективность формирования иноязычной компетенции определяется не отдельными методами, а их системным взаимодействием.

Таким образом, обсуждение результатов исследования подтверждает необходимость комплексного подхода, основанного на сочетании методологических принципов, педагогических технологий и цифровых инструментов, что обеспечивает повышение качества языковой подготовки обучающихся в современных образовательных условиях. [6]

V.Выводы и предложения:

Проведённое исследование методологических основ формирования иноязычной компетенции в системе современного образования позволяет сделать ряд обобщающих выводов.

Во-первых, иноязычная компетенция рассматривается как интегративное качество личности, включающее лингвистический, коммуникативный, социокультурный и стратегический компоненты, что требует системного подхода к её формированию в образовательном процессе.

Во-вторых, установлено, что наиболее результативным является сочетание компетентностного, коммуникативного, деятельностного и личностно-ориентированного подходов, обеспечивающих целостное развитие языковой личности обучающегося и формирование практических навыков межкультурного общения.

В-третьих, подтверждена значимая роль цифровых образовательных технологий, которые расширяют возможности организации учебного процесса, способствуют индивидуализации обучения и повышают мотивацию обучающихся к изучению иностранного языка.

В-четвёртых, выявлено, что эффективность формирования иноязычной компетенции во многом определяется уровнем методической подготовки преподавателей и степенью интеграции инновационных педагогических технологий в образовательную практику.

На основе полученных результатов сформулированы следующие предложения:

— рекомендуется усилить практико-ориентированную направленность обучения иностранным языкам за счёт расширения коммуникативной практики в учебном процессе;
— целесообразно активнее внедрять цифровые образовательные ресурсы и платформы, обеспечивающие непрерывность и доступность языкового обучения;
— необходимо совершенствовать методическую подготовку педагогов в области использования современных педагогических и информационных технологий;
— важно развивать межкультурный компонент обучения, направленный на формирование у обучающихся способности к эффективному взаимодействию в глобальной образовательной среде;
— рекомендуется интегрировать различные методологические подходы в единую систему обучения иностранным языкам для повышения качества образовательных результатов.

Таким образом, реализация предложенных мер будет способствовать повышению эффективности формирования иноязычной компетенции и обеспечит соответствие образовательного процесса современным требованиям международных стандартов.

Список литературы:

[1]. Council of Europe. Common European Framework of Reference for Languages: Learning, Teaching, Assessment (CEFR), Cambridge University Press, 2001.
[2]. Richards J. C., Rodgers T. S. Approaches and Methods in Language Teaching, Cambridge University Press, 2014.
[3]. Zimnyaya I. A. Key Competencies as a Result-Target Basis of Competence Approach in Education. Moscow, 2004.
[4]. Соловова Е. Н. Методика обучения иностранным языкам: базовый курс. Москва, АСТ, 2010.
[5]. Полат Е. С. Современные педагогические и информационные технологии в системе образования. Москва, Академия, 2010.
[6]. European Commission. Digital Education Action Plan 2021–2027. Brussels, 2020.

МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ИХ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

М.М. Рустамова

Ферганский государственный технический университет
e-mail: M.Rustamova1005@gmail.com
(Получена 06.04.2026 г.)

Аннотация: *В статье рассматриваются механизмы формирования и реализации устойчивого развития текстильных предприятий Узбекистана на основе их экономического потенциала. Проанализированы современные подходы к обеспечению устойчивого развития промышленного сектора, а также выявлены ключевые факторы, влияющие на эффективность использования экономических ресурсов предприятий.*

Ключевые слова: *текстильные предприятия, устойчивое развитие, экономический потенциал, инновации, конкурентоспособность.*

Annotatsiya: *Maqolada O‘zbekiston to‘qimachilik korxonalarining iqtisodiy salohiyati asosida barqaror rivojlanishni shakllantirish va amalga oshirish mexanizmlari ko‘rib chiqiladi. Sanoat sektorida barqaror rivojlanishni ta’minlashning zamonaviy yondashuvlari tahlil qilinib, korxonalarning iqtisodiy resurslaridan samarali foydalanishga ta’sir etuvchi asosiy omillar aniqlanadi.*

Tayanch so‘zlar: *to‘qimachilik korxonalari, barqaror rivojlanish, iqtisodiy salohiyat, innovatsiyalar, raqobatbardoshlik.*

Abstract: *The article examines the mechanisms for forming and implementing sustainable development of textile enterprises in Uzbekistan based on their economic potential. Modern*

approaches to ensuring sustainable development of the industrial sector are analyzed, and key factors influencing the efficient use of enterprises' economic resources are identified.

Key words: *textile enterprises, sustainable development, economic potential, innovation, competitiveness.*

I.Введение: В современных условиях трансформации мировой экономики и усиления конкуренции на глобальных рынках особое значение приобретает обеспечение устойчивого развития промышленных предприятий. Текстильная отрасль, являясь одной из ключевых составляющих промышленного сектора, играет важную роль в формировании экспортного потенциала, создании рабочих мест и обеспечении экономической стабильности.

Для текстильных предприятий актуальной задачей становится не только наращивание производственных показателей, но и достижение сбалансированного развития, основанного на эффективном использовании имеющихся ресурсов. В этом контексте особое внимание уделяется экономическому потенциалу предприятий, который выступает в качестве базиса для формирования долгосрочной стратегии развития и повышения их конкурентоспособности.

Экономический потенциал текстильных предприятий включает совокупность производственных, финансовых, трудовых и инновационных ресурсов, рациональное использование которых позволяет обеспечить устойчивость функционирования в условиях изменяющейся внешней среды. Вместе с тем, недостаточная разработанность механизмов его эффективной реализации ограничивает возможности предприятий в достижении устойчивого развития.[1]

Современные тенденции развития экономики требуют внедрения комплексных механизмов, направленных на интеграцию инновационных технологий, совершенствование системы управления и повышение эффективности производственных процессов. Это обусловливает необходимость научного осмысления и разработки методических подходов к формированию и реализации устойчивого развития текстильных предприятий на основе их экономического потенциала.

Актуальность исследования определяется потребностью в разработке эффективных механизмов управления экономическим потенциалом предприятий текстильной отрасли, способствующих их устойчивому развитию в условиях глобализации и цифровизации экономики.

II.Методология исследования: Методологическую основу исследования составляют положения теории устойчивого развития, концепции управления экономическим потенциалом предприятия, а также современные подходы к стратегическому и инновационному развитию промышленного сектора. Исследование базируется на системном и комплексном подходах, позволяющих рассматривать текстильные предприятия как многоуровневые социально-экономические системы, функционирующие в условиях неопределённости и высокой конкуренции.

В рамках исследования применён комплекс теоретических и эмпирических методов. К теоретическим методам относятся анализ, синтез, обобщение научной литературы, а также сравнительный анализ существующих подходов к обеспечению устойчивого развития предприятий. Эмпирическая часть основана на методах экономического анализа, группировки показателей, сопоставления и интерпретации данных, что позволило выявить закономерности формирования устойчивого развития на основе экономического потенциала.

Особое место в методологии занимает структурно-факторный анализ, направленный на выявление взаимосвязей между элементами экономического потенциала и показателями устойчивости предприятий. В целях систематизации результатов использован метод моделирования, позволивший представить механизм устойчивого развития как совокупность взаимосвязанных элементов.[2]

Для оценки влияния экономического потенциала на устойчивое развитие текстильных предприятий предложена структурная модель, представленная в таблице.

таблица 1

Показатели оценки экономического потенциала предприятия

Группа показателей	Индикаторы	Метод оценки	Значение для устойчивого развития
Производственные	Объём выпуска, загрузка мощностей	Коэффициентный анализ	Определяют эффективность производства
Финансовые	Рентабельность, ликвидность	Финансовый анализ	Обеспечивают стабильность предприятия
Трудовые	Производительность труда	Сравнительный анализ	Влияют на эффективность деятельности
Инновационные	Уровень внедрения технологий	Экспертная оценка	Повышают конкурентоспособность

Систематизация показателей позволяет комплексно оценить уровень экономического потенциала предприятия. Установлено, что наибольшее влияние на устойчивость оказывают финансовые и производственные показатели, в то время как инновационные факторы формируют долгосрочные преимущества.

таблица 2

Методы исследования и их функциональное назначение.[3]

Метод	Цель применения	Результат
Анализ и синтез	Изучение теоретических основ	Формирование концептуальной базы
Сравнительный анализ	Оценка различных подходов	Выявление эффективных механизмов
Экономический анализ	Оценка деятельности предприятий	Определение уровня устойчивости
Моделирование	Построение механизма развития	Формирование системы управления

Использование совокупности методов обеспечивает достоверность результатов исследования и позволяет выявить взаимосвязи между различными элементами экономического потенциала.

таблица 3

Модель механизма устойчивого развития текстильных предприятий

Элемент механизма	Содержание	Инструменты реализации	Ожидаемый эффект
Экономический	Управление ресурсами	Планирование, оптимизация затрат	Рост эффективности
Организационный	Совершенствование управления	Реинжиниринг процессов	Повышение устойчивости
Инновационный	Внедрение технологий	Цифровизация, автоматизация	Рост конкурентоспособности
Социальный	Развитие персонала	Обучение, мотивация	Увеличение производительности

Предложенная модель демонстрирует, что устойчивое развитие формируется за счёт комплексного взаимодействия различных механизмов. Наиболее значимый эффект достигается при их одновременной реализации.

Таким образом, разработанная методология исследования позволяет комплексно оценить экономический потенциал текстильных предприятий и определить механизмы его эффективного использования для обеспечения устойчивого развития. Интеграция количественных и качественных методов анализа обеспечивает достоверность результатов и их практическую значимость.

III. Научно-теоретические предложения и рекомендации.

Результаты проведённого исследования позволяют сформулировать ряд научно-теоретических положений и практико-ориентированных рекомендаций, направленных на совершенствование механизмов формирования и реализации устойчивого развития текстильных предприятий на основе их экономического потенциала.

Прежде всего, предлагается рассматривать экономический потенциал предприятия как многоуровневую систему, включающую взаимосвязанные элементы, эффективность которых определяется степенью их согласованного функционирования. В этой связи устойчивое развитие должно обеспечиваться не за счёт отдельных ресурсов, а посредством их комплексной интеграции в рамках единой стратегии управления.[4]

таблица 4

Научно-теоретические положения формирования устойчивого развития

Положение	Содержание	Теоретическая значимость	Практическое применение
Системность	Рассмотрение предприятия как целостной системы	Формирует целостное понимание управления	Обеспечивает согласованность решений
Комплексность	Интеграция всех видов ресурсов	Расширяет методологическую базу	Повышает эффективность использования ресурсов
Адаптивность	Способность к изменениям	Учитывает внешние факторы	Обеспечивает устойчивость в кризисных условиях

Представленные положения подтверждают, что устойчивое развитие возможно только при условии комплексного подхода, учитывающего как внутренние ресурсы предприятия, так и внешние факторы среды.

В рамках совершенствования механизмов устойчивого развития предлагается внедрение интегрированной модели управления экономическим потенциалом.

таблица 5

Рекомендации по совершенствованию механизмов устойчивого развития

Направление	Рекомендация	Инструменты реализации	Ожидаемый результат
Экономическое	Оптимизация использования ресурсов	Бюджетирование, контроль затрат	Повышение эффективности
Организационное	Совершенствование структуры управления	Реинжиниринг процессов	Устойчивость деятельности
Инновационное	Внедрение современных технологий	Автоматизация, цифровизация	Рост конкурентоспособности
Социальное	Развитие кадрового потенциала	Обучение, мотивация	Повышение производительности

Комплексная реализация данных рекомендаций обеспечивает синергетический эффект, при котором общий результат превышает эффект от отдельных мероприятий.

Особое внимание следует уделить взаимосвязи между элементами экономического потенциала и результатами устойчивого развития [5].

таблица 6

Взаимосвязь экономического потенциала и устойчивого развития

Элемент потенциала	Механизм воздействия	Результат
Производственный	Повышение эффективности производства	Увеличение объёмов выпуска
Финансовый	Обеспечение инвестиционной активности	Финансовая устойчивость
Инновационный	Внедрение технологий	Конкурентные преимущества
Трудовой	Развитие компетенций персонала	Рост производительности

Установлено, что ключевым условием устойчивого развития является сбалансированное развитие всех элементов экономического потенциала. Дисбаланс приводит к снижению общей эффективности функционирования предприятия.

На основе проведённого анализа предлагается:

— формировать стратегию устойчивого развития на основе комплексной оценки экономического потенциала предприятия;

— внедрять интегрированные механизмы управления ресурсами, обеспечивающие их эффективное использование;

— активизировать инновационную деятельность как ключевой фактор повышения конкурентоспособности;

— совершенствовать организационные структуры управления с учётом принципов гибкости и адаптивности;

— развивать кадровый потенциал предприятий как основу долгосрочной устойчивости.

Таким образом, предложенные научно-теоретические положения и рекомендации направлены на формирование целостной системы управления устойчивым развитием текстильных предприятий. Их реализация позволит повысить эффективность использования экономического потенциала и обеспечить устойчивое функционирование предприятий в условиях современной экономики.

IV.Обсуждение:

Результаты проведённого исследования подтверждают, что устойчивое развитие текстильных предприятий формируется под воздействием комплекса взаимосвязанных факторов, среди которых ключевое значение имеет уровень и структура экономического потенциала. В отличие от традиционного подхода, ориентированного преимущественно на наращивание производственных показателей, современная модель устойчивого развития предполагает сбалансированное использование ресурсов, адаптацию к внешней среде и внедрение инновационных решений.

Проведённый анализ показывает, что эффективность реализации механизмов устойчивого развития зависит от согласованности внутренних элементов системы управления и степени их интеграции с внешними условиями функционирования предприятия.

таблица 7

Сравнительный анализ традиционного и устойчивого подходов к развитию предприятий

Критерий	Традиционный подход	Устойчивый подход
Цель развития	Рост объёмов производства	Сбалансированное развитие
Использование ресурсов	Интенсивное	Рациональное
Управление	Краткосрочное	Стратегическое
Роль инноваций	Ограниченная	Ключевая
Устойчивость	Низкая	Высокая

Сравнение показывает, что устойчивый подход обеспечивает более долгосрочные результаты за счёт комплексного управления ресурсами и ориентации на стратегическое развитие. Важным аспектом является влияние отдельных элементов экономического потенциала на устойчивость функционирования текстильных предприятий.

таблица 8

Влияние элементов экономического потенциала на устойчивое развитие

Элемент потенциала	Степень влияния	Характер воздействия
Финансовый	Высокая	Обеспечивает инвестиционные возможности
Производственный	Высокая	Определяет объём и качество продукции
Инновационный	Средняя–высокая	Формирует конкурентные преимущества
Трудовой	Средняя	Влияет на производительность труда
Управленческий	Высокая	Определяет эффективность решений

Установлено, что наибольшее влияние оказывают финансовые и управленческие ресурсы, однако без инновационного развития невозможно обеспечить долгосрочную устойчивость.[6]

Таким образом, проведённое обсуждение подтверждает, что формирование и реализация устойчивого развития текстильных предприятий должны основываться на комплексном управлении экономическим потенциалом. Наиболее эффективной является модель, сочетающая экономические, инновационные и организационные механизмы, что позволяет обеспечить не только текущую эффективность, но и долгосрочную устойчивость предприятий.

Полученные результаты дополняют существующие научные представления о механизмах устойчивого развития и могут служить основой для разработки практических рекомендаций по совершенствованию управления текстильными предприятиями.

V.Выводы и предложения:

Проведённое исследование позволило сформировать целостное представление о механизмах формирования и реализации устойчивого развития текстильных предприятий на основе их экономического потенциала и сделать следующие выводы.

Во-первых, устойчивое развитие текстильных предприятий следует рассматривать как результат сбалансированного взаимодействия всех элементов экономического потенциала, включающего производственные, финансовые, трудовые, инновационные и управленческие ресурсы. Недостаточная развитость одного из элементов приводит к снижению общей эффективности функционирования предприятия.

Во-вторых, установлено, что ключевым условием обеспечения устойчивости является переход от краткосрочной модели управления к стратегически ориентированному подходу, основанному на рациональном использовании ресурсов и адаптации к изменениям внешней среды.

В-третьих, доказано, что внедрение инновационных технологий и цифровых решений выступает одним из основных факторов повышения конкурентоспособности текстильных предприятий и обеспечения их долгосрочного развития.

В-четвёртых, выявлено, что эффективность реализации механизмов устойчивого развития определяется уровнем управленческой компетентности и способностью предприятия интегрировать экономические, организационные и инновационные инструменты в единую систему управления.

На основе полученных результатов предлагаются следующие рекомендации:

— формировать стратегию устойчивого развития предприятий на основе комплексной оценки их экономического потенциала и выявления ключевых точек роста;

— внедрять интегрированные механизмы управления ресурсами, направленные на повышение их эффективности и снижение издержек;

— активизировать инновационную деятельность за счёт внедрения современных технологий, автоматизации и цифровизации производственных процессов;

— совершенствовать организационные структуры управления с ориентацией на гибкость,

адаптивность и повышение качества управленческих решений;
— развивать кадровый потенциал предприятий посредством повышения квалификации персонала и внедрения современных методов мотивации;
— учитывать влияние внешних факторов, включая рыночную конъюнктуру и государственную экономическую политику, при разработке стратегий устойчивого развития.

Таким образом, реализация предложенных мер позволит повысить эффективность использования экономического потенциала текстильных предприятий и обеспечить их устойчивое развитие в условиях современной экономики.

Список литературы:

[1]. Министерство инвестиций, промышленности и торговли Республики Узбекистан. Отчет о состоянии текстильной промышленности Узбекистана за 2023 год, Ташкент, 2023.
[2]. Костюченко З., Архипова О. Текстильная промышленность: основные результаты реализации Стратегии развития Узбекистана (2017–2020 гг.), Институт макроэкономических и региональных исследований, 2021.
[3]. Хакимов М. Ш. Инновационные подходы к управлению в легкой промышленности, Экономика и образование, 2021.
[4]. Шарипова Д. Ф. Бережливое производство как фактор повышения эффективности текстильных предприятий, Вестник ТИТЛП, 2021.
[5]. Махмудов С. Р. Цифровая трансформация текстильной промышленности // Инновации в промышленности, 2024.
[6]. Усманов Ж. К. Ценовая конкурентоспособность узбекского текстиля на мировых рынках, Внешнеэкономический бюллетень, 2024.

УДК 811.11

СТРУКТУРНО-СЕМАНТИЧЕСКИЕ СХОДСТВА И РАЗЛИЧИЯ В ОБЛАСТИ ЦВЕТОВОЙ ЛЕКСИКИ

Н.Д. Ташланова

Ферганский государственный технический университет
E-mail:nigoratashlanova7@gmail.com,+998-911207710
(Получена 06.04.2026 г.)

Аннотация: *В данной статье проводится сопоставительный анализ лексики, связанной с наименованием цветов, в различных языках и культурах. Рассматриваются языковые средства, отражающие представления о мире через языковые знаки и их значения, а также выявляются структурно-семантические сходства и различия в области цветовой лексики. Обсуждаются универсальные и национально-культурные особенности наименований цветов, их роль в символике различных народов, а также влияние на психику человека и интерсубъективное восприятие. Освещается динамическая природа лингвоцветовой картины мира и ее изменения, отражающиеся в языке.*

Ключевые слова: *лексика, цветонаименование, лингвистика, языковая картина, языковое членение, языковое упорядочение, общечеловеческие знания, достижения, языковые средства.*

Annotation: *This article provides a comparative analysis of the vocabulary associated with the naming of flowers in various languages and cultures. Linguistic means reflecting ideas about the world through linguistic signs and their meanings are considered, as well as structural and semantic similarities and differences in the field of color vocabulary are revealed. The universal and national-cultural features of flower names, their role in the symbolism of various peoples, as well as their impact on the human psyche and intersubjective perception are discussed. The dynamic nature of the linguistic color picture of the world and its changes reflected in the language are highlighted.*

Keywords: *vocabulary, color naming, linguistics, language picture, language division, language ordering, universal knowledge, achievements, language means.*

Сопоставительное изучение лексики цветонаименований уже с давних пор имеет место быть в лингвистике и проводится с привлечением материала языков самых различных типов и семей. Мы считаем, огромную роль в сопоставительном изучении играет языковая картина мира.

В сопоставительных исследованиях цветолексики особое внимание уделяется определению роли терминов цвета в формировании языковой картины мира, концептуализации и месту цветовой лексики в процессах познания. Языковая картина мира может толковаться как «совокупность знаний о мире, отражённых в лексике, грамматике, фразеологии и т. д.»[1] как «представление о действительности, отражённое в языковых знаках и их значениях — языковое членение мира, языковое упорядочение предметов и явлений, заложенную в системе значений слов информацию о мире».[2]

На наш взгляд, именно языковая картина мира даёт всевозможные представления о национальном менталитете разных языков, так как общечеловеческие знания и достижения с большей или меньшей степенью адекватности могут быть переданы благодаря языковым средствам.

Рассмотрение вопросов, связанных с данной тематикой, носит как теоретическую, так и практическую значимость. Изучение лексики цветообозначения объясняется не только их широкой употребительностью в повседневной жизни, но и тем, что они экспрессивны, образны, ярко отражают особенности духовной и материальной жизни народа. Цель работы - сравнить лексику цветообозначений в английском, узбекском и русском языках, выявить их структурно-семантические сходства и различия. Важность данной статьи заключается в том, что исследование проведено в гармонии с такими направлениями языкознания, как сравнительное языкознание и лингвокультурология, что позволяет по-новому подойти к решению проблем, связанных с лексикой цветономинации. Предметом исследования является группа слов, называющих цвет. Разумеется, в основном это прилагательные-цветообозначения.[3] Исследование механизмов возникновения и употребления лексики цветообозначения в английском, узбекском и русском языках способствует выявлению особенностей вербального мышления носителей языка.

Научная новизна исследования состоит в том, что наиболее весомый вклад в исследование цвета и цветовой семантики внесли ученые-лингвисты. Изучается состав цветообозначающей лексики (А. П. Василевич, Р. М. Фрумкина, Adamson R., Berlin B., Kay P., Арнольд И. В. и др.), семантика, стилистические функции цветообозначений (Арбекова Т. И., Гак В. Г, Бежбицкая А., Кубрякова и др.) в психолингвистическом аспекте, семантическая структура (Василевич А. П., Кузницова С. Н., А. А. Брагина, И. В. Мокиенко), был проведен социологический эксперимент (Л. В. Лаенко). Цветообозначения изучались на базе сравнительно-исторического анализа (Н. Б. Бахилина, Буранов Дж., Новиков Ф. Н. Джусупов М.). Следует отметить, что в основе психолингвистических исследований язык рассматривается как феномен психической деятельности человека. Соответственно отношения между словами-цветонаименованиями и их смыслами отражаются в сознании носителей языка. Однако мы считаем, центральными вопросами всегда остаются: как, каким образом феномен цвета отражается в языке, как структурирован мир языка, сформировавшегося с помощью цветообозначений, каким образом это отражается на уровне разных психических процессов, связанных с узнаванием цвета, запоминанием слов, ассоциированием и т. д. Данные, полученные А. П. Василевичем в процессе исследования лексики в психолингвистическом эксперименте на материале цветообозначений, привели нас к выводу, что категория цветонаименований имеет универсальные черты, свойственные языку как продукту психической деятельности, и что языки обнаруживают разную степень приближения к универсальной категории - ближе всего к ней языки европейского лингвокультурного ареала. Обнаруженные различия обусловлены, прежде всего, культурно-историческими, а не лингвистическими факторами. Анализу отношений между компонентами посвящены исследования Р. М. Фрумкиной. Языковое сознание народа, роль цвета в жизнедеятельности человека в этнокультурной системе русского языка исследуются Т. И. Вендиной. В узбекской лингвистике понятие цвета интенсивно изучается Садыковой М, Матчановой С. И. и другими. Анализу художественных особенностей цветообозначений

[1] *Маслова В. А. М 31 Лингвокультурология: Учеб. Пособие для студ. высш.учеб, заведений. — М.: Издательский центр «Академия», 2001. 65 с.*

[2] *Попова, И.А. Стернин. Общее языкознание. Учебное пособие/. 2001, С. 68.*

[3] *Н.Б.Бахилина. История цветообозначения в русском языке М.1975. стр.5.*

посвящены работы Закировой Х. Д., которые анализирует этнолингвистические особенности цветообозначений.

Следует отметить, структурно-семантические сходства и различия в сфере цветообозначения связаны с дифференцальностью в картинах мира представителей различных культур, со сложившимися религиозными, историко-культурными, климатическими и другими рядами особенностей. Наименования цвета в культурах разных стран имеет как универсальные черты, так и национально-культурные особенности.

Следует отметить, световосприятие и его оценка — это феномен субъективного, которое связано не только с оптическими характеристиками самих оттенков цвета, но и с психофизиологическими деятельностями, происходящими при этом. Наряду с субъективным восприятием цвета индивидуумом существует и интерсубъективность в отношении к разным цветам. Изучая символику цвета, важно отметить тот факт, что цвета выполняют информативную роль в окружающей среде, потому и стали общими символами для обозначения разных понятий и явлений. Цветовая символика способна меняться от языка к языку, от одного языкового общества к иному.[4]

Роль цвета в символике разных народов и наций велика. Цвет воздействует на психику человека, поэтому в языках и культурах многих народов существуют определенные цвета, которые имеют символическое значение. В этом и проявляются как универсальные характеристики, которые свойственно всем языкам, так и специфические признаки, отличающие их друг от друга.

Изучение объектных цветообозначений с точки зрения перевода, можно сказать, расширяет наше знания о взаимосвязи семантики лексем и способов их перевода. Выявленные результаты способствуют дальнейшей разработке сопоставления основных цветовых наименований в английском, узбекском и русском языках, что позволяет показать национально-культурную специфику данных лексических единиц и их роль в цветовых картинах мира разных народов.

Под термином «объектные цветообозначения» мы понимаем прилагательные, обозначающие цвет, которые образованы от наименований разных предметов окружающей среды и обладающие ярко выраженной этимологией. Основными цветовыми прилагательными являются лексические единицы, которые служат наименованием цвета без оттенков и воплощают роль опорного слова в синонимических рядах, таким образом, в определение основных цветонаменований в большей степени включается лингвистический момент. В английском языке к основным цветообозначениям относятся white, black, red, brown, green, blue, yellow, orange, pink, grey, purple.[5] К основным цветам русского языка относятся красный, желтый, зеленый, голубой, синий, коричневый, черный, белый, серый. Именно они являются полисемантичными, в отличие от прилагательных английского языка orange (оранжевый) и purple (фиолетовый) которые включены к основным цветам, в русском языке они являются заимствованными и однозначными[6]. И наконец, к основным цветонаименованиям узбекского языка относятся oq, qora, qizil, yashil, sariq, ko‘k, moviy, jigarrang (malla), binafsha, kul rang[7] .

Разнообразие разделения цветового континуума и его наименования в различных языках привело исследователей данной сферы к выводу о количественном различии в строении цветообозначений[8].

В одних языках есть много лексических средств для передачи цветоощущений, а в других их значительно мало.

---

[4] *Садыкова, 1963, С. 15]. Слова, обозначающие цвет и окраску, в узбекском языке: Автореф. дис. … канд. филол. наук. – Т.: 1963. – 15 с.*

[5] Б.*Берлин, П.Кей, Основные термины цвета: их универсальность и эволюция. 1975, С. 4.*

[6] *Чирнер,1973, С. 3-8.Чирнер, 1973, С. 3. Устойчивые сочетания, включающие цветообозначения, в современном русском языке*

[7] Худоберганов, 2006. С.5-9.

[8] *Матчанова И.С. Цветообозначения узбекского языка: Автореф. дис. ... канд. филол. наук. – Т., 1984. – 33-36 с*

Также были выдвинуты гипотезы о взаимосвязи между количеством цветообозначений с уровнем культурного развития общества. Народы, в языках которых существуют малое количество основных цветообозначений, имеют низкий уровень развития. Большое значение причины в образовании системы цветообозначений имеет различная необходимость людей в обозначении различных групп тонов, которая была связанна с частотой появления оттенков цветов в природе и с их практическими потребностями. Также немаловажную роль в этом играют и дифференциальность в ассоциативном восприятии мира обществом разных наций и культурно-исторических эпох.

Можно сказать, появления значения цвета связаны со свойствами предметов, которые люди не способны произвольно изменять, к примеру: цвет земли, неба, кожи, растений и др., смысл данных цветов даже в различных культурах идентичны, например: в английском blue sky, русском голубое небо и в узбекском moviy osmon. Во всех трёх языках употреблен цвет «голубой» (blue). Или же, например, под влиянием исторических событий, религии, культуры у различных народов и наций один и тот же цвет приобрел разный смысл и символику. В Европе черный цвет означает «траур», а белый является символом «чистоты», а в Средней Азии оба цвета - «белый» и «черный» являются цветом траура, «белый» обозначается ещё и цветом чистоты.

Следует отметить, сопоставление цветов разных языков даёт нам возможность определить общую и отличительную характеристику в английской, русской и узбекской культурах. Коннотация цветов этих трёх языков иногда совпадает, а иногда отличается. Например: «красный» - «qizil» в русском словосочетании «красна девица» и в узбекском словосочетании «qizil yuz» (красное лицо) значит «красивая девушка», однако в английском языке словосочетание «red in the face» означает «смущаться». В русском языке «очи белые» - это светлые глаза, но на узбекском языке «oq ko‘z» (буквально белые глаза) означает больные глаза или магические в отрицательном смысле. В английском языке такое словосочетание отсутствует.

Отражение национального менталитета в словосочетаниях с цветами в английском, русском и узбекском языках можно проиллюстрировать на следующих примерах: в английском языке «black»-плохой black market (черное дело, нелегальное дело), black mailing someone (вымогать деньги), black as ink (очень темный), black as devil (черный как дьявол, черная душа), a black day (черный день), a black spot (черное пятно). В русском языке «черный»-плохой (черная душа, черная кошка проскочила), нелегальный (черное дело), тяжелый (черный час, сидеть на черном хлебе), низкий слой (черная кость, черный народ). В узбекском языке «плохой» - qora kungil (черная душа), qora mushuk o‘tdi (черная кошка проскочила), qora ish (черное дело); тяжелый - qora kun (черный день), qora nonda o‘tirib (сидеть на черном хлебе); низкий слой - qora suyak (черная кость), qora xalq (черный народ). Как мы видим в узбекском и русском языке черный цвет во многом совпадает с его значением, однако в английском мы имеем не так много совпадений.

Следует отметить, что слова со значением цвета, обозначают жизненно важные понятия, и являются устойчивым компонентом большого количества фразеологических выражений и словосочетаний, более того, они выделяются широким использованием и многозначностью. Благодаря своей семантической натуре они придают фразеологизмам эмоционально - экспрессивные оттенки и образность.

В языковой картине мира, все значения, выражаемые и фиксируемые в языке складываются в одну единую концепцию убеждений, образуя целостное миропонимание, которое становится обычным в виде языковой нормы носителям данного этноса. Язык является важнейшим компонентом культуры, который служит для передачи опыта и знаний будущему поколению. Культура организует мысль языковой личности, формирует языковые концепты и категории. Культура и язык – это нерасчленимые понятия, сформулировавшие языковую картину мира в истории цивилизации человека. Составная часть культуры – язык, является основным инструментом познания и усвоения культуры[9]. В языковой картине мира сам язык воспринимается как зеркало культуры, где имеет место мир человека и всей нации с её традициями, обычаями, менталитетом и ценностями. Поколения становятся носителями культуры, перенимая и осваивая опыт предков посредством языковой картины данного этноса. В

[9] *https://elibrary.ru/item.asp?id=22886506*

формировании человека как культурной личности, именно язык способствует восприятию менталитета, обычаев и традиций всего народа.

«Язык – это история народа. Язык – это путь цивилизации и культуры. Культура являет себя, прежде всего в языке. Язык есть истинная реальность культуры, он способен ввести человека в культуру. Язык есть фиксированный взгляд культуры на мироздание и себя самое», писал А.И.Куприн. Ход человеческой мысли при анализе мира и его оценки свойственны лишь одному языку[10]. Следует отметить, социологи, историки и лингвисты, бесспорно, утверждают, что человек принадлежит именно к той нации, на языке которой он говорит и мыслит[11]. Язык – это средство общения между людьми, продукт человеческого общества. Невозможно представить развитие общества без языка и развитие языка без общества. Он является не только средством общения между людьми, но и между народами, также инструмент межгосударственного общения.

Таким образом, сопоставительное исследование данных оборотов с компонентом цветонаменований отражают не только лингвистические факторы, но и, определяют роль лексики цветообозначений. Последние полностью зависят от ряда экстралингвистических факторов: особенностей национальной психологии и сознания, нравов и обычаев народа, культурных традиций, уклада, а также от различных обстоятельств, фактов объективной реальности. Следует отметить, преобладание одинаковых наименований цветов в лексических и фразеологических единицах разных языков выявляется тем, что данные цвета являются основными и самыми нужными для общения и имеет большое значение как теоретически, так и практически.

Проведенные анализы выявляют, что во всех трех языках, где сопоставляются группа непроизводных цветов состоят из прилагательных, которые обозначают как основные (абсолютные) цвета, так и некоторые цветовые оттенки.

Необходимо сделать ударение на то, что цветонаменований, которые были исследованы нами, обладают преимущественно интернациональным характером, и в то же время некоторые из цветообозначений, нужно отметить, характеризуются этноспецифическими особенностями.

Однако, в художественной картине мира перевод цветообозначений с одного языка на другой имеют своего рода сложности, так как одни и те же слова могут иметь различные значения.

Уместно заявлять, что цвет имеет огромное значение в жизни современного человека. Человек устроен так, что окружающий мир он воспринимает при помощи цвета. Чем ярче цвет, тем эмоциональнее его влияние на сознание человека. Языковеды, типологи, этимологи указывают на существование ряда универсальных черт в системе цветообозначения, а также отличительные черты их национально-культурного своеобразия. В связи с этим, лексика, обозначающая цвет рассматривается с точки зрения того, что она является познавательной деятельностью человеческого общества. 11 определений black, grey, white, red, green, blue, purple, brown, yellow, orange, pink являются общеупотребительными англоязычным народом. По мнению современных ученых, эти 11 определений универсальны, имеют способность вбирать в себя массу оттенков и тонов, которые выпадают на любой из содержащихся элементов цветового охвата и отвечают всем правилам языковой экономии.

Все названия цвета, встречающиеся в узбекском языке, заимствованы от природы и фигурируют в качестве простых прилагательных известных элементарных понятий: красный цвет взят от огня, синий от воды, зеленый от растительности.

В узбекском языке слова, называющие цвет, окраску, масть, оттенок, составляют около 360 лексем - самый большой разряд прилагательных.

Образование значения цвета в узбекском языке связано с признаками предметов, значение которых в разных культурах означает одно и тоже, Например: голубое небо - blue (голубой) sky - moviy (голубой) osmon. Под влиянием истории обстоятельств, религии, культуры у узбекского

[10] *Лингвокультурология. Краткий курс лекции и хрестоматия. д.фил.н., проф. С.А.Питина, д.фил.н-., проф.Л.А.Шкатова. Челябинск- 2006.*

[11] *Материалы международной научно-практической интернет-конференции «Тенденции и перспективы развития науки и образования в условиях глобализации» 31 июля 2020 г. Вып.61.Кадырова Ф.*

народа одинаковый цвет получил разные значения и символику. Так «белый» и «черный» является цветом траура, а «белый» - символ чистоты.

Красный, желтый, зеленый, синий, ахроматические белый и черный, а также серый, розовый, голубой, оранжевый, коричневый, фиолетовый цвета считаются «элементарными» и концептуализируются как «смеси» элементарных цветов. Согласно русским ученым, они выступают в качестве главных цветов.

Если рассматривать русскую лингвокультуру цвет был очень тесно связан с образом, и это сильно влияет на особенности семантики цветовой лексики на сегодняшний день. В русской лингвоцветовой картине мира эти цветовые стереотипы очень востребованы и значительно употребительны.

Структурно-семантические сходства и различия в сфере цветообозначения связаны с дифференциальностью в картинах мира представителей различных культур, со сложившимися религиозными, историко-культурными, климатическими и другими рядами особенностей. Цветообозначения в культурах разных стран имеет как универсальные черты, так и национально-культурные особенности.

Цвет играет очень важную роль в символике разных народов и наций. Он воздействует на психику человека, поэтому в языках и культурах многих народов существуют определенные цвета, которые имеют символическое значение (например, особый смысл носят цвета нашего флага - белый, голубой и зеленый - символы чистоты помыслов, мирного неба и молодости, которые воспринимаются возвышенно). В этом и проявляются как универсальные характеристики, которые свойственно всем языкам, так и специфические признаки, отличающие их друг от друга.

Изучая семантику многозначного иностранного слова, необходимо работать с однозначными (толковыми) словарями, в которых значение слов описывается, а не переводится, и значение слова принимается точно так же, как оно подразумевается носителями данного языка. Понимание значения иностранного слова не путем толкования, а через перевод предоставляет зачастую неверное представление о смысловых возможностях слова, искажает его главное значение, что препятствует верному словоупотреблению.

Изучение специфики цветообозначений актуально, и описания, предложенные в данной работе, не исчерпывают себя и требуют дальнейшего изучения.

Список литературы

[1]. Маслова В. А. М 31 Лингвокультурология: Учеб. Пособие для студ. высш. учеб, заведений. — М.: Издательский центр «Академия», 2001. 65 с.

[2]. Попова, И.А. Стернин. Общее языкознание. Учебное пособие /. 2001, С. 68].

[3]. Бахилина, Н. Б. (1975). История цветообозначения в русском языке. 45с.

[4]. Садыкова, 1963, С.15. Слова, обозначающие цвет и окраску, в узбекском языке: Автореф. дис. … канд.филол. наук. – Т.: 1963. – 15 с.

[5]. Б.Берлин, П.Кей, Основные термины цвета: их универсальность и эволюция. 1975, С. 4.

[6]. Чирнер,1973,С.3-8.Чирнер,1973,С.3.Устойчивые сочетания, включающие цветообозначения, в современном русском языке

[7]. Tashlanova, N.D. (2023). Tarixiy-leksikologik tadqiqotlarda rangli lug‘atning lingvomadaniy etnomadaniy va etnolingvistik xususiyatlarining tahlili, Buxoro davlat unuversiteti ilmiy jurnali, №10 noyabr.

[8]. Tashlanova, N.D. (2024). Semantic and structural features of the vocabulary of color designation in the russian language, European Journal of Humanities and Educational Advancemets (EJHEA), Vol.5. №02, 40-43.

[9]. Tashlanova, N.D. (2025). Лингвистический статус семантического поля и лексикосемантической группы, Research and implementation scientific-methodical journal, 3(1), 143-146.

[10]. Tashlanova, N.D. (2024). Toponimik atamalarning etimologiyasi va madaniy ahamiyatining o‘xshashligi va farqlari tahlili, Research and implementation scientific-methodical journal, 02 (12), 60-64.

[11]. Tashlanova, N.D. (2024). Ingliz, o‘zbek va rus tillarining rangli lug‘atidagi toponomik terminlarning o‘xshashliklari va farqlari tahlili (daryo nomlari misolida), Research and implementation scientific-methodical journal, 02 (11), 153-159.

[12]. Tashlanova N. Rangli lug‘atlardagi toponomik terminlarning o‘xshashliklari va farqlari tahlili (ingliz, o‘zbek va rus tillari misolida), O‘zMU Xabarlari Вестник НУУЗ, 8 (1), 307-311.

[13]. Tashlanova N. (2024). Изучение лексических вариаций в семантике цвета: сравнительный анализ семантике цвета, Xorijiy lingvistika va lingvodidaktika – Зарубежная лингвистика и лингводидактика – Foreign Linguistics and Linguodidactics, май 2024, 51-59.

УДК 621.315.592

ПАРАМЕТРЫ ГЛУБОКИХ УРОВНЕЙ В S I (V)

Н.А. Султанов, Д.Б. Номанжонова

Ферганский государственный технический университет
e-mail: nomanjonsultanov@gmail.com
(Получена 06.04.2026 г.)

Аннотация. *Целью настоящей работы было определение параметров уровней ванадия в кремнии с помощью нестационарной емкостной спектроскопии (DLTS) глубоких уровней и фотопроводимости (ФП).*

Легирование кремния ванадием производалось диффузионным методом на воздухе при $1200°C$ *в течение 3-24 ч. из нанесенного на поверхность Si слоя хлористого ванадия.*

Спектры ФП и DLTS в n-Si имеет несколько четко выраженных ступенек при $h\nu \approx 0,21;\ 0,44$ *и 0,52 эВ. В p-Si граница ФП лежит при* $h\nu \approx 0,41 эВ$.

Сопоставление результатов измерения ФП и DLTS показывает, что термическая и оптическая энергии ионизации уровней ванадия практически совпадают в пределах ошибки эксперимента.

Свойства кремния, легированного ванадия, исследованы сравнительно слабо [1-3]. В этих работах показано, что ванадий образует в кремнии несколько глубоких уровней $E_c - 0,18[1]$, $E_c - 0,225[2]$, $E_c - (0,43-0,46)[1,2]$, $E_v + 0,42$ *и* $E_v + 0,31 эВ[2]$.

Ключевые слова: *методы емкостной спектроскопии (DLTS), фотопроводимости (ФП), ванадий, n-Si и p-Si, граница ФП, легирование, диффионный метод, хлористого ванадия, термическая и оптическая, энергии ионизации уровней.*

Annotatsiya. *Ushbu ishning maqsadi silikon (Si)dagi vanadiy (V) chuqur sathlari parametrlarini aniqlash bo‘ldi, buning uchun chuqur darajalar bo‘yicha nostatsionar sig‘im spektroskopiyasi (DLTS) va fotoo’tkazuvchanlik (FO’) ishlatilgan.*

Kremniyga vanadiyni kiritish diffuziya usuli orqali amalga oshirilgan: Si yuzasiga vanadiy xloridi qatlami surtilib, havo $1200°C$ *muhitida 3–24 soat davomida diffuziya qilingan.*

n-Si da FO' va DLTS spektrlari bir nechta aniq ifodalangan sathlarni ko‘rsatadi, ularning energiyalari 0,52 eV va boshqalar. p-Si da FO' chegarasi $h\nu \approx 0,41 эВ$ *da joylashgan.*

FO' va DLTS o‘lchovlari natijalarini solishtirish shuni ko‘rsatadiki, vanadiy sathlari termik va optik ionizatsiya energiyalari tajriba xatosi doirasida deyarli bir xil.

Vanadiy bilan legirlangan silikon xossalari hozirgacha kam o‘rganilgan [1–3]. Ushbu ishlarda vanadiy Si-da bir nechta sathlar hosil qilishi ko‘rsatilgan: $E_c - 0,18[1]$, $E_c - 0,225[2]$, $E_c - (0,43-0,46)[1,2]$, $E_v + 0,42$ *u* $E_v + 0,31 эВ[2]$.

Kalit so‘zlar: *sig‘im spektroskopiyasi (DLTS), fotoo’tkazuvchanlik (FO’), vanadiy, n-Si va p-Si, FO’ chegarasi, legirlash, diffuziya usuli, vanadiy xloridi, termal va optik, ionizatsiya energiyalari.*

Annotation *The aim of this work was to determine the parameters of vanadium levels in silicon (Si) using Deep-Level Transient Spectroscopy (DLTS) for deep levels and photoconductivity (PC).*

Doping of silicon with vanadium was performed by the diffusion method in air for 3–24 hours from a layer of vanadium chloride applied on the Si surface.

PC and DLTS spectra in n-Si show several well-defined steps at 0.52 eV and other energies. In p-Si, the PC edge is located at $h\nu \approx 0,41 эВ$.

Comparison of PC and DLTS measurement results indicates that the thermal and optical ionization energies of vanadium levels practically coincide within the experimental error.

Properties of vanadium-doped silicon have been relatively poorly studied [1–3]. These studies show that vanadium forms several deep levels in silicon: $E_c - 0,18[1]$, $E_c - 0,225[2]$, $E_c - (0,43-0,46)[1,2]$, $E_v + 0,42$ *u* $E_v + 0,31 эВ[2]$.

Keywords: *capacitance spectroscopy (DLTS), photoconductivity (PC), vanadium, n-Si and p-Si, PC edge, doping, diffusion method, vanadium chloride, thermal and optical, ionization energies of levels.*

Свойства кремния, легированного ванадием, исследованы сравнительно слабо /136,182,185/. В этих работах показано, что ванадий образует в кремнии несколько глубоких уровней: E_c - 0,18 /182/, E_c - 0,225 /136/, E_c- (0,43 - 0,46) /136,182/, E_v + 0,42 /136/ и E_V + 0,31 эВ /136/. Цепью настоящей работы было определение параметров уравнений ванадия в кремнии.

Легирование кремния ванадием производилось диффузионным методом на воздухе при 1200 ^{0}C в течение 3-24 ч из нанесенного на поверхность Si слоя хлористого ванадия. Максимальная скорость охлаждения после диффузии V была при выбрасывании образцов в масл $\vartheta_{ср} \simeq 300$ град/с, минимальная - при охлаждении вместе с печью $\vartheta_{ср} \simeq 0,3$ град/с.

После диффузии ванадия в n - Si с исходным удельным сопротивлением $\rho_{исх} = 5 - 20$ Ом · см тип проводимости сохранялся, а сопротивление почти не изменялось цри 300 К, но с понижением температуры ρ растет 1-2 порядка при 77 К. Это связано, по-видимому, с тем, что V образует, так же как Cr в Si (см. пп. 3.1.1), мелкие акцепторные уровни. Эти образцы были использованы для емкостных измерений, p- Si с $\rho_{исх} = 2 - 10$ Ом · см после диффузии ванадия сохранял $\rho_{n/g} = (10^3 - 10^4$ Ом · см), а с $\rho_{исх} = 10 - 10^3$ Ом · см изменяя тип проводимости и его удельное сопротивление становилось порядка $10^2 - 10^4$ Ом · см. при 300 К.

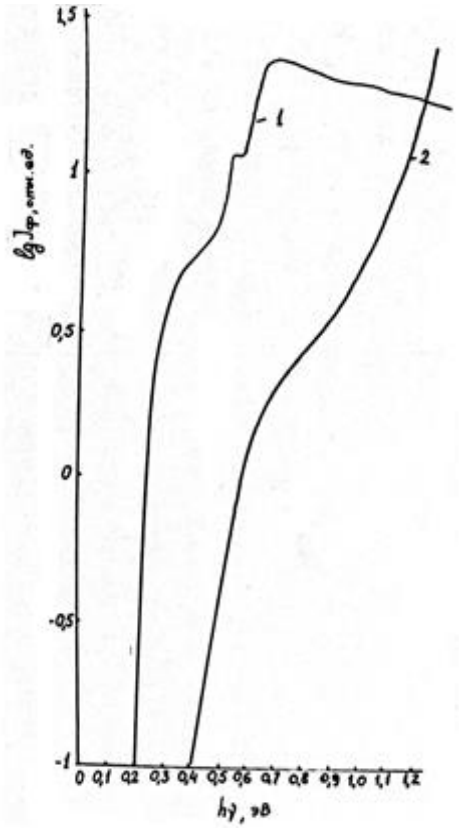


Рис. 1. Спектры ФП n- Si(V) (1) и p – Si(V) (2) при 77 К.

Эти результаты показывают, что при легировании ванадием в Si образуются как ацепторные, так и донорные уровни и концентрация этих уровней составляет порядка $\sim 10^{15}$ см$^{-3}$ при вышеуказанной температуре диффузии.

1. Спектры ФП. Измерения ФД производились при 77 К. Для исследования ФП были использованы закаленные в масле образцы Si. Типичные спектры ФП приведены на рис. 1. Кривая 1 соответствует ФП *n-Si.* Из рисунка видно, что зависимость $J_ф(h\nu)$ для этих образцов имеет несколько четко выраженных ступенек при $h\nu \simeq$ 0,21; 0,44 и 0,52 эВ. В p- Si граница ФП лежит при $h\nu = 0.41$ эВ (см. рис. 1, кривая 2). Во всех исследованных образцах при собственной подсветке спектры ФП не изменялись.

2. Спектры DLTS. Для емкостных измерений были использованы диоды с p+-n-переходами. Типичные спектры DLTS n- Si приведены на рис. 2. Кривая 1 соответствует спектру DLTS, измеренному при отсутствии инжекции из p-n -перехода. Из кривой видно, что в верхней части запрещенной зоны при введении ванадия образуются три ГУ. Их усредненные параметры приведены в таблице 1. Кривая 2 была измерена после импульса прямого тока плотностью 0.1 А/см^2 . Из сопоставления кривых 1 и 2 видно, что амплитуда пика В практически не изменилась, т.е. $\sigma_n \gg \sigma_p$. Значительное уменьшение амплитуды пика А показывает, что для этого уровня $\sigma_n \ll \sigma_p$. , т.е. он является уровнем прилипания для дырок. В спектре DLTS после импульса прямого тока наблюдаются также ГУ в нижней половине запрещенной зоны: уровень М (см. таблицу 1.) и полоса уровней L . Оценки показывают, что при вр $\sigma_p \approx 10^{-14}$ см^2 энергии ионизации ГУ в полосе L лежат в пределах 0.2 - 0.35 эВ. dN/dE_i Для полосы порядка 10^{14} см$^{-3}$эВ$^{-1}$ (N

и E_i и - концентрация и энергия ионизации ГУ соответственно).

В контрольных образцах, прошедших ту же термообработку без V , концентрация ГУ значительно ниже, чем в легированных у , и параметры их другие (рис. 2, кривая 3).

Сопоставление результатов измерения ФП и DLTS показывает, что термическая и оптическая энергии ионизации уровней ванадия практически совпадают в пределах ошибки эксперимента. уровней А и В удовлетворительно согласуются с соответствующими величинами, полученными другими авторами. $\mathbf{E_i}$ Уровня М практически совпадает со значением $\mathbf{E_i}$ уровня М, определенным в работе /136/, и близко к значению E_v + 0,47 эВ, определенному в /182/ непосредственно из релаксационных измерений емкости. Величина E_v + 0 31 эВ для этого ГУ получена в /182/ после обработки экспериментальыш данных о учетом зависимости, $\boldsymbol{\sigma_p}$ (Т), измеренной независимо по скорости захвата дырок при сбросе напряжения. Проведенные наш дополнительные измерения индуцированной фотоемкости показали, что в области $\mathbf{h\nu} \approx$ 0,32-0,38 эВ релаксация емкости незначительна и связана с перезарядкой ГУ в полосе L . Существенное изменение емкости происходит при $\mathbf{h\nu} \approx$ 0,42 - 0,5 эВ. Повидимому физические механизмы захвата и генерации дырок на этот уровень различаются и его энергия ионизации порядка 0,42 - 0,45 эВ. Уровень С и полоса уровней L в работах других авторов не наблюдались.

В таблице приведены также средние концентрации ГУ для двух скоростей охлаждения кристаллов. Из приведенных данных видно, что наименее термостабильными являются уровни А и В: их концентрации при уменьшении скорости охлаждения падают в 6-7 раз.

Таблица 1.

№	Уровень	E_i , эВ	$\boldsymbol{\sigma \cdot 10^{14}}$ см^2		$\mathbf{N \cdot 10^{-13}}$ см$^{-3}$ при скоростях охлаждения град/с	
			$\boldsymbol{\sigma_n}$	$\boldsymbol{\sigma_p}$	10	300
1	A	$\mathbf{E_c - (0.22 \pm 0.01)}$	1-5	-	0,2	6,7
2	B	$E_c - (0.456 \pm 0.01)$	1-6	-	0,7	4,4
3	C	$E_c - (0.52 \pm 0.03)$	2-20	-	0,5	0,6
4	M	$E_V - (0.41 \pm 0.02)$	-	4-25	0,5	0,5
5	L	$E_V - (0.2 \pm 0.35)$	-	1-1.25	0,2	1,3

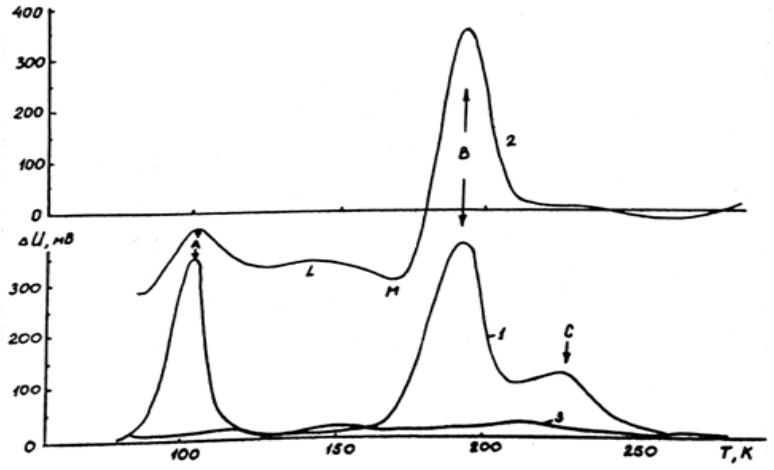


Рис. 2. Спектры DLTS диодов из n – Si (V) без инжекции (1), с инжекцией (2), контрольного диода (3).

Список литературы

[1]. Каплянский А.А. Некубические центров в кубический кристаллах и их пьезоспектроскопическое исследование.-Оптика и спектр.,1964, т.XXI, В.4, с,602-614.

[2]. Берман Л.С., Лебедов А.А. Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках, Л:, Наука, 1981, 176 с.

[3]. Lamp C.D., Farmer J.W., Meese J.M.-Rev.Sci.Instrum., 1984.v.55,№2, P.210-212.

[4]. Вопросы радиационной технологии полупроводников /под.ред. Л.С.Смирнова.-Новосибирск: наука, 1980.-296 с.

[5]. Семенюк А.К., Назарчук П.Ф. Влияние одноосной деформации на энергию ионизации А-центра в $n-Si$ | ФТП. 1985. Т.19. Вып. 7.С 1331-1333.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАТЯЖНОГО УСТРОЙСТВА И ВЛИЯНИЯ С УПРУГИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ПРИ СХОДЕ РЕМНЯ В ПЛОСКОРЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧЕ

Ю.У. Мирзаханов

Ферганский государственный технический университет

Mirzahanov123@gmail.com *tel:997932265*

(Получена 06.04.2026 г.)

Аннотация. *В данной научной статье рассматривается разработка новой конструкции упругого натяжного ролика для предотвращения бокового схода ленты, транспортирующих машин, а также экспериментальные исследования в плоскоременной передачи.*

Ключевые слова*: ремень, ролик, устройства, плоскоременная передача, ленточный транспортёр.*

Annotasion. *In this scientific article the development of a new design of a swivel casting roller is examined to pre – press a thank waste conveyor of transporting machines and experimental studies in the flat – time transmission.*

Key words: *ribbon, roller, device, flat-lane extension, tape transport.*

Annotatsiya. *Ushbu ilmiy maqolada tashish mashinalarining chiqindi konveyerini oldindan presslash uchun aylanuvchi quyish roligining yangi konstruksiyasini ishlab chiqish va tekis vaqt uzatmasida eksperimental tadqiqotlar ko‘rib chiqilgan.*

Kalit so‘zlar: *lenta, rolik, qurilma, tekis tasmali uzaytirish, tasmali transport.*

Для исследования явления бокового схода ремня была модернизирована лабораторная установка ДМ–35У. Экспериментальная лабораторная
(рис.1.) установка состоит:

— из электродвигателя 16 типа 4А80В6, мощностью **Р**=1,1 квт и частотой вращения вала **Пдв**=970 мин$^{-1}$, установленного на двух качающихся рычагах 15 с осью вращения 11, расположенной ниже двигателя, а поворот рычагов с электродвигателем производится натяжным устройством для создания начального натяжения ремня;
— натяжного устройства, состоящего из стального канатика 14, отклоняющего блока 13 и грузовой площадки 12;
— шкивов – ведущего 6 и ведомого 8 для плоского и клинового ремня диаметром **D**=125 мм; плоского приводного ремня 2, прорезиненного с кордошнуровым несущим слоем и внутренней длиной **L**=1400 мм;
— устройства для регулировки межосевого расстояния с подвижным корпусом 22, перемещающимся в пазах с помощью винта 7;
— устройства для нагрузки крутящим моментом ведомого шкива 6 типа двух колодочного тормоза 20 с регулировочным винтом 21

Установка была доработана нами для проведения следующих экспериментов:

1. Создания наиболее часто возникающей причины бокового схода ремня – нарушение

параллельности осей ведущего 1 и ведомого 3 шкивов за счет поворота оси вала ведомого шкива.

2. Для измерения параметров характеризующих боковой сход ремня измерения величины сдвигающих сил.
3. Создание условий, устраняющих боковой сход ремня за счет установки натяжного ролика с упругими элементами с изменяемым углом наклона оси ролика относительно осей шкивов.
4. Для поворота оси ведомого шкива 1 была изготовлена поворотная платформа 29, на которой закрепляются корпуса подшипников вала ведомого шкива вместе с нагрузочным устройством
5. Для измерения величины сдвигающих сил на корпусе установки закрепляется направляющая втулка 28, в которую вставлен шток 26. На одном конце штока на резьбе закреплена вилка 24 с роликом 8, контактирующим с боковой поверхностью ремня при измерении сдвигающих сил, а на другом конце штока вилка 27 для соединения с кольцом тяги динамометра растяжения 30. Вторая тяга динамометра закреплена на корпусе установки. Для предотвращения смещения вилки с роликом 8 по ходу движения ветви ремня при измерении сдвигающей силы предусмотрена установка упорного ролика 23, в который упирается вилка 24. Для предотвращения колебания ветви ремня в месте соприкосновения с роликом 8 на внутренней стороне пластин вилки приварены овальные ограничители 19, создающие зазор между ремнем и вилкой в пределах до 1 мм. Предусмотрено возможность изменение расстояния между щеками вилки за счет изменения толщины набора щайб 27 при установки ремня с другой толщиной.[1,2]

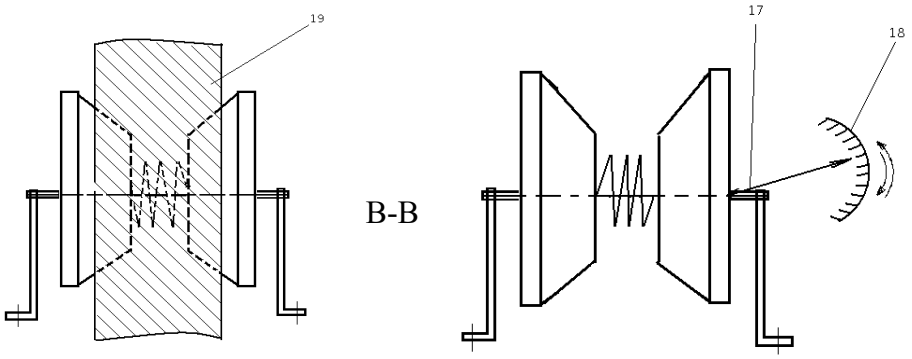


Рис.1. Экспериментальная лабораторная установка.

Измерение числа оборотов в минуту тахометром на валу ведущего барабана транспортёра осуществлялся пятикратной повторности для каждого положения угла не соосности рабочих барабанов. Подобным образом измерения сдвигающей силы ленты транспортёра также измеряли в пятикратной повторности посредством динамометра , установленной через окон и боковин транспортёра в двух местах для каждого положения угла не соосности рабочих барабанов.[3,4]

Можно отметить, что большое влияние оказывает не параллельности осей ведущего 1 и ведомого 5 шкивов на сход ремня 3 со шкивов. Аналогичные результаты получены для ремней прорезиненного, неизменяемый (рис.1) характер несет физико–механические свойства ремня, это говорит достаточный жесткость материала и коэффициента трения. Целью эксперимента является исследование нового разработанного нами центрирующего натяжного устройства с упругими элементами на ленточной транспортёре и определение основных параметров, влияющих боковому сходу ленты и рекомендовать необходимые параметры натяжного устройства. Для исследования явления бокового схода ленты был модернизирован транспортёр с различными соотношениями диаметров центрирующая натяжное устройства с упругими элементами.

Для ликвидации схода ленты с барабанов и из-за не параллельности их осей вращения установлены натяжные ролики [2]. Для получение сравнительных данных в

эксперименте использовались тахометр 8ТМ4, динамометр ДПУ - 0,02 -2 с предельной нагрузкой 20 кгс и транспортир для измерения угла отклонения оси вращения ведомого барабана относительно оси ведущего барабана. Результаты исследование по определению зависимости сдвигающей силы F_{cd} от угла отклонение оси вращения ведомого барабана β^{o}

Ремни тканные типа Поли–Белта изготовляют из мешковых капроновых тканей просвечивающего переплетения, которые пропитывают раствором полиамида С–6 и покрывают пленкой на основе этого полиамида, совмещенного с нитрильным каучуком СКН–40. В готовом ремне уточные нити ткани передают растягивающую нагрузку.

Для измерения электрических параметров электродвигателя **U, I, W** установки использовался прибор для измерения электрических параметров трехфазного тока К–550

Тарировка величины нагрузки в виде крутящего момента на валу ведомого шкива производилась тарировочным рычагом. При проведения тарировки снимается начальное натяжение ремня и уменьшается межосевое расстояние до полного снятия нагрузки с ремня, затем тарировочный рычаг закрепляется на внутренней поверхности обода шкива и производится загрузка конца рычага грузами до момента страгивания шкива относительно тормоза нагрузочного устройства при снятом с установки ремня. [3].

Отличие натяжного ролика несимметричного профиля, обладающий центрирующими способностями, препятствует боковому схода ремня со шкива. Максимальные углы наклона касательных к кривым, охватывающим профиль ролика, к оси ролика не должны превышать 40^0 для сохранения долговечности ремня. В следующих экспериментальных исследованиях учитывая, что максимальные углы наклона касательных к кривым охватывающим профиль ролика, к оси ролика не должен превышать 40^0, исходя из этого для того чтобы увеличить эффективность натяжного ролика изобрели конструкцию который можно по градусу увеличить угол наклона оси ролика относительно вертикальной плоскости.

Мы можем отметить для любого типа ремней, используя в передаче натяжные ролики с углом наклона оси относительно вертикальной плоскости, можно избежать сход ремня даже при больших углах отклонения оси вращения ведомого шкива 5. Экспериментами установлено, увеличивая угол наклона оси натяжного ролика относительно вертикальной плоскости до 25°, проходящей через оси вращения шкивов до (7°...10°), можно избежать сход ремней даже при угле отклонения оси вращения ведомого шкива до 9°.

Рис.2.Предлагаемая конструкция натяжного ролика с упругими элементами изготовленный от материала Капролон В.

Поэтому считаем, что эффективным и надежным является применение натяжных роликов с регулирующим механизмом с упругими элементами на хлопкоочистительных заводах с увеличением производительности до 20 процентов и с уменьшением трудозатрат механизаторов.

Учитывая тяжелые условия работы натяжного ролика , целесообразно было рекомендовать более приемлемый материал для его изготовления (рис.2). С этой целью нами были проведены необходимые эксперименты по определению износостойкости ряда материалов. [4] Наиболее приемлемым оказался для материала натяжного ролика Капролон В.

Список литературы

[1]. Воробьев И.И. Ременные передачи. М. Машиностроение, 1979.с 168.

[2]. Джураев А.Ж., Давидбаев Б.Н., Мирзаханов Ю.У., Давидбоева Н.Б. Плоскоременная передача с натяжным роликом. Патент № FAP 20130165

[3]. № F16H7/02 15.06.2015 г.

[4]. 3.Патент № FAP 00780. Плоскоременной передача с натяжным роликом. Жураев А.Ж., Давидбаев Б.Н., Мирзаханов Ю.У., Давидбоева Н.Б. Умаров Б.Х. 24.04.2012 г.

[5]. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой тексилной промышленности). М., “Легкая индустрия”. 1974 г.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ УПРОЧНЕННОЙ НОЖЕВОЙ ГАРНИТУРЫ РАЗМАЛЫВАЮЩИХ МАШИН ПРИ ОБРАБОТКЕ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Х.А. Бабаханова, А.А. Саодатов, Д.Ч. Равшанзода

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности
e-mail halima300@inbox.ru tel: +998972669936
(Получена 06.04.2026 г.)

Аннотация. *В статье приведены сведения по результатам производственных испытаний ножевой гарнитуры размалывающих машин при обработке волокнистых материалов в составе макулатурной массы. Определены кинематические, геометрические и силовые характеристики ножевой гарнитуры из никель-алюминиевого сплава. Указаны основные факторы, интенсифицирующие неравномерный износ ножей дисковой мельницы. Показана эффективность дробеударного упрочнения ножевой гарнитуры, создающего поверхностный слой с улучшенными механическими свойствами, позволяющими существенно повысить ее износостойкость.*

Ключевые слова: *дисковая мельница, ротор, статор, нож, сила, скорость, зазор, изнашивание, упрочнение, износ*

Annotation. *This article presents the results of production tests of milling machine knife sets for processing fibrous materials contained in waste paper pulp. The kinematic, geometric, and force characteristics of a nickel-aluminum alloy knife set are determined. The main factors intensifying uneven wear of disk mill knives are identified. The effectiveness of shot-impact hardening of the knife set, creating a surface layer with improved mechanical properties that significantly increases its wear resistance, is demonstrated.*

Keywords: *disk mill, rotor, stator, knife, force, speed, gap, wear, hardening, wear*

Annotatsiya. *Ushbu maqolada chiqindi qog'oz pulpasida mavjud bo'lgan tolali materiallarni qayta ishlash uchun frezalash mashinasi pichoq to'plamlarining ishlab chiqarish sinovlari natijalari keltirilgan. Nikel-alyuminiy qotishmasidan yasalgan pichoq to'plamining kinematik, geometrik va kuch xususiyatlari aniqlangan. Disk tegirmon pichoqlarining notekis aşınmasını kuchaytiruvchi asosiy omillar aniqlangan. Pichoq to'plamining zarba bilan qattiqlashishi samaradorligi, uning aşınmaya bardoshliligini sezilarli darajada oshiradigan yaxshilangan mexanik xususiyatlarga ega sirt qatlamini yaratish ko'rsatilgan.*

Kalit so'zlar: *disk tegirmoni, rotor, stator, pichoq, kuch, tezlik, bo'shliq, eskirish, qattiqlashuv, yemirilishi.*

Одной из важнейших операций при производстве бумаги и картона является размол волокнистой массы, определяющий основные свойства формируемой бумажной массы и свойства готовой продукции. Наиболее распространенными и универсальными размалывающими машинами на целлюлозно-бумажных предприятиях являются дисковые мельницы, состоящие из статора (неподвижная часть) и ротора (вращающаяся часть).

Волокнистый материал в водной среде (суспензии), перемещаясь через систему подвижных и неподвижных металлических поверхностей, подвергается механическому воздействию. В результате чего при силовом воздействии гарнитуры диска и трении между ножами волокнистый материал вытягивается, расщепляется (фибриллизуется) и укорачивается [1-4]. Таким образом, волокнистый полуфабрикат подвергается сложной деформации, проявляющейся в сжатии, растяжении, сдвиге и срезу, т.е. имеет место комплексное деформирующее воздействие. Величина зазора между ножами гарнитуры предопределяет характер обработки волокна и срок эксплуатации деталей.

На работу и срок эксплуатации ножевых размалывающих машин влияет комплекс технологических и режимных параметров – время обработки, частота вращения ротора, вид обрабатываемого материала, концентрация суспензии, удельное давление в зазоре или величина зазора и др.

Цель работы – изучение влияния деформационного упрочнения ножевой гарнитуры размалывающих машин дробеударной обработкой потоком микрошариков, ударяющимся под давлением сжатого воздуха, на их работоспособность в эксплуатационных условиях.

Объектом исследования является ножевая гарнитура в виде кольцевого диска с наружным и внутренним диаметром соответственно равными D = 450 мм и d = 220 мм (рис.1).

Рис.1. Кольцевая гарнитура с углом наклона ножей к радиусу с перегородками между ними

Рис.1. Кольцевая гарнитура с углом наклона ножей к радиусу с перегородками между ними.

Ножевая гарнитура состоит из 18 секторов с ножевыми элементами в виде чередующихся выступов и пазов различной длины в пределах каждого сектора. Ножи выполнены в виде прямолинейных выступов шириной 5 мм и впадин также размером 5 мм, при этом глубина впадины составляет 6 мм. Толщина диска – 18 мм.

В пределах каждого сектора имеются 7 ножей с длинами 97, 94, 90, 87, 74, 47 и 23 мм, наклоненные к радиусу диска под углом $\alpha = 30^0$. Имеющиеся перегородки в пазах увеличивают время пребывания перерабатываемой волокнистой массы в водной суспензии в мельнице. На периферии внутреннего диаметра ножевой гарнитуры расположены дополнительные элементы в виде четырехугольников криволинейной формы, которые увеличивают площадь контакта ножей ротора и статора, повышая тем самым отношение (%) площади поверхности ножей к общей площади поверхности гарнитуры.

Экспериментальные исследования по упрочнению ножевой гарнитуры проводили на промышленном пескоструйном аппарате. В качестве рабочего тела при дробеструйной обработке использовали литую дробь из низкоуглеродистой стали твердостью HV 365-545 (закалка при температуре $860\text{-}900^0$ С, низкотемпературный отпуск при $180\text{-}220^0$ С в течение 1,5-2 ч.) [5-8]. Для ножевой гарнитуры размалывающих мельниц, изготовленной из никель-алюмиевого сплава по стандарту QBIT 1629-92 (производство Китай), значения основных параметров режима дробеструйной обработки были следующими: давление сжатого воздуха p=2-4 атм (0,2-0,4 МПа), диаметр рабочего тела в виде микрошариков D = 0,3-0,4 мм, угол атаки $\beta = 90^0$, расстояние от сопла абразивоструйного пистолета до обрабатываемой поверхности l = 15-20 см [9].

Производственные сравнительные испытания ножевой гарнитуры, изготовленной из никель-алюминиевого сплава Ni_3Al ($\gamma' - фаза$), проведены на размалывающей машине со следующими характеристиками: мощность электродвигателя P = 90 кВт, частота вращения n = 1000 об/мин. Необходимо также отметить, что работа ножевой гарнитуры сопровождается огромным числом циклов нагружения, например, при n = 1000 об/мин в течении 24 часов число циклов достигает $1{,}44 \cdot 10^6$ циклов нагружения. Подобные условия нагружения способствуют развитию усталостных микротрещин, которые разрастаясь по глубине и длине, пересекаясь друг с другом, вызывают отрыв частицы от основного металла (усталостное выкрашивание).

а) б)

Рис.2. Характерная картина износа упрочненной ножевой гарнитуры по окончании эксплуатационного цикла: статора (а) и ротора (б).

Тщательная визуализация и сравнительная оценка износа ножевой гарнитуры с упрочненными элементами и без обработки показали следующие характерные картины износа:

1) неравномерный износ по длине каждого выступа (ножа) в виде волнообразной формы (рис.2, а), при этом неравномерность износа по высоте выступов достигает до 2 мм и более;
2) на периферийной части статора сформированы выраженные вогнутые поверхности износа, что явилось результатом контактного взаимодействия торцовых поверхностей статора и ротора;
3) на периферийном участке вращающегося диска (ротора) сформированы закругленные выпуклые поверхности износа, которые свидетельствуют о плотном контакте двух поверхностей ножевой гарнитуры, когда уже начальные технологические зазоры полностью устранены (рис.2, б);
4) дополнительные элементы ножевой гарнитуры, находящиеся вблизи оси вращения, также изношены по волнообразному профилю с сочетанием выпуклых и вогнутых поверхностей.

Подобная картина изнашивания выявлена на ножевой гарнитуре без упрочняющей обработки (рис.3). Однако тщательная визуализация износа ножей показывают, что степень износа существенно выше (1,5-2,0 и более раз). Волнообразный характер износа вдоль ножей здесь характеризуется более высоким значением высоты волны, что указывает на более интенсивный износ.

а) б)

Рис.3. Характерная картина износа ножевой гарнитуры без упрочняющей обработки по окончании эксплуатационного цикла: статора (а) и ротора (б).

Выводы. Так как промышленные испытания были проведены одновременно на одной и той же размалывающей машине при одинаковой перерабатываемой волокнистой массы в водной суспензии, то результаты сравнения изнашиваемых поверхностей ножевой гарнитуры носят объективный характер. Таким образом, упрочненная ножевая гарнитура этих машин показывает существенные преимущества (более, чем в 2 раза) по износостойкости и долговечности, обеспечивая при этом необходимую степень помола волокнистого полуфабриката. Повышение работоспособности упрочненной ножевой гарнитуры дисковой мельницы по сравнению с неупрочненной обеспечивается степенью наклепа поверхностного слоя, выраженного в увеличении его твердости на 34,7% и уменьшении шероховатости поверхности, что сокращает значительно время приработки.

Список литературы

[1]. Юртаева Л.В., Алашкевич Ю.Д., Слизикова Е.А., Каплев Е.В., Пожаркова С.А. Влияние вида ножевой размалывающей гарнитуры на процесс получения микрокристаллической целлюлозы // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2024. №2. С.152-165.

[2]. Гончаров В.Н. Теоретические основы размола волокнистых материалов в ножевых машинах: дис. … докт.техн.наук. Л. 1990. 451 с.

[3]. Вихарев С.Н. Повышение эффективности ножевых размалывающих машин в целлюлозно-бумажной промышленности на основе исследования динамики: автореф. …докт.техн.наук. Екатеринбург. 2021. 40 с.

[4]. Кожухов В.А., Кожухова Н.Ю., Ларионова А.И., Алашкевич Ю.Д. Особенности использования гарнитуры с ударным воздействием на волокно при размоле волокнистых растительных полимеров // Леса России и хозяйство в них. 2015. №2 (53). С.40-44.

[5]. Кожухов В.А. Размол волокнистых полуфабрикатов в размольных ножевых машинах при ударном воздействии на волокно: дис. …канд.техн.наук. Красноярск. 2015. 162 с.

[6]. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием. М.: Машиностроение. 1987. 328 с.

[7]. Погодаев Л.Н., Ежов Ю.Е. Основные закономерности гидроабразивного и ударноабразивного изнашивания наплавочных материалов // Трение и износ. 1991. №5. С.801-815.

[8]. Шин И.Г., Максудов Р.Х. Метод расчета глубины упрочненного слоя деталей при поверхностной обработке дробью // Вестник машиностроения. 2011. №4. С.44-47.
[9]. Бабаханова Х.А. Саодатов А.А., Громыко И.Г. Применение дробеструйной обработки для повышения эксплуатационных характеристик ножевой гарнитуры размалывающих машин // Труды БГТУ. Серия 4. №1. 2026. С.16-22. DOI: 10.52065/2520-6729-2026-303-2.

IKKILAMCHI TOLALI RESURSLAR ASOSIDA SAMARADOR YIGIRILGAN IP ISHLAB CHIQARISH TEXNOLOGIYASI

I.I. Tuychiyev, M.Z. Turg‘unov

Farg‘ona davlat texnika universiteti
e-mail: tuyechiyevilhomjon@gmail.com
ORCID: 0009-0007-1150-2929
e-mail: asmanbek.bek.uz@gmail.com
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Mazkur maqolada to‘qimachilik sanoatida hosil bo‘ladigan ikkilamchi tolali resurslardan samarali foydalanish hamda ular asosida iqtisodiy samaradorligi yuqori bo‘lgan yigirilgan ip ishlab chiqarish texnologiyasi tahlil qilindi. Bugungi kunda ishlab chiqarish korxonalarida chiqindilar miqdorini kamaytirish, resurslarni tejash va ekologik muammolarni bartaraf etish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Shu sababli qayta ishlanuvchi tolali chiqindilarni yigirish jarayoniga qayta jalb qilish texnologik va iqtisodiy jihatdan katta ahamiyat kasb etmoqda.*

Kalit so‘zlar: *yigirilgan ip, qayta ishlash, to‘qimachilik sanoati, iqtisodiy samaradorlik, chiqindilar, paxta tolasi, aralashma, ip sifati, texnologiya.*

Аннотация: *В данной статье анализируется эффективное использование вторичных волоконных ресурсов, образующихся в текстильной промышленности, и технология производства высокоэкономически эффективной пряжи на их основе. Сегодня сокращение количества отходов на производственных предприятиях, экономия ресурсов и устранение экологических проблем являются одними из самых актуальных задач. Поэтому повторное использование перерабатываемых волоконных отходов в процессе прядения имеет большое технологическое и экономическое значение.*

Ключевые слова: *пряжа, переработка, текстильная промышленность, экономическая эффективность, отходы, хлопковое волокно, смесь, качество пряжи, технология.*

Abstract: *This article analyzes the effective use of secondary fiber resources generated in the textile industry and the technology for producing spun yarn with high economic efficiency based on them. Today, reducing the amount of waste in manufacturing enterprises, saving resources and eliminating environmental problems are one of the urgent issues. Therefore, the re-involvement of recyclable fiber waste in the spinning process is of great technological and economic importance.*

Keywords: *spun yarn, recycling, textile industry, economic efficiency, waste, cotton fiber, blend, yarn quality, technology.*

Kirish

To‘qimachilik sanoati mamlakat iqtisodiyotining muhim tarmoqlaridan biri bo‘lib, aholini sifatli mahsulotlar bilan ta’minlashda katta ahamiyatga ega. Sanoatning jadal rivojlanishi natijasida ishlab chiqarish korxonalarida katta hajmdagi tolali chiqindilar hosil bo‘lmoqda. Ushbu chiqindilarni qayta ishlash va ulardan samarali foydalanish ekologik muammolarni kamaytirish bilan birga iqtisodiy samaradorlikni ham oshiradi. Ayniqsa, yigirish korxonalarida hosil bo‘ladigan ikkilamchi tolali resurslarni qayta ishlash orqali qo‘shimcha xomashyo bazasini yaratish mumkin.

Hozirgi davrda resurs tejovchi texnologiyalarni ishlab chiqish va amaliyotga joriy etish dunyo miqyosida dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Ikkilamchi tolali resurslardan foydalanish ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytiradi, tabiiy xomashyo sarfini qisqartiradi va ekologik barqarorlikni ta’minlaydi. Shu sababli ikkilamchi tolalar asosida sifatli va iqtisodiy samarador yigirilgan ip ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashtirish muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Nazariy qism

To‘qimachilik korxonalarida yigirish, tarash va piliklash jarayonlarida ma’lum miqdorda tolali chiqindilar hosil bo‘ladi. Ushbu chiqindilar tarkibida foydalanishga yaroqli tolalar mavjud

bo‘lib, ularni qayta ishlash orqali ikkilamchi resurs sifatida foydalanish mumkin. Ikkilamchi tolali resurslarning asosiy afzalligi ularning iqtisodiy jihatdan arzonligi va qayta tiklanuvchi xomashyo hisoblanishidir [1].

Ikkilamchi tolalarni qayta ishlash bir necha bosqichlardan iborat bo‘ladi. Dastlab chiqindilar saralanadi va tarkibidagi yirik aralashmalar ajratib olinadi. Keyingi bosqichda tolalar yumshatiladi hamda ma’lum nisbatlarda tabiiy paxta tolasi bilan aralashtiriladi. Aralashma tarkibini to‘g‘ri tanlash ip sifatiga bevosita ta’sir qiladi. Tajribalar shuni ko‘rsatadiki, ikkilamchi tolalar miqdori 15–25 % oralig‘ida bo‘lganda ipning fizik-mexanik ko‘rsatkichlari talab darajasida saqlanib qoladi [2].

Yigirish jarayonida tolalarning uzunligi, pishiqligi va egiluvchanligi muhim ahamiyatga ega. Ikkilamchi tolalarda ushbu ko‘rsatkichlar birlamchi tolalarga nisbatan pastroq bo‘lishi mumkin. Shu sababli texnologik parametrlarni optimallashtirish talab etiladi. Xususan, cho‘zish apparatlari sozlanishi va yigirish tezligining me’yoriy qiymatda tanlanishi ip sifatini yaxshilaydi [3].

Quyidagi jadvalda birlamchi va ikkilamchi tolalar aralashmasining asosiy ko‘rsatkichlari keltirilgan.

Tolalar aralashmasining sifat ko‘rsatkichlari

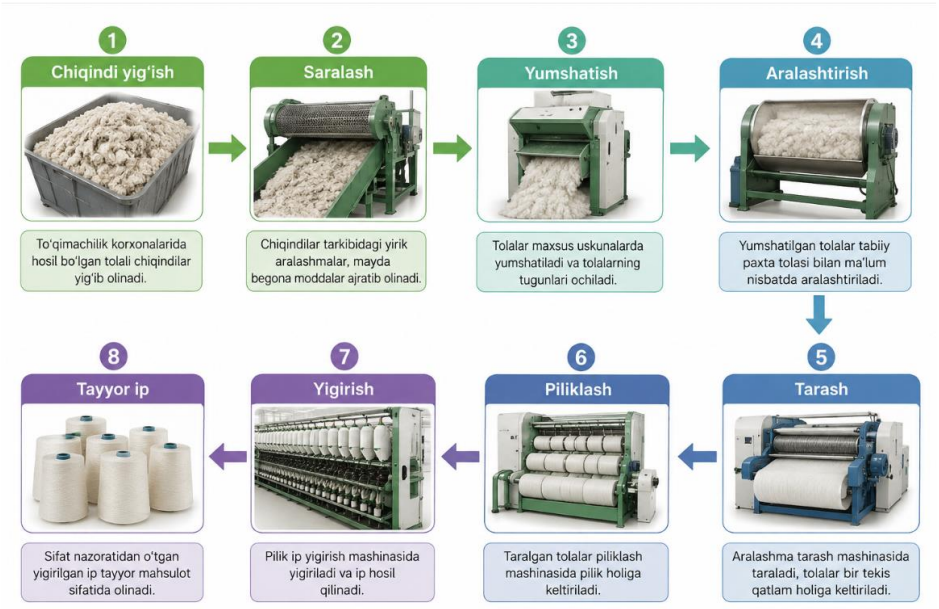
1-jadval

№	Aralashma tarkibi	Ip mustahkamligi (cN/tex)	Notekislik (%)	Uzilish cho‘zilishi (%)
1	100 % paxta	15.8	11.2	6.1
2	90 % paxta + 10 % ikkilamchi tola	15.2	11.8	5.9
3	80 % paxta + 20 % ikkilamchi tola	14.6	12.5	5.7
4	70 % paxta + 30 % ikkilamchi tola	13.4	14.1	5.1

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, ikkilamchi tolalar miqdori ortishi bilan ip mustahkamligi biroz kamayadi. Biroq 20 % gacha bo‘lgan aralashmada sifat ko‘rsatkichlari sanoat talablariga mos keladi. Bu esa qayta ishlangan tolalardan samarali foydalanish imkoniyatini ko‘rsatadi.

To‘qimachilik sanoatida chiqindilarni qayta ishlash ekologik jihatdan ham muhimdir. Chunki ishlab chiqarish chiqindilarining kamayishi atrof-muhit ifloslanishini oldini oladi. Shu bilan birga, qayta ishlangan tolalardan foydalanish yangi xomashyo yetishtirish uchun sarflanadigan suv va energiya resurslarini kamaytiradi [4].

Quyidagi rasmda ikkilamchi tolali resurslarni qayta ishlash texnologik jarayoni ko‘rsatilgan.



1-rasm. Ikkilamchi tolali resurslarni qayta ishlash texnologik sxemasi.

Mazkur texnologik jarayon asosida ishlab chiqarilgan iplarning tannarxi an’anaviy ipga nisbatan past bo‘lishi aniqlangan. Ayniqsa, xomashyo xarajatlarining kamayishi umumiy ishlab chiqarish samaradorligini oshiradi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, ikkilamchi tolalardan foydalanish orqali tannarxni 10–15 % gacha kamaytirish mumkin [5].

Iqtisodiy samaradorlikni oshirishda energiya tejamkor uskunalardan foydalanish ham muhim hisoblanadi. Zamonaviy yigirish mashinalarida avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarining qo‘llanilishi ishlab chiqarish unumdorligini oshiradi va sifat nazoratini yaxshilaydi. Natijada ishlab chiqarishdagi nuqsonlar soni kamayadi hamda tayyor mahsulot sifati ortadi [6].

Shuningdek, qayta ishlangan tolalardan foydalanish “yashil iqtisodiyot” tamoyillariga ham mos keladi. Chunki bunday texnologiyalar chiqindisiz yoki kam chiqindili ishlab chiqarishni rivojlantirishga xizmat qiladi. Hozirgi davrda ko‘plab rivojlangan davlatlarda qayta ishlangan tolalar asosida ekologik toza tekstil mahsulotlari ishlab chiqarishga katta e’tibor qaratilmoqda [7].

Xulosa

Ikkilamchi tolali resurslardan foydalanish to‘qimachilik sanoatining iqtisodiy va ekologik samaradorligini oshirishda muhim omillardan biri hisoblanadi. Tadqiqotlar natijasida qayta ishlangan tolalarni ma’lum nisbatlarda tabiiy paxta tolasi bilan aralashtirish orqali sifatli yigirilgan ip ishlab chiqarish mumkinligi aniqlandi [8]. Ayniqsa, aralashma tarkibida 15–20 % ikkilamchi tolalardan foydalanish ipning fizik-mexanik ko‘rsatkichlarini me’yoriy darajada saqlab qoladi va ishlab chiqarish tannarxini kamaytiradi [9].

Shuningdek, ikkilamchi tolali resurslarni qayta ishlash ekologik jihatdan ham foydali bo‘lib, ishlab chiqarish chiqindilarini kamaytiradi va tabiiy resurslardan oqilona foydalanishga xizmat qiladi [10]. Zamonaviy energiya tejamkor texnologiyalarni qo‘llash orqali ishlab chiqarish unumdorligini oshirish hamda sifat nazoratini yaxshilash mumkin.

Kelgusida ikkilamchi tolalar asosida ip ishlab chiqarish texnologiyalarini yanada takomillashtirish, yangi aralashma turlarini ishlab chiqish va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarini keng joriy etish muhim ilmiy yo‘nalishlardan biri bo‘lib qoladi. Bu esa to‘qimachilik korxonalarida resurs tejash, tannarxni kamaytirish va raqobatbardosh mahsulot ishlab chiqarishga xizmat qiladi.

Adabiyotlar

[1]. Ergashev, Q. A. (2021). To‘qimachilik sanoatida resurs tejovchi texnologiyalar. Toshkent: Fan va texnologiya.

[2]. Karimov, B. R., & Rasulov, A. T. (2020). Paxta tolasi va ikkilamchi resurslar aralashmasining yigirish jarayoniga ta’siri. To‘qimachilik muammolari jurnali, 3(2), 45–52.

[3]. Mamatov, S. X. (2019). Yigirish texnologiyasi asoslari. Toshkent: O‘zbekiston.

[4]. Ahmedov, N. M. (2022). Textile waste recycling and environmental efficiency. International Journal of Textile Science, 8(1), 22–28.

[5]. Yuldashev, F. T., & Jo‘rayev, D. Q. (2021). Ikkilamchi tolalardan foydalanishning iqtisodiy samaradorligi. Innovatsion texnologiyalar, 5(4), 61–67.

[6]. Salimov, A. K. (2020). Zamonaviy yigirish uskunalari va ularning samaradorligi. Toshkent: Muharrir.

[7]. Smith, J., & Brown, L. (2021). Sustainable textile production technologies. Textile Research Journal, 91(7), 755–768.

[8]. Qodirov, H. A. (2023). Qayta ishlangan tolalardan ip ishlab chiqarish istiqbollari. Yengil sanoat axborotnomasi, 4(1), 33–39.

[9]. Usmonov, I. T. (2022). Paxta va ikkilamchi tolalar aralashmasining sifat ko‘rsatkichlari. Texnologiya va innovatsiya, 6(3), 71–76.

[10]. Lee, K., & Park, S. (2020). Recycling technologies in textile industries. Journal of Cleaner Production, 258, 120–135.

YIGIRISH TEXNIKA VA TEXNOLOGIYASINING TAKOMILLISHTIRILGANLIK HOLATINING TAHLILI

Q. Jumaniyazov[1], G‘.X. Djumabayev[2], J.B. Matyaqubova[3], M.Z. Turg‘unov[4]

[1]Tolali ekinlar ilmiy tadqiqot instituti
[2]Chirchiq davlat pedagogika universiteti
[3]Urganch davlat universiteti

[4]*Farg‘ona davlat texnika universiteti*

Annotatsiya. *Mazkur ishda yigirish texnika va texnologiyasining takomillashuvi, zamonaviy mashinalar va usullarning ip sifati hamda ishlab chiqarish samaradorligiga ta’siri tahlil qilinadi. Natijada, jarayonni modernizatsiya qilish ip mustahkamligi va ravonligini oshirib, uzilishlarni kamaytirishi hamda unumdorlikni yaxshilashi aniqlangan.*

Kalit so‘zlar: *yigirish texnologiyasi, halqali yigirish, pnevmomexanik yigirish, ip sifati, yigirish mashinalari, kompakt ip.*

Аннотация. *В данной работе проведён научный анализ совершенствования техники и технологии прядения, а также влияния современных машин и методов на качество пряжи и эффективность производства. Установлено, что модернизация процесса прядения способствует повышению прочности и равномерности пряжи, снижению обрывности и увеличению производительности.*

Ключевые слова: *технология прядения, кольцевое прядение, пневмомеханическое прядение, качество пряжи, прядильные машины, компактная пряжа.*

Annotation. *This study presents a scientific analysis of the improvement of spinning machinery and technology, as well as the impact of modern machines and methods on yarn quality and production efficiency. The results indicate that the modernization of the spinning process enhances yarn strength and evenness, reduces breakage, and increases overall productivity.*

Keywords: *spinning technology, ring spinning, rotor spinning, yarn quality, spinning machines, compact yarn.*

Nazariy qism

Bugungi kunda to‘qimachilik sanoati jadal sur’atlar bilan rivojlanib bormoqda. To‘qimachilik korxonalarida dunyoning yetakchi firmalarida ishlab chiqarilgan mashina va jihozlarning qo‘llanilishi natijasida raqobatbardosh mahsulotlar ishlab chiqarilib, ko‘plab xorijiy davlatlarga eksport qilinmoqda.

Hozirgi kunda ishlatilayotgan halqali yigirish mashinasining protatipi 1830 yilda yaratilgan bo‘lib, uning tuzilishi o‘zgarib takomillashtirilib kelinmoqda [1].

Yigirish texnologiyasining taraqqiyot yo‘nalishlari quyidagilardan iborat:

1. Cho‘zish asbobi quvvatini oshirib o‘timlarni kamaytirish;
2. Urchuqning aylanishlar chastotasini 25000 min^{-1} gacha yetkazish;
3. Mahsulot sifatini oshirish, ip yo‘g‘onligi, ravonligi, pishiqligi, tozaligi kabi ko‘rsatkichlarni jahon talablari darajasiga yetkazish.
4. Avtomatlashtirish, robot texnikasini keng joriy qilish.

Yigirilgan ip ishlatilishiga qarab ma’lum talablarga javob berishi kerak, ya’ni aniq yo‘g‘onlikda, ma’lum darajada mustahkam, toza va ravon bo‘lishi kerak.

Respublikamiz yigiruv korxonalari jahonga mashhur «Rieter» (Shveysariya), «Zinser» (Germaniya), «Marzoli» (Italiya) firmalarida ishlab chiqarilgan tezkor, serunum yigirish mashinalari mamlakatimiz korxonalarida samarali ishlatilmoqda. Bu mashinalar urchuqlar sonining ko‘pligi (1000-1500), detallarni tayyorlash aniqligining yuqoriligi hamda to‘lgan naychalarni chiqarib, bo‘sh naychalarni urchuqlarga kiygizishni avtomatik bajaruvchi moslamalar mavjudligi bilan e’tiborlidir.

Respublikamiz qo‘shma korxonalarida o‘rnatilgan halqali ip yigirish mashinalari orasida Germaniyaning «Zinser» firmasining halqali yigirish mashinalari keng tarqalgan. Halqali yigirish yutuqlarini ta’kidlab, piliklash va yigirish mashinalarini tutashtirib, pilikka to‘la g‘altaklarni transportirovka qilib, ipni robotlar yordamida ulash amalga oshirilmoqda. Hozirgi kunda ipning 1000 ta urchuqqa to‘g‘ri keluvchi uzilishlari 20 tani tashkil etmoqda. Urchuqlarni individual harakatga keltirish tangensial harakatlantirishga nisbatan elektr energiyasi iste’molini 30-50 % ga kamaytirib, shovqin darajasini 10 DB ga pasaytirishi ta’kidlanadi.

Halqa va yugurdakka ionli plazma bilan 650^0 C haroratda ishlov berilgan titan nitridli qoplama yugurdak ishlatilish muddatini oshirishi aniqlangan. Ipning uzilishi kamaygan, uzish kuchi oshib notekisligi esa kamayishi natijasida urchuqning tezligini oshirish evaziga yigirish mashinasi mahsuldorligi oshirilgan.

Halqali yigirish usuli taraqqiyoti tahlil etilib, so‘nggi yillarda mashina mahsuldorligini oshirish va avtomatlashtirishda sezilarli yutuqlarga erishilganligi ta’kidlanib, mashinaning shaylanishi va ipning sifati orasida uzviylik borligi aytilgan. Halqa diametrining va urchuqning kichiklashtirilishi afzallik va kamchiliklarga ega bo‘lib, yaqin kelajakda yengil yugurdaklar diametrlari 36 va 40 mm li halqalar hamda 180, 200 mm li patronlardan foydalanish nazarda tutilgan. Ip sifatini oshirish maqsadida cho‘zish jarayoni yaxshilanganligi ma’lum [2]. Yangi qurilmalar yaratilib, pishitish uchburchagi parametrlari kichiklashtirilgan. Urchuq aylanishlar chastotasini oshirish uchun yugurdak massasini va halqa diametrini minimallashtirish lozimligi ta’kidlanadi. Halqaning optimal diametri 45 mm ligi aniqlanib, halqali yigirish mashinasining mahsuldorligini oshirish uchun ballon balandligini kamaytirib, urchuq aylanishlar chastotasini oshirish kerakligi isbotlangan.

Halqali yigirish mashinasida texnologik takomillashuvlardan biri kompakt ip ishlab chiqish hisoblanadi. CBG firmasi 2000 yilda halqali yigirish mashinasida zichlovchi qurilmalar bilan jihozlangan cho‘zish asboblarida o‘rta tolali paxtadan ip olinganligi va uning an’anaviy ipdan yuqori pishiqligi, kam tukdorligi bo‘yicha farq qilishi ta’kidlanadi. Kompakt qurilma qo‘llanib pishitish uchburchagi amalda yo‘qolishi to‘g‘risida ham xabar berilgan. Qurilmani qo‘llab o‘tkazilgan tajribalar natijasida momiqcha pishiqligini belgilovchi omillar - ipning chiziqli zichligi, zichlagich diametri va ipning qisqichdan uzoqlashgan nuqtasining optimal parametrlari aniqlangan. Mazkur tadqiqotlarda, ipning pishiqligi va boshqa sifat ko‘rsatkichlari qancha foizga yaxshilanganligi to‘g‘risida ma’lumotlar keltirilmagan.

Halqali yigirishni takomillashtirish borasida ilmiy-nazariy tadqiqot olib borilgan bo‘lib, unga binoan ip tarangligiga ballon balandligi va yugurdakning halqaga ishqalanish koeffitsiyenti ta’sir ko‘rsatadi. Boshqa muallifning ishida halqali yigirish mashinasida yugurdak parametrlarini aniqlovchi kompyuter dasturi tuzilganligi va undan turli firmalar ko‘rsatkichlarini solishtirishda foydalanish mumkinligi ko‘rsatilgan. Ko‘p tadqiqotlarda ipning shakllanishi va uning tarangligini o‘rganish orqali turli samaralarga erishish yo‘lida izlanish olib borilib, tegishlicha halqali yigirish mashinasi ishlash parametrlari tavsiya etilgan. Ularda tadqiqotlar asosan urchuqning nisbatan past aylanishlar chastotalari (12000 min^{-1} gacha) da bajarilgan.

Piliklash va yigirish mashinalari dunyoda katta obro‘ga ega bo‘lib kelmoqda. Eng ingichka ipdan eng yo‘g‘onigacha, turli komponentlardagi tolalardan, metall tolalari aralashmasidan ip yigirishning eng yuqori sifatlilarini tayyorlay oladigan mashinalar qatoriga kiritilgan. Oerlikon Schlafhorst firmasi mijozlari uchun yigirish mashinasi assortimenti tanqisligi bo‘lmaydi, chunki halqali klassik yigirishdan yangi, masalan, kompakt ipgacha, arminlangan elastik ipdan Siro (qo‘shaloq) ipgacha yigiruvchi mashinalar ishlab chiqarilishi xabar qilinadi [3].

Pnevmomexanik yigirish mashinalarining tadqiqoti va holati bo‘yicha muallif ishida keng tahlil etilgan [3]. Pishitish hamda o‘rash jarayonini ajratib yigirilgan iplar usullarga qarab turlicha strukturaga va tegishlicha xossalarga egadirlar. Keng tarqalgan pnevmomexanik kamerali yigirish mashinalarida yigirish kamerasining aylanishlar chastotasi 110000 min^{-1} (RIETER firmasining BT 923 yigirish mashinasida) gacha oshirilgan. Pnevmomexanik usulda yigirilgan ipga qo‘yilgan me’yoriy talablar o‘zgarmay qolmoqda. Tezliklarga bog‘liq holatlar inobatga olinmay qolmoqda. Ipning sifatini oshirish maqsadida so‘ngi yillarda konstruktiv o‘zgartirishlar va takomillashtirilgan yigirish kallaklari bilan jihozlangan, avtomatlashtirilgan, kompyuterlashtirilgan pnevmomexanik yigirish mashinalari ishlab chiqarilmoqda. Pnevmomexanik yigirish mashinalarida ip sifatiga ta’sir etuvchi omillar keng miqyosda o‘rganilmoqda. Masalan, pnevmomexanik ipning xossalariga ip o‘tkazuvchi varonka ta’siri o‘rganilgan [4]. Chiziqli zichliklari 29,5 va 49,2 teksli ip namunalari 30% paxta tolasi va 70% akril tolalari aralashmasidan yigirilgan. Spiralsimon varonkaning ishlatilishi bilan ta’kidlanishicha ip qattiqligi deyarli oshmagan, lekin uzilish kuchi ortgan. Bu qo‘shimcha qalbaki buramlar tufaylimi yoki boshqa sabablar ta’sirimi, afsuski izohlanmagan.

Pnevmomexanik ip xossalari ko‘rsatkichlariga tarash jarayoni va pilta tayyorlash ham ta’sir etishi mumkinligi nemis olimlari tomonidan tekshirilgan [5]. Tarash mashinasi bosh barabani aylanish tezligi pnevmomexanik ip sifatiga ta’siri tekshirilib muqobil variant sifatida 400-500 min^{-1}

deb qabul qilingan. Ipning sifat ko‘rsatkichlariga tarash jarayonidagi qanday kattaliklar ustivor ta’sir etishi yoritilmagan.

Yigirish kamerasi bilan ip o‘tkazuvchi varonka orasidagi masofaning shakllanayotgan ip sifatiga ta’siri o‘rganilib, masofaning 1 mm ga kamayishi ip tukdorligini ozgina kamayishiga olib kelishi aniqlangan. Ipning sirtda yoyilishi va tukdorlik orasida 0,714 ga teng korrelyatsiya koeffitsiyenti bilan baholanadigan bog‘lanish borligi ko‘rsatilgan. Boshqa xossa ko‘rsatkichlaridan ipning ravonligi, nepslar ham o‘rganilgan.

Ipning sifatiga texnologik va kinematik omillar ta’sirini o‘rganish bo‘yicha amaliy tadqiqotlar ham olib borilib, tegishli ijobiy natijalar olingan. Ularning umumiy kamchiligi shundaki, yigirish kamerasi aylanishlar chastotasi nisbatan past 55000 min^{-1} gacha. Hozirgi paytda bu kattalik 2,5 martadan ko‘p, ya’ni 150000 min^{-1} ga ortdi. Pishitish intensifikatorlarining ipning sifatiga ta’siri ham tadqiq etilib, regression tenglamalar olingan va ular tahlil qilinib, intensifikator sterjeni uzunligi, hamda ip o‘tkazgich teshigining muqobil kattaliklari topilgan [6]. Aytib o‘tilgan tadqiqotlarning aksariyat ko‘pchiligi amaliy ishlar bo‘lib, tajribalar asosida tegishli xulosalarga kelingan. Pnevmomexanik yigirish yo‘nalishida keyingi paytlarda mahsulotni tozalash, tolalarning diskret oqimini transportirovkalash, yigirish kameralari diametrlarini kichiklashtirish (28 mm gacha), buram tarqatkichlarning takomillashtirilganligi tufayli pnevmomexanik ipning xossalari yaxshilandi. Shunga qarab texnologik tizim, ya’ni o‘timlardagi texnologik mashinalar ham ketma-ket takomillashtirilmoqda. Hozir pnevmomexanik mashinalarning ishlash parametrlari birinchi navbatda yigirish kamerasining aylanishlar chastotasi, yigiriladigan ipning chiziqiy zichligi va yigirish kamerasining diametriga qarab tanlash tavsiya etilmoqda. Aynan shuning uchun ham ip strukturasi va xossalarini ipning yigirilishidagi jarayonlar xususiyatlari asosida o‘rganib uning sifatini yaxshilash yo‘llarini asoslash dolzarb masaladir. Shunday qilib, yigirish texnologiyasi va mashinalarining taraqqiyoti unumdorlikni oshirish hamda ip sifatini yaxshilash yo‘lida olib borilayotgani aniqlandi [7].

Xulosa

Yigirish texnika va texnologiyasining zamonaviy rivojlanishi shuni ko‘rsatadiki, jarayonni takomillashtirish asosan yuqori tezliklarda ishlash, avtomatlashtirish va energiya samaradorligini oshirish bilan bog‘liq. Halqali va pnevmomexanik yigirish usullarining konstruktiv hamda texnologik jihatdan yangilanishi ip sifat ko‘rsatkichlarini yaxshilashga xizmat qiladi. O‘rganishlar natijasida ipning mustahkamligi, ravonligi va tozaligi oshishi, uzilishlar kamayishi hamda ishlab chiqarish unumdorligi ortishi aniqlangan. Shu bois, yigirish jarayonlarini optimallashtirish va zamonaviy texnologiyalarni keng joriy etish to‘qimachilik sanoatida raqobatbardosh mahsulot ishlab chiqarishning muhim omili hisoblanadi.

Adabiyotlar

[1]. Совершенствование кольцевого прядения // Реф. сбор. Текстильной промышленности – Москва, 1990. - №10. - С. 9.

[2]. Щербаков В.П., Скуланова Н.С. Аналитическое описание явлений при разрушении пряжи // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007, №4. С.104...109.

[3]. Ғофуров Ж.Қ. Пневмомеханик камеранинг ишлаш параметрларини такомиллаштириш асосида ип сифатини ошириш йўллари. Номзодлик диссертацияси. – Тошкент: ТТЕСИ, 2007. - 122 б.

[4]. RIETER Machine Works Ltd. www.rieter.com

[5]. Müller H., Maidel H. Abhdgigkeit der Rotor garn eigenschaften von der mechanischen Beanspruchung der Baumwolle beim Kardieren und Rotorspinnen. MelliandTextilber 1997. –78, №1,2. 35 б.

[6]. Ефимова А.К., Меркулова Т.А., Зимин С.П., Шляев А.Г. Влияние интенсификаторов крутки на физико-механические свойства пряжи РС. Текстильная промышленность, 1998, №5, 12 с.

[7]. Quliyev T., Djumabayev G‘., Toxirov N., YigitaliyevA. Halqali usulda ip yigirish texnika va texnologiyasi holati. “Tikuv-trikotaj sanoatida innovatsion texnologiyalar, ishlab chiqarishdagi muammo, tahlil va sohani rivojlanish istiqbollari” mavzusida respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi, NamTSI, 1-tom, 27-28-mart-2024, 438-443 b.

[8]. Қулиев Т.М., Джумабаев Ғ.Х., Жуманиязов Қ.Ж., Орипов Ж.И. Такомиллаштирилган чўзиш асбобида ипларда бурам ҳосил бўлиш жараёнидаги ҳаракатининг динамик таҳлили // ФарПИ илмий-техника журнали. 2024, Т.28. махсус сон №2. 48-52 б.

[9]. Патент № FAP 01051. Йигирув машинасининг ип чўзиш ускунаси// Джумабаев Ғ., Жуманиязов Қ., Джураев А. // Расмий ахборотнома -2015 -№12
[10]. Джумабаев Ғ.Х. Ҳалқали йигириш машинасининг такомиллаштирилган чўзиш асбобини ипнинг геометрик хосса кўрсаткичларига таъсири// Тўқимачилик муаммолари. Тошкент, 2018 №3. 104-108-б.

XOMASHYODAN SAMARALI FOYDALANISH BILAN YANGI TARKIBDAGI PISHITILGAN IPI ISHLAB ISHLAB CHIQARISH ACOPTИMEHTINI KENGAYTIRISH

M.M. Niyazaliyeva

Farg‘ona davlat texnika universiteti
ORCID: 0000-0003-4733-0608
e-mail: muxayyo_makhmudovna@mail.ru
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya: *mazkur ilmiy maqolada to‘qimachilikning mavjud xomashyolaridan yangi turdagi ip ishlab chiqarish texnologiyalari uchun tolalar aralashma tarkiblarining bir necha variantlari, laboratoriya tekshiruvlari natijalari va tahlillari berilgan. Berilgan variantlarning optimallik kriteriyalari bo‘yicha xulosalar keltirilgan.*

Аннотация: *В научной статье представлены варианты составов смесевых волокон для новых технологий производства пряжи из существующего текстильного сырья, результаты и анализы лабораторных испытаний Сделаны выводы о критериях оптимальности данных вариантов.*

Annotation*: The scientific article presents variants of compositions of blended fibers for new technologies of yarn production from existing textile raw materials, results and analysis of laboratory tests. Conclusions are made on the criteria for the optimality of these variants.*

Kalit so‘zlar: *aralashma, ip, chiziqli zichlik, shtapel tola, xomashyo tabiiy, bikomponent, polikomponent, paxta, ipak, jun, viskoza, laykra, ipak momig‘i*

Ключевые слова*: смесь, нить, линейная плотность, штапельное волокно, сырье натуральное, бикомпонентное, поликомпонентное, хлопок, шелк, шерсть, вискоза, лайкра, шелкая вата*

Key words*: mixture, thread, linear density, staple fiber, natural raw materials, bicomponent, multicomponent, cotton, silk, wool, viscose, lycra, silk wool.*

Jahonda to‘qimachilik xomashyosining tabiiy tarkibli qismi ulushi tobora kamayib borishi tarkib jihatidan tabiiy tolalar xossalariga yaqin kimyoviy yoki sun’iy tolalardan aralash tarkibli iplar ishlab chiqarish zarurati tug‘iladi. Aralash tarkibli iplar ikki yoki ko‘p komponentlardan iborat bo‘lganligi uchun bikomponent yoki polikomponent iplar deb yuritiladi. Polikomponent yigirilgan iplari turli tabiiy va kimyoviy tolalardan juda ko‘plab ulishli qatnashuvchilar bilan turli xil usullarda ishlab chiqarilishi mumkin.

Polikomponent iplari asosan tabiiy va kimyoviy iplarning aralashmalaridan ishlab chiqariladi. Ularning aralashmadagi ulushlari turli xil bo‘lishi mumkin. 2023 yildan tabiiy va kimyoviy tolalarning tabiiy ipakning tolali chiqindilaridan olingan ipak momig‘i ishtirokidagi polikomponent yigirilgan iplarning quyidagi yangi turlarini *paxta+ipak+viskoza, paxta+ipak+laykra, paxta+ipak+jun, paxta+ipak+poliefir, paxta+ipak+jun+poliefir, ipak+jun +poli- efir; ipak+paxta+poliefir* ishlab chiqarish texnologiyalarini ishlab chiqish yo‘nalishida ilmiy tadqiqot ishlari o‘tkazildi. Yaratilayotgan polikomponent iplaridagi tolalarning ulushlari tajriba yo‘li bilan aniqlandi va asosiy e’tibor aralash polikomponent ipning sifat ko‘rsatkichlariga qaratildi. Aralashmadagi kimyoviy tolalarning ulishi 33 %-dan oshib ketmasligi kerak, shunda polikomponent yigirilgan ip o‘zida tabiiy tolalar xususiyatlarini saqlab qoladi.

Tolalarning ko‘rsatkichlarini tahlili shuni ko‘rsatadiki, aralashmalarda qatnashadigan tabiiy va kimyoviy tolarning ko‘rsatkichlari bir-birlardan ancha farq qiladi. Misol uchun tolalarning chiziqli zichliklari 0,18 teksdan (ipak momig‘i) 0,38 teksgacha (jun tolasi), nisbiy uzilish kuchi 4,5 cN/texdan (paxta tolasi) 33,0 cN/teksgacha (PEV tolasi), uzilishdagi cho‘zilish esa 5,0 % dan (paxta tolasi) 45 % gacha (PEV tolasi) ni tashkil etadi. Shulardan kelib chiqib polikomponent iplarini ishlab chiqarishning asosiy maqsadi aralashmada qatnashayotgan tolalarning barcha ijobiy

xossalaridan to‘liq foydalanish va ularning ba’zi bir salbiy xossalarini bartaraf etishdan iborat bo‘ladi.

Tajriba sinovlarining tahlillari asosida yuqorida keltirilgan tabiiy va kimyoviy tolalar ishtirok etgan tarkibdagi polikomponent yigirilgan iplarni ishlab chiqarish texnologiyalari ishlab chiqildi va polikomponent ipdagi tolalarning optimal ulushlari aniqlandi. Polikomponent yigirilgan iplarning barcha assortimentlari tarkibida tabiiy ipakning tolali chiqindilardan ishlab chiqarilgan ipak momig‘i ishtiroki ta’minlandi. Polikomponent yigirilgan ipining tarkibida ipak momig‘i tolalarini qatnashishi ipga tabiiy ipakka xos bo‘lgan tovlanish jilosini berish bilan birga unga g‘ijimlanmaslik xususiyatini ham beradi.

Tarkibi paxta+ipak+viskoza tolalaridan iborat bo‘lgan polikomponent iplarini ishlab chiqarish texnologiyasi. Bu texnologiyani ishlab chiqish vaqtida aralashma tolalarining shtapel uzunliklarini paxta tolasining shtapel uzunligiga qarab o‘rnatiladi. Aralashmada ishtirok etayotgan tolalar uzunliklari iloji boricha bir-birlariga yaqin bo‘lishi kerak, bizning polikomplnent ipida qatnashayotgan paxta tolasining shtapel uzunligi 32-34 mm-ni tashkil etadi. Shuning uchun viskoza va ipak to‘shama tolalari ҳam shu uzunlikda shtapellanadi, ya’ni qirqiladi.

№ п/п	K o‘rsatkichlar		Tajriba varianti			
		I	II	III	IV	V
1	Chiziqli zichlik, teks	20,1	20,3	20,0	20,4	20,0
2	Chiziqli zichlik bo‘yicha variatsiya koeffisienti, %	3,1	3,3	3,0	3,5	3,1
3	Nisbiy uzilish kuchi, cN/tex	26,8	25,9	26,8	25,1	26,1
4	Uzilishdagi cho‘zilish, %	30,9	30,5	30,9	25,8	28,5

Yuqorida keltirilgan jadvaldagi ko‘rsatkichlar tahlilidan uchunchi variant bo‘yicha tayyorlangan polikomponent iplarining ko‘rsatkichlari boshqalarga nisbatan yaxshiroq ekanligini ko‘rishimiz mumkin. Laboratoriya sinovlari natijalarini tahlili vaqtida asosiy e’tibor olingan polikomponent iplarining nisbiy uzilish kuchi va variatsiya koeffitsientlariga qaratildi. Demak, ip yigirish korxonalarining ishlab chiqarish sharoitida yigirilgan polikomponent kalava iplari ishlab chiqarish uchun quyidagi aralashma tarkibi tavsiya etiladi:

Paxta tolasi – 60 %
Ipak tolasi – 20 %
Viskoza tolasi – 20 %

Sanoat korxonasining ishlab chiqarish sharoitida ushbu variant bo‘yicha polikomponent yigirilgan iplarining sanoat namunalarini ishlab chiqarish tavsiya etiladi:

Paxta tolasi – 50 %
Ipak tolasi – 10 %
Jun tolasi – 40 %

Sanoat korxonasining ishlab chiqarish sharoitida yuqoridagi tarkibdagi tolalardan polikomponent iplarini ishlab chiqarish davomida ishlab chiqarish texnologiyasiga ba’zi bir o‘zgartirishlar kiritilishi mumkin. Chunki, polikomponent iplaridagi tolalarning ulushlari o‘zgarishi mumkin, barcha tolalar ishlab chiqarish dastgohlari o‘timlarida har xil chiqish foizlariga ega bo‘lishi kuzatiladi.

Sanoat korxonasining ishlab chiqarish sharoitida ushbu variant bo‘yicha polikomponent yigirilgan iplarining sanoat namunalarini ishlab chiqarish tavsiya etiladi:

Paxta tolasi – 50 %;
Ipak tolasi – 10 %;
Jun tolasi – 40 % va
Paxta tolasi – 50 %;
Ipak tolasi – 10 %;

Jun tolasi – 20 %;

Poliefir tolasi – 20 % .

Shunday qilib, yuqorida keltirilgan polikomponent iplarini ishlab chiqarish uchun qo‘llaniladigan variantlarni tahlillaridan kelib chiqqan holda ip yigirish sanoat korxonasida polikomponent iplarini ishlab chiqarish uchun quyidagi tarkib va ulushlarda to‘qimachilik tolalaridan foydalanish tavsiya etiladi:

1-aralashma – paxta tolasi – 60 % + ipak momig‘i tolasi - 20 %+ viskoza tolasi – 20 %;

2-aralashma – paxta tolasi – 80 % + ipak momig‘i tolasi – 20 % (bunga qo‘shimcha trikotaj to‘qishda 3-5 % laykra);

3 - aralashma– paxta tolasi – 50 % + ipak momig‘i tolasi – 10 % + jun tolasi – 40 %;

4 - aralashma – paxta tolasi – 70 % + ipak momig‘i tolasi – 15 % + poliefir tolasi – 15 %;

5 - aralashma – paxta tolasi – 50 % + ipak momig‘i tolasi – 10% + jun tolasi – 20% + poliefir tolasi – 20%;

6 - aralashma – ipak momig‘i tolasi – 20 % + jun tolasi – 50 % + poliefir tolasi – 30 %;

7 - aralashma – ipak momig‘i tolasi – 20 % + paxta tolasi – 50 % - poliefir tolasi – 30 %.

Adabiyotlar

[1]. Dadajonov Sh. va boshq. Tabiiy ipakning tolali chiqindilari ishtirokida aralash tolali polikomponent yigirilgan kalava iplar ishlab chiqarish texnologiyasi / Sh.Dadajonov, O.A.Axunbabayev, Sh.X.Muxamadrasulov, D.B.Yuldasheva, B.X.Xoshimova // FerPIning Ilmiy-texnika jurnali, Maxsus son № 4, 2024, 72-79 s.

[2]. Dadajonov Sh. va boshqalar. Chuvishga yaroqsiz bo‘lgan pillalardan ipak to‘shamasi olish yangi texnologiyasi. O‘zTIITIdagi “To‘qimachilik tolalarini chuqur qayta ishlashning muammolari va yechimlari” Respublika ilmiy-texnikoviy anjuman materiallari to‘plami, 19-20 oktyabr 2020 y., Marg‘ilon sh.,78-82 s.

[3]. To‘ychiyev I.I., Valiyev G.N., Axunbabayev U.O. Chuvishga yaroqsiz bo‘lgan pillalarni to‘shamaga qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirish / Farg‘ona, Classic nashryoti, 2021, 132.

[4]. Xabibullayev D.A. – Polikomponent yangi turdagi matolar uchun xom ashyo tayyorlash texnologiyasini takomillashtirish. Diss.....t.f.f.d., Toshkent, TTESI, 2022, 116 s

[5]. 5 . Xabibullayev D.A. i dr. Razrabotka strukturnoy sxemi formirovaniya ratsionalnogo assortimenta v sisteme “komplekt” iz sherstyanix i polikomponentnix tkaney / D.A.Xabibullayev, D.U.Aripdjanova // Jurnal “Vestnik nauki i obrazovaniya”, 2018. -№13. s. 34-38.

[6]. Patent UZ № IAP 06302. Aralash tolalardan yigirilgan ip olish usuli/D.U.Aripdjanova, X.Alimova, J.A.Axmedov,

[7]. D.A.Xabibullayev //Rasmiy axboratnoma, 2020, № 10

[8]. Aripdjanova D.U. va boshq. Jun va aralash tolalar aralashmasidan yigirilgan polikomponent iplarni ishlab chiqarish texnologiyasi /D.U.Aripdjanova, I.I.Tuychiyev, M.M.Abdullayev, D.A.Xabibullayev // J. “Kompozitsion materiallar”. -Tashkent. -2016. -№1. -S. 81-83. (05.00.00. № 13).

UDK 621.383:621.548

СОЛНЕЧНАЯ ПАРАБОЛОЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТЕПЛОПРИЕМНИКОМ (PV/T) ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОГО ПОЛУЧЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

С.Ф. Эргашев[1], Х.Н. Ахмедова[2]

[1]Ферганский государственный технический университет

[2]Базовый докторант Национального научно-исследовательского института возобновляемых источников энергии

E-mail: abonu5956@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0009-0000-1316-3405

(Получена 04.04.2026 г.)

Аннотация. *В статье приведён анализ конструкций солнечных параболоцилиндрических установок бытового назначения и предложена новая концепция их модернизации путём применения фотоэлектрического теплоприемника (PV/T). Рассмотрены результаты ранее выполненных*

экспериментальных исследований параболоцилиндрических водонагревателей, термоэлектрических генераторов и солнечных холодильников. Показано, что замена традиционного теплоприемника на фотоэлектрический модуль с жидкостным охлаждением позволяет одновременно получать электрическую и тепловую энергию, существенно повышая общий КПД бытовой установки. Приведены расчётные и экспериментальные предпосылки повышения энергетической эффективности.

Ключевые слова: *параболоцилиндрический концентратор, фотоэлектрический теплоприемник, PV/T система, солнечная энергия, бытовые установки, электрическая энергия, тепловая энергия.*

Annotatsiya. *Maqolada maishiy foydalanish uchun mo‘ljallangan quyosh parabolotsilindrik qurilmalarining konstruksiyalari tahlil qilingan va ularni fotoelektrik issiqlik qabul qilgich (PV/T) qo‘llash orqali modernizatsiya qilishning yangi konsepsiyasi taklif etilgan. Ilgari bajarilgan parabolotsilindrik suv isitkichlari, termoelektrik generatorlar va quyosh sovutkichlari bo‘yicha eksperimental tadqiqotlar natijalari ko‘rib chiqilgan. An’anaviy issiqlik qabul qilgichni suyuqlik bilan sovutiladigan fotoelektrik modul bilan almashtirish bir vaqtning o‘zida elektr va issiqlik energiyasini olish imkonini berishi, natijada maishiy qurilmaning umumiy foydali ish koeffitsiyenti sezilarli darajada oshishi ko‘rsatilgan. Energetik samaradorlikni oshirishning hisobiy va eksperimental asoslari keltirilgan.*

Kalit so‘zlar: *parabolotsilindrik konsentrator, fotoelektrik issiqlik qabul qilgich, PV/T tizimi, quyosh energiyasi, maishiy qurilmalar, elektr energiyasi, issiqlik energiyasi.*

Abstract*. The article presents an analysis of the designs of solar parabolic trough systems for domestic use and proposes a new concept for their modernization through the application of a photovoltaic-thermal (PV/T) receiver. The results of previous experimental studies on parabolic trough water heaters, thermoelectric generators, and solar refrigeration systems are reviewed. It is shown that replacing the conventional thermal receiver with a liquid-cooled photovoltaic module enables the simultaneous generation of electrical and thermal energy, significantly increasing the overall efficiency of the domestic system. The calculated and experimental prerequisites for improving energy efficiency are presented.*

Keywords: *parabolic trough concentrator, photovoltaic-thermal receiver, PV/T system, solar energy, domestic installations, electrical energy, thermal energy.*

В настоящее время наиболее исследованными и подготовленными к широкому практическому применению являются солнечные установки бытового назначения, предназначенные для индивидуальных потребителей. Солнечные установки бытового назначения позволяют использовать солнечную энергию для получения электричества и холода, для опреснения, подогрева и кипячения воды, приготовления пищи, сушки сельхозпродуктов и других разнообразных бытовых целей. Солнечные параболоцилиндрические установки бытового назначения привлекают внимание гелиотехников своей конструктивной простотой и эффективностью. Над такими устройствами работали пионеры отечественной и зарубежной гелиотехники, такие, как В. Б. Вейнберг, В. А. Гарф, Ч. Аббот, Ф. Даниэльс, Х. Хотель и др. [1-4].

2. Анализ ранее разработанных параболоцилиндрических бытовых установок

Проведённые исследования показали:

Тип установки	Рабочая температура	КПД	Назначение
Кипятильник Вейнберга	100°C	40–42%	Кипячение воды
Солнечная кухня Johns Hopkins	300°C	до 50%	Приготовление пищи
Солнечные холодильники	150–170°C	4–9%	Получение холода
Водонагреватели ФерПИ	60–70°C	до 45%	Горячая вода
СТЭГ с тепловой трубой	250–300°C	низкий эл. КПД	Электроэнергия

На аснове анализа можно сделать вывод , что параболоцилиндрический концентратор эффективен, но теплоприемники с точки зрения получения электрической энергии использовались нерационально

Концепция фотоэлектрического теплоприемника (PV/T) в фокусе параболоцилиндрического концентратора .

В данной работе предлагается заменить трубчатый теплоприемник на линейный фотоэлектрический модуль с водяным охлаждением, расположенный в фокусе параболоцилиндрического концентратора.

Конструктивные параметры фотоэлектрического модуля с параболоцилиндрическим концентратором:

-размеры параболоцилиндрического отражателя: 0,8×3,0 м

-фотоэлектрический модуль: узкополосный, на основе Si или GaAs

-под и над модулем — медный теплообменник с циркуляцией воды

-прозрачная защитная изоляция (стекло/плёнка)

Принцип работы энергетического модуля:-концентрированное излучение падает на PV-модуль; электрическая энергия вырабатывается фотоэлементами; -избыточное тепло отводится водой; нагретая вода используется для бытовых нужд.

Энергетические преимущества PV/T теплоприемника заключается в том, , что при нагреве фотоэлемента выше 25°C его КПД падает на 0,45–0,5% на каждый градус.

В обычных PV модулях температура достигает 65–75°C, и потери составляют до 20%.

В предлагаемой системе: охлаждение поддерживает температуру PV на уровне 35–40°C; КПД фотоэлемента возрастает на 12–18% и дополнительно используется тепловая энергия.

Суммарный КПД системы:

$\eta_{общ}=\eta_{эл}+\eta_{тепл}=18\%+55\%\approx70\%$

Это существенно выше, чем у всех рассмотренных ранее бытовых параболоцилиндрических установок.

Расчётная оценка для бытовой установки

При радиации 800 Вт/м² и площади апертуры 2,4 м²:

Q=1920 Вт

При оптическом КПД установки 0,65:

$Q_{фак}$=1248 **Вт**

Электрическая мощность:

Рэл=0,18×1248≈225 Вт

Тепловая мощность:

Qтепл≈700 Вт

За 6 часов работы: электроэнергия **-1,35 кВт·ч** ; нагрев воды: **60–80 л до 60°C**

Преимущества для бытового применения

Такая установка позволяет одновременно: получать электричество для освещения и зарядки приборов; нагревать воду; обеспечивать автономность в отдалённых районах; уменьшить стоимость за счёт простой конструкции Особенно актуально для условий Ферганской долины и пустынных районов.

7. Выводы

1. Ранее разработанные параболоцилиндрические бытовые установки доказали высокую тепловую эффективность, но не обеспечивали эффективного получения электрической энергии.
2. Применение фотоэлектрического теплоприемника в фокусе концентратора позволяет реализовать комбинированное получение тепловой и электрической энергии.
3. Общий КПД установки может достигать 70%.
4. Предлагаемая конструкция проста, дешева и перспективна для массового бытового применения.
5. Данное направление требует дальнейших экспериментальных исследований и промышленной реализации.

Список литературы

[1]. Вейнберг В. Б. Оптика в установках для использования солнечной энергии. – М.: ОГИЗ, 1959. – 226 с.

[2]. Swet C.J. An universal solar kitchen // Proceedings of the 7th JECEC, Paper №729112, American Chemical Society. – Washington, 1972. –P. 720.

[3]. The solway HPS-200 solar water heater solwa energy copp. 30-942 s. w. Mapine arrive. – Vancouver, 1985. – Vol.6. – P. 572-580.

[4]. Kusuda T. Solar water heating in Japan — Solar Heating and Cooling for Buildings Workshop. – Washington, 1973. – P. 141-144.
[5]. Клычев Ш.И., Мухитдинов М.М., Бахрамов С.А., Таджиев У.А., Эргашев С.Ф., Орунов Б., Клычева М.Ш. Методика расчёта системы параболоцилиндрический концентратор – трубчатый приёмник солнечных теплоэнергетических установок(Ч .1). // ж. Гелиотехника. 2004. №4. С. 50-54.
[6]. Эргашев С.Ф. Расчёт оптической эффективности солнечного параболоцилиндрического коллектора. // ФарПИ илмий-техник ж. 2004. №1. С. 65-69.

KORXONADA EKOLOGIK BOSHQARUV TIZIMINI BAHOLASH VA EKOLOGIK XAVFLARNI TAHLIL QILISH (“GLOBAL TEXTIL” MCHJ MISOLIDA)

J.M. Ibrohimov, X.E. Rasulova

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
(Qabul qilindi 04.04.2026 y.)

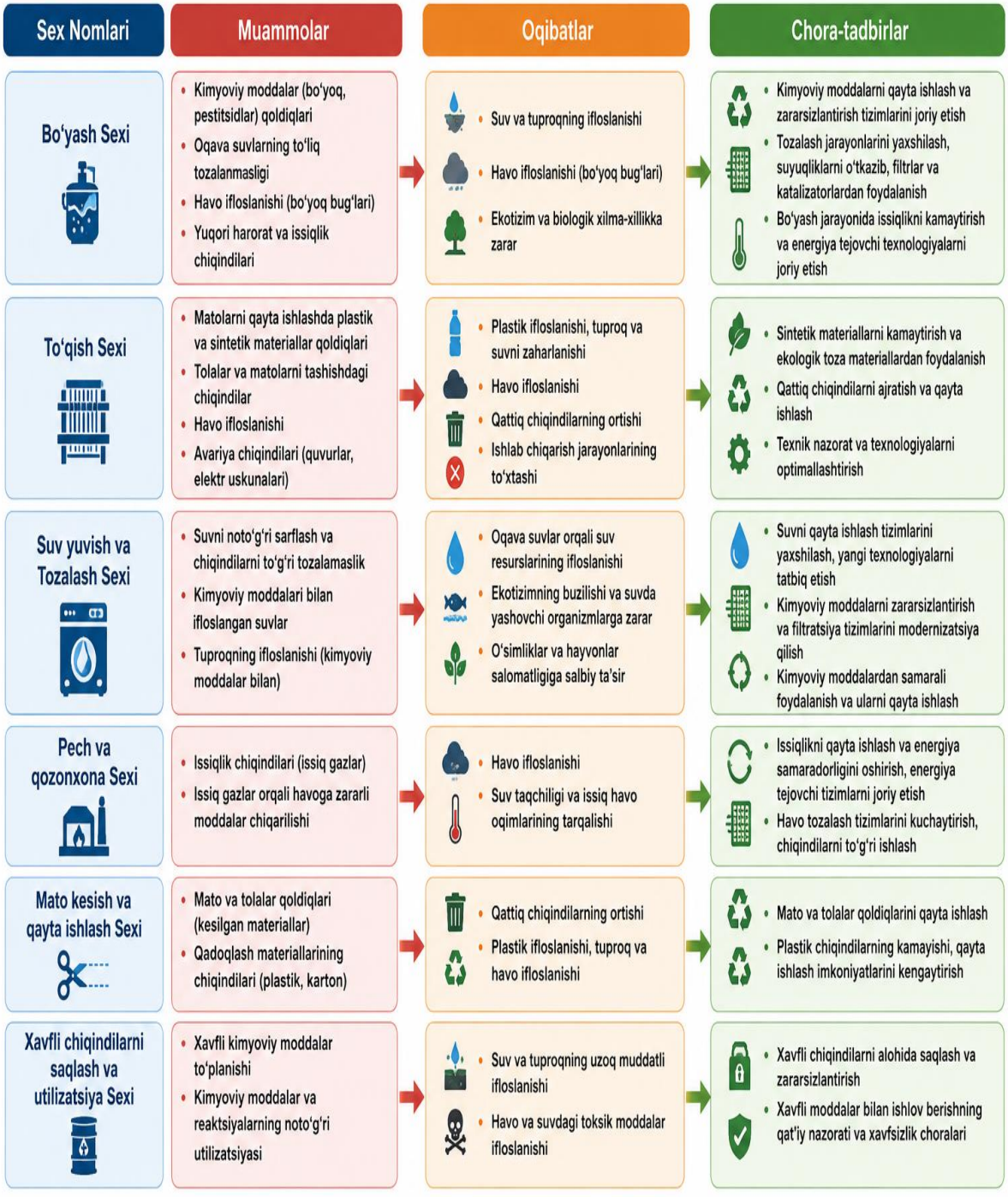
Annotatsiya. *Ushbu maqolada “GLOBAL TEXTIL” MChJ misolida korxonada ekologik boshqaruv tizimining amaldagi holati hamda ishlab chiqarish faoliyatining atrof-muhitga ta’siri tahlil qilinadi. Atmosfera, suv resurslari, tuproq va chiqindilar bilan bog‘liq ekologik muammolar aniqlanib, ularni kamaytirish yo‘llari ko‘rib chiqiladi.*
Kalit so‘zlar: *ekologik boshqaruv, ISO 14001, atmosfera ifloslanishi, oqava suvlar, chiqindilar, ekologik xavf, monitoring.*
Аннотация. *В данной статье на примере ООО «GLOBAL TEXTIL» анализируется текущее состояние системы экологического менеджмента на предприятии, а также влияние производственной деятельности на окружающую среду. Выявляются экологические проблемы, связанные с атмосферным воздухом, водными ресурсами, почвой и отходами, и рассматриваются пути их снижения.*
Ключевые слова: *экологическое управление, ISO 14001, загрязнение атмосферы, сточные воды, отходы, экологический риск, мониторинг.*
Annotation. *This article analyzes the current state of the environmental management system at the enterprise, using “GLOBAL TEXTIL” LLC as an example, as well as the impact of its production activities on the environment. Environmental issues related to the atmosphere, water resources, soil, and waste are identified, and ways to reduce them are considered.*
Keywords: *environmental management, ISO 14001, air pollution, wastewater, waste, environmental risk, monitoring.*

Hozirgi davrda sanoat korxonalarining atrof-muhitga ta’siri global ekologik muammolarning asosiy manbalaridan biri hisoblanadi. Ayniqsa, to‘qimachilik sanoati yuqori darajada suv va energiya resurslarini talab qilishi hamda kimyoviy moddalar keng qo‘llanilishi sababli ekologik xavfi yuqori tarmoqlar qatoriga kiradi. Shu bois korxonalarda ekologik boshqaruv tizimini joriy etish va uni xalqaro standartlar asosida tashkil etish muhim ahamiyat kasb etadi. Xususan, ISO 14001 ekologik menejment standarti korxonalarda ekologik faoliyatni tizimli boshqarish, salbiy ta’sirlarni kamaytirish va resurslardan samarali foydalanishni ta’minlashga xizmat qiladi. Ushbu maqolada “GLOBAL TEXTIL” MChJ misolida ekologik boshqaruv tizimining amaldagi holati kompleks tahlil qilindi hamda korxona faoliyatining atmosfera, suv resurslari, tuproq va chiqindilar orqali atrof-muhitga ko‘rsatadigan ta’siri o‘rganildi. Shuningdek, ekologik xavflarning asosiy manbalari aniqlanib, ularni kamaytirish va boshqarish bo‘yicha ilmiy asoslangan chora-tadbirlar ko‘rib chiqilgan.

Zamonaviy sanoat korxonalarida ekologik boshqaruv tizimi asosan ISO 14001 standarti talablariga muvofiq shakllantiriladi va atrof-muhitga salbiy ta’sirlarni kamaytirish, resurslardan oqilona foydalanish hamda ekologik xavfsizlikni ta’minlashga xizmat qiladi. “GLOBAL TEXTIL” MChJda ekologik boshqaruv tizimi tashkiliy-huquqiy asoslar, resurslardan foydalanish, chiqindilar va emissiyalarni boshqarish, monitoring va nazorat hamda xodimlarning ekologik xabardorligi yo‘nalishlari bo‘yicha baholandi. Tahlil natijalariga ko‘ra, korxonada ekologik siyosat mavjud bo‘lib, mas’ul xodimlar tayinlangan, resurs sarfi monitoringi yuritiladi va ichki audit tizimi joriy etilgan. Korxona faoliyatida asosiy ekologik muammolardan biri atmosfera ifloslanishi bo‘lib, u asosan bo‘yash,

quritish va issiqlik bilan ishlov berish jarayonlari hamda qozonxonalardan kelib chiqadi. Ushbu jarayonlarda chang, uchuvchan organik birikmalar, azot oksidlari, oltingugurt dioksidi va karbonat angidrid ajralib chiqadi, bu esa havo sifatining yomonlashuvi, iqlim o‘zgarishi va inson salomatligiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Atmosfera ifloslanishi emissiya miqdori, maksimal ruxsat etilgan konsentratsiya va sanitar-himoya zonasi kabi ko‘rsatkichlar asosida baholanadi.

Suv resurslariga ta’sir to‘qimachilik sanoatida yuqori darajada bo‘lib, yuvish, bo‘yash va kimyoviy ishlov berish jarayonlarida katta hajmda suv sarflanadi hamda oqava suvlar hosil bo‘ladi. Ushbu oqava suvlar tarkibida bo‘yoqlar, kimyoviy moddalar, mikroplastiklar va organik birikmalar mavjud bo‘lib, ular suv ekotizimlarini buzadi, ichimlik suvi sifatini yomonlashtiradi va inson salomatligiga xavf tug‘diradi. Suvning ifloslanish darajasi BOD, COD va kimyoviy moddalarning konsentratsiyasi orqali baholanadi.



1- Rasm. “GLOBAL TEXTIL” MChJda sexlaridagi atrof-muhitga ta’sir muammolari va shu muammolarni bartaraf etish choralari.

Korxonada chiqindilar xavfli va qattiq turlarga bo‘linadi, bunda xavfli chiqindilar tarkibiga kimyoviy moddalar, erituvchilar va bo‘yoqlar kiradi, qattiq chiqindilar esa mato qoldiqlari, qadoqlash materiallari va filtr qoldiqlaridan iborat. Chiqindilarni noto‘g‘ri boshqarish tuproq va suv resurslarining ifloslanishiga olib keladi. Tuproq va yer osti suvlariga ta’sir asosan kimyoviy moddalar va oqava suvlar orqali yuzaga kelib, tuproq unumdorligini pasaytiradi, biologik xilma-xillikka zarar yetkazadi va oziq-ovqat zanjirida xavf tug‘diradi. Shuningdek, korxonada yong‘in va portlashlar, kimyoviy moddalarning to‘kilishi, oqava suv tizimidagi avariyalar hamda avariya emissiyalari kabi favqulodda holatlar yuzaga kelishi mumkin bo‘lib, ular ehtimollik, oqibat darajasi va tayyorgarlik ko‘rsatkichlari asosida baholanadi. Ushbu holatlarning oldini olish uchun texnik, tashkiliy va o‘quv choralari bilan bir qatorda xalqaro standartlarga moslashuv muhim ahamiyatga ega.

Umuman olganda, “GLOBAL TEXTIL” MChJ faoliyati atmosfera, suv resurslari va chiqindilar orqali atrof-muhitga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi, biroq zamonaviy texnologiyalarni joriy etish, ekologik boshqaruv tizimini takomillashtirish va resurslardan samarali foydalanish orqali ushbu ta’sirlarni sezilarli darajada kamaytirish mumkin.

Muammolarni Bartaraf Etish Uchun Qo‘llaniladigan Yondashuvlar

Tashkiliy choralar - har bir sexda ekologik xavfsizlikni ta’minlash uchun maxsus ekologik menejment tizimini joriy etish. Xodimlarni ekologik xavfsizlik bo‘yicha muntazam ravishda o‘qitish va treninglar o‘tkazish. Atrof-muhitga ta’sirni kamaytirish bo‘yicha ko‘rsatmalarni ishlab chiqish va ularga qat’iy rioya qilish.

Texnologik choralar - suv va havo ifloslanishini kamaytirish uchun zamonaviy filtratsiya tizimlarini va kimyoviy moddalarni qayta ishlash texnologiyalarini joriy etish. Issiqlik va energiya samaradorligini oshirish uchun energiya tejovchi uskunalar va texnologiyalarni qo‘llash. Chiqindilarni ajratish va qayta ishlash uchun avtomatlashtirilgan tizimlarni joriy etish.

Monitoring va baholash - har bir sexda chiqindilarni kuzatib borish va atrof-muhitga ta’sirini muntazam ravishda baholash. Ekologik nazorat va tahlil qilish, chiqindilarning sifatini va miqdorini o‘lchash. Favqulodda holatlar uchun tezkor reaksiya tizimlarini joriy etish.

Xulosa

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, “GLOBAL TEXTIL” MChJda ekologik boshqaruv tizimi ma’lum darajada shakllangan bo‘lib, asosiy jarayonlar monitoring qilinadi va nazorat mexanizmlari mavjud. Biroq, korxona faoliyati atmosfera ifloslanishi, oqava suvlar tarkibidagi kimyoviy moddalar, xavfli va qattiq chiqindilar hamda tuproq va yer osti suvlarining ifloslanishi kabi muhim ekologik muammolar bilan bog‘liq. Ayniqsa, bo‘yash va kimyoviy ishlov berish jarayonlari ekologik xavfning asosiy manbalari hisoblanadi. Shu bilan birga, favqulodda holatlar ehtimoli ham korxona uchun muhim risk omili sifatida baholanadi. Tahlillar asosida shuni ta’kidlash mumkinki, ekologik xavflarni kamaytirish uchun zamonaviy tozalash texnologiyalarini joriy etish, resurslardan oqilona foydalanish, chiqindilarni qayta ishlash tizimini rivojlantirish hamda ekologik monitoringni kuchaytirish zarur. Shuningdek, ISO 14001 va boshqa xalqaro standartlar talablariga to‘liq moslashish korxonaning ekologik barqarorligini ta’minlashda muhim omil bo‘lib xizmat qiladi. Umuman olganda, kompleks ekologik boshqaruv yondashuvi orqali korxonaning atrof-muhitga salbiy ta’sirini sezilarli darajada kamaytirish va barqaror rivojlanishni ta’minlash mumkin.

Adabiyotlar

[1]. Jamoldinovich, A. E. (2022). About the Integration of Information Security and Quality Management. *Eurasian Research Bulletin*, *12*, 18-24.

[2]. Машарипов Ш. М., Эркабоев А. Х. AN. Improved method for assessing the effectiveness of risk management in analytical testing laboratories: an improved method for assessing the effectiveness of risk management in analytical testing laboratories //Железнодорожный транспорт: актуальные вопросы и инновации. – 2024. – Т. 4. – С. 123-128.

[3]. Maxmudova Nodiraxon Jumaboy Qizi. Raqamli iqtisodiyot sharoitida sanoat korxonalarida risklarni boshqarishning zamonaviy metodik yondashuvlari // Raqamli iqtisodiyot (Цифровая экономика). 2025. №11. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/raqamli-iqtisodiyot-sharoitida-sanoat-korxonalarida-risklarni-boshqarishning-zamonaviy-metodik- yondashuvlari (дата обращения: 16.04.2026).

[4]. ISO 31000:2018. *Risk management – Guidelines*

[5]. ISO 31010:2019. *Risk management – Risk assessment techniques*
[6]. ISO 9001:2015. *Quality management system – Requirements.*
[7]. ISO 14001:2026 Environmental management systems — Requirements.
[8]. Sadchenko Y.V., Malakhova Y.G. Planning the process of metrological support of production based on risk assessment [Electronic resource] // *Reshetnev readings: scientific journal.* 2016 No. 20 pp 391–393.

UDK: 621.313.323

SINXRON DVIGATELLARNI LOYIHALASHDA ASOSIY KATTALIKLARNI HISOBLASHNING SODDALASHTIRILGAN USLUBIYOTI

B.B. Mirzaliyev

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
e-mail mirzaliyevbobur3@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5384-9281
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada sinxron dvigatellarni loyihalash jarayonida asosiy elektromagnit va konstruktiv kattaliklarni hisoblashning soddalashtirilgan uslubiyoti ishlab chiqilgan. Taklif etilgan yondashuv stator va rotor o‘lchamlarini tanlash, elektromagnit yuklamalarni aniqlash, havo oralig‘i, chulg‘am parametrlari, magnit zanjir, qo‘zg‘atish tizimi hamda isroflar balansini bosqichma-bosqich hisoblashga asoslanadi.*
Kalit so‘zlar: *sinxron dvigatel, elektromagnit hisob, stator, rotor, havo oralig‘i, chulg‘am, magnit zanjir, elektromagnit moment, foydali ish koeffitsienti.*
Abstract. *This article develops a simplified methodology for calculating the main electromagnetic and structural quantities in the design of synchronous motors. The proposed approach is based on the selection of stator and rotor dimensions, determination of electromagnetic loads, step-by-step calculation of the air gap, winding parameters, magnetic circuit, excitation system, and waste balance.*
Keywords: *synchronous motor, electromagnetic calculation, stator, rotor, air gap, winding, magnetic circuit, efficiency.*
Аннотация: *Данная статья разрабатывает упрощённую методику расчёта основных электромагнитных и конструктивных параметров при проектировании синхронных двигателей. Предлагаемый подход основан на выборе размеров статора и ротора, определении электромагнитных нагрузок, поэтапном расчёте воздушного зазора, параметров обмотки, магнитной цепи, системы возбуждения и баланса потерь.*
Ключевые слова: *синхронный двигатель, электромагнитный расчет, статор, ротор, воздушный зазор, обмотка, магнитная цепь, коэффициент полезного действия.*

Sinxron elektr mashinalari elektr energetikasi, sanoat yuritmalari, nasos va kompressor stansiyalari, metallurgiya hamda yirik quvvatli texnologik qurilmalarda keng qo‘llaniladi. Bunday dvigatellarning asosiy afzalligi rotor aylanish tezligining tarmoq chastotasi bilan qat’iy bog‘liqligi, quvvat koeffitsientini rostlash imkoniyati va yuqori foydali ish koeffitsientiga ega bo‘lishidir. Shu bilan birga, sinxron dvigatelni loyihalash jarayoni stator, rotor, chulg‘amlar, magnit zanjir, havo oralig‘i va sovitish elementlari bo‘yicha ko‘p bosqichli hisoblarni talab qiladi.

An’anaviy hisoblash usullarida ko‘plab iteratsion tuzatishlar, grafiklardan foydalanish va tanlangan geometrik o‘lchamlarni qayta tekshirish zarur bo‘ladi. Bu holat, ayniqsa, dastlabki loyiha, kurs loyihasi va o‘quv-amaliy mashg‘ulotlarda hisoblash jarayonini murakkablashtiradi. Shu sababli loyihalashning ilk bosqichida asosiy kattaliklarni tez va izchil aniqlashga xizmat qiladigan soddalashtirilgan metodikani ishlab chiqish dolzarb hisoblanadi.

Tadqiqotning maqsadi sinxron dvigatelning asosiy elektromagnit va konstruktiv parametrlarini hisoblash uchun bosqichma-bosqich, amaliy qo‘llashga qulay hamda ilmiy bayon qilinadigan metodikani shakllantirishdan iborat. Tadqiqot obyekti sifatida o‘rta va katta quvvatli sinxron dvigatellar, tadqiqot predmeti sifatida esa ularning elektromagnit yuklamalari, chulg‘am parametrlari, magnit zanjiri va isroflar balansi tanlandi.

Hisoblash metodikasi sinxron dvigatelning nominal ma’lumotlaridan boshlanadi. Asosiy boshlang‘ich kattaliklar sifatida nominal quvvat P_n, liniya kuchlanishi U_n, tarmoq chastotasi f, qutblar soni 2ρ,

dastlabki foydali ish koeffitsienti η, quvvat koeffitsienti cosφ va sovitish sharoitlari qabul qilinadi. Yulduz ulanish holatida nominal faza kuchlanishi quyidagicha aniqlanadi:

$$U_f = U_n / \sqrt{3}. \quad (1)$$

Nominal faza toki dvigatelning aktiv quvvati, kuchlanishi, quvvat koeffitsienti va foydali ish koeffitsientiga bog‘liq holda aniqlanadi:

$$I_n = P_n / (\sqrt{3} \cdot U_n \cdot cos\varphi \cdot \eta). \quad (2)$$

Sinxron aylanish tezligi qutblar soni orqali topiladi. Bu kattalik dvigatelning mexanik rejimi, elektromagnit momenti va rotor konstruksiyasini tanlashda muhim ahamiyatga ega:

$$n_s = 60f / p. \quad (3)$$

Hisobiy elektromagnit quvvat stator magnit maydoni orqali havo oralig‘idan rotorga uzatiladigan quvvatni ifodalaydi. U dvigatelning asosiy geometrik o‘lchamlarini, jumladan statorning ichki diametri D va aktiv uzunligi lδ ni tanlash uchun tayanch parametr hisoblanadi. Elektromagnit moment esa quyidagi umumiy bog‘lanish bilan baholanadi:

$$M_{em} = P_{em} / \omega_s, \quad \omega_s = 2\pi n_s / 60. \quad (4)$$

Metodikaning keyingi bosqichida elektromagnit yuklamalar tanlanadi. Chiziqli yuklama A va havo oralig‘idagi induksiya Bδ sinxron dvigatelning issiqlik holati, magnitlanish darajasi va gabarit o‘lchamlarini belgilaydi. Dastlabki hisoblarda Bδ = 0,80–0,90 T oralig‘ida qabul qilinadi. Tadqiqot namunasi uchun Bδ = 0,86 T qabul qilindi. Qutb yoyi koeffitsienti, maydon shakli koeffitsienti va chulg‘am koeffitsienti o‘rtacha tajribaviy qiymatlar asosida tanlanadi.

Stator pazlari soni fazalar soni va qutblar soniga mos holda tanlanadi. Pazlar soni 6p ga karrali bo‘lishi, qutb va fazaga to‘g‘ri keladigan pazlar soni esa chulg‘amning texnologik bajarilishini ta’minlashi lozim. Chulg‘am koeffitsienti qisqartirish va tarqalish koeffitsientlari ko‘paytmasi sifatida aniqlanadi:

$$k_w = k_q \cdot k_y. \quad (5)$$

Pazdagi effektiv o‘tkazgichlar soni, chulg‘am qadamining nisbiy qiymati, tok zichligi va o‘tkazgich kesimi dvigatelning qizishi, izolyatsiya mustahkamligi hamda ishlab chiqarish texnologiyasiga mos tanlanadi. Effektiv o‘tkazgich kesimi quyidagi bog‘lanish orqali hisoblanadi:

$$S_{eff} = I_n / J. \quad (6)$$

Magnit zanjir hisobida havo oralig‘i, stator tishlari, stator yarmi, rotor tishlari, qutb o‘zagi va rotor yarmi uchun magnit yurituvchi kuchlar alohida aniqlanadi. Umumiy salt ishlash magnit yurituvchi kuchi barcha bo‘laklar bo‘yicha yig‘indi sifatida topiladi:

$$F_0 = F_\delta + F_{zs} + F_{ys} + F_{zr} + F_p + F_{yr}. \quad (7)$$

Isroflar balansi stator misidagi isroflar, qo‘zg‘atish chulg‘ami isroflari, po‘latdagi isroflar, mexanik isroflar va qo‘shimcha isroflardan tashkil topadi. Foydali ish koeffitsienti quyidagicha baholanadi:

$$\eta = P_{out} / (P_{out} + \Sigma P_{loss}). \quad (8)$$

Taklif etilgan metodika 1000 kW quvvatli, 6 kV kuchlanishli sinxron dvigatelni dastlabki loyihalash misolida sinovdan o‘tkazildi. Hisoblashlarda dastlabki foydali ish koeffitsienti η = 0,96 deb olindi. Elektromagnit yuklamalarni tanlashda havo oralig‘idagi induksiya Bδ = 0,86 T qiymatida qabul qilindi. Stator ichki diametri va aktiv uzunligi tanlangach, geometrik nisbatlar tekshirildi hamda pazlar soni chulg‘amning fazalar va qutblar bo‘yicha simmetrik joylashishini ta’minlaydigan qiymatda qabul qilindi.

Ko‘rsatkich	Belgisi	Qabul qilingan yoki hisoblangan qiymat
Nominal quvvat	Pn	1000 kW
Nominal kuchlanish	Un	6 kV
Dastlabki foydali ish koeffitsienti	η	0,96
Havo oralig‘idagi induksiya	Bδ	0,86 T
Chulg‘am parallel tarmoqlari	a	2
Tok zichligi	J	hisobiy tok va o‘tkazgich kesimiga ko‘ra aniqlanadi
Dvigatelning yakuniy FIK qiymati	ηyak	taxminan 95,6 %

1-jadval. Sinxron dvigatelni soddalashtirilgan hisoblash uchun asosiy boshlang‘ich va yakuniy parametrlar

Hisoblash natijalaridan ko‘rinadiki, elektromagnit quvvat dvigatelning gabarit o‘lchamlarini aniqlashda markaziy rol o‘ynaydi. Stator ichki diametri va aktiv uzunligining noto‘g‘ri tanlanishi tish induksiyasi, yarm magnit induksiyasi va havo oralig‘i magnit yurituvchi kuchining me’yordan oshib ketishiga sabab bo‘lishi mumkin. Shu sababli metodikada har bir geometrik qadamdan so‘ng tekshiruv formulalarini qo‘llash ko‘zda tutilgan.

Chulg‘am hisobida pazdagi effektiv o‘tkazgichlar soni juft qiymatga yaxlitlanadi. Bunday yondashuv o‘ramlarni simmetrik joylashtirish, fazalararo muvozanatni saqlash va texnologik yig‘ishni yengillashtirish imkonini beradi. Chulg‘am qadami qisqartirilganda yuqori garmonikalarni kamaytirish, elektromagnit moment tebranishlarini pasaytirish va dvigatelning ish rejimini barqarorlashtirish mumkin.

Magnit zanjir bo‘yicha hisoblarda havo oralig‘i eng katta magnit qarshilikka ega bo‘lgan bo‘lak hisoblanadi. Shu sababli havo oralig‘i qiymatini haddan tashqari oshirish qo‘zg‘atish chulg‘ami magnit yurituvchi kuchini ko‘paytiradi va qo‘zg‘atish isroflarini orttiradi. Aksincha, juda kichik havo oralig‘i mexanik xavfsizlik, rotor-stator orasidagi radial tebranishlar va ishlab chiqarish aniqligi nuqtai nazaridan muammoli bo‘lishi mumkin. Shuning uchun amaliy loyihalashda hisobiy qiymat standart konstruktorlik oraliqlari bilan moslashtiriladi.

Isroflar tahlili shuni ko‘rsatadiki, umumiy isroflar tarkibida stator misi, qo‘zg‘atish chulg‘ami va po‘latdagi isroflar muhim ulushni tashkil etadi. Hisobiy namunada yakuniy foydali ish koeffitsienti taxminan 95,6 % atrofida baholandi. Bu qiymat yirik quvvatli sinxron dvigatellar uchun qabul qilinadigan texnik darajaga mos keladi va metodikaning amaliy jihatdan asoslanganligini ko‘rsatadi.

Soddalashtirilgan hisoblash algoritmini quyidagi ketma-ketlikda bajarish tavsiya etiladi: birinchidan, nominal quvvat, kuchlanish, chastota va qutblar soni bo‘yicha asosiy elektr kattaliklar aniqlanadi; ikkinchidan, elektromagnit quvvat, chiziqli yuklama va havo oralig‘i induksiyasi tanlanadi; uchinchidan, stator ichki diametri, aktiv uzunlik va pazlar soni hisoblanadi; to‘rtinchidan, chulg‘am qadami, o‘tkazgich kesimi va tok zichligi aniqlanadi; beshinchidan, rotor, qutb, dempfer chulg‘ami va havo oralig‘i parametrlari tekshiriladi; oltinchidan, magnit zanjir bo‘yicha magnit yurituvchi kuchlar yig‘indisi topiladi; yettinchidan, qo‘zg‘atish chulg‘ami va isroflar balansi hisoblanib, yakuniy foydali ish koeffitsienti baholanadi.

Mazkur algoritmning afzalligi shundaki, u murakkab loyihalash jarayonini mantiqiy bosqichlarga ajratadi. Har bir bosqichda tanlangan parametrlar keyingi hisobga ta’sir qilishi ko‘rsatiladi. Natijada loyiha xatolarini erta aniqlash, ortiqcha qayta hisoblashlarni kamaytirish va o‘quv jarayonida sinxron dvigatel konstruksiyasini tizimli tushuntirish imkoniyati yaratiladi.

Sinxron dvigatellarni loyihalashda asosiy elektromagnit va konstruktiv kattaliklarni hisoblash bo‘yicha soddalashtirilgan metodika ishlab chiqildi. Metodika nominal elektr kattaliklardan boshlab stator, rotor, chulg‘am, havo oralig‘i, magnit zanjir, qo‘zg‘atish tizimi va isroflar balansigacha bo‘lgan hisoblarni yagona ketma-ketlikda birlashtiradi.

1000 kW quvvatli va 6 kV kuchlanishli sinxron dvigatel misolida metodikaning amaliy qo‘llanishi ko‘rsatildi. Hisobiy natijalar havo oralig‘i induksiyasi, chulg‘am koeffitsienti, o‘tkazgich kesimi, magnit yurituvchi kuch va foydali ish koeffitsientini dastlabki loyihalash uchun yetarli aniqlikda aniqlash imkonini berdi. Yakuniy FIKning taxminan 95,6 % bo‘lishi tanlangan parametrlarning texnik jihatdan maqbulligini tasdiqlaydi.

Taklif etilgan yondashuv oliy ta’lim muassasalarida elektr mashinalari fanidan kurs loyihalari, laboratoriya ishlari va amaliy mashg‘ulotlar uchun, shuningdek, sanoat korxonalarida sinxron dvigatelning dastlabki konstruktorlik bahosini olish uchun foydalanilishi mumkin. Kelgusida metodikani kompyuter dasturi yoki elektron jadval shaklida avtomatlashtirish, shuningdek, turli quvvat va kuchlanish sinflari uchun parametrlar bazasini shakllantirish maqsadga muvofiqdir.

Adabiyotlar

[1]. Kopylov I. P. Elektr mashinalari. Oliy o‘quv yurtlari uchun darslik. Moskva: Energoatomizdat, 2001.
[2]. Veshenevskiy S. N. Elektr mashinalarini loyihalash. Moskva: Energiya, 1980.
[3]. Kostenko M. P., Piotrovskiy L. M. Elektr mashinalari. 2-qism. Sinxron mashinalar. Moskva: Energiya, 1973.
[4]. Bertinov A. I. Maxsus elektr mashinalari. Moskva: Energiya, 1982.
[5]. Chapman S. J. Electric Machinery Fundamentals. New York: McGraw-Hill Education, 2012.
[6]. Boldea I. Synchronous Generators and Motors: An Overview. Boca Raton: CRC Press, 2016.
[7]. Fitzgerald A. E., Kingsley C., Umans S. D. Electric Machinery. New York: McGraw-Hill, 2013.
[8]. IEEE Std 115-2019. IEEE Guide for Test Procedures for Synchronous Machines. New York: IEEE, 2019.

[9]. IEC 60034-1: Rotating electrical machines. Part 1: Rating and performance. International Electrotechnical Commission, 2017.
[10]. GOST 183-74. Elektr mashinalari. Umumiy texnik talablar. Moskva: Standartlar nashriyoti.

ENERGOAUDIT ASOSIDA ISSIQLIK ENERGIYASI ISTE'MOLINI KAMAYTIRISHNING NAZARIY ASOSLARI

Sh.M. Nabiyev, B.B. Boynazarov

Farg'ona davlat texnika universiteti,
e-mail: shukurjonnabiyev473@gmail.com
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada sanoat korxonalarida issiqlik energiyasi iste'molini energoaudit asosida tahlil qilish va optimallashtirish masalalari ko'rib chiqilgan. Tadqiqot jarayonida issiqlik energiyasi sarfi hisoblab chiqilib, energiya yo'qotish manbalari aniqlangan. Hisob-kitoblar natijasida umumiy energiyaning ma'lum qismi yo'qotilayotgani aniqlanib, ularni kamaytirish bo'yicha ilmiy asoslangan takliflar ishlab chiqilgan. Jumladan, issiqlik izolatsiyasini yaxshilash, tizimni balanslash hamda zamonaviy monitoring va boshqaruv tizimlarini joriy etish orqali energiya samaradorligini oshirish imkoniyatlari asoslab berilgan. Tadqiqot natijasida issiqlik energiyasi yo'qotishlarini kamaytirish va 100 kW dan ortiq energiyani tejash mumkinligi ko'rsatib berilgan.*

Kalit so'zlar: *energoaudit, issiqlik energiyasi, energiya samaradorligi, issiqlik yo'qotishlari, optimallashtirish, sanoat korxonasi, monitoring*

Аннотация. *В данной статье рассмотрены вопросы анализа и оптимизации потребления тепловой энергии на промышленных предприятиях на основе энергоаудита. В ходе исследования были выполнены расчёты потребления тепловой энергии и выявлены основные источники потерь. Результаты показали, что значительная часть энергии теряется в процессе передачи и использования. На основе проведённого анализа предложены научно обоснованные меры по снижению потерь, включая улучшение теплоизоляции, балансировку системы и внедрение современных систем мониторинга и управления. Установлено, что реализация предложенных мероприятий позволяет сократить потери тепловой энергии и обеспечить экономию более 100 кВт энергии.*

Ключевые слова: *энергоаудит, тепловая энергия, энергоэффективность, потери энергии, оптимизация, промышленное предприятие, мониторинг*

Abstract. *This article discusses the analysis and optimization of thermal energy consumption in industrial enterprises based on energy audit methods. During the study, thermal energy consumption was calculated and the main sources of energy losses were identified. The results showed that a significant portion of energy is lost during transmission and utilization processes. Based on the analysis, scientifically grounded measures were proposed to reduce energy losses, including improving thermal insulation, system balancing, and implementing modern monitoring and control systems. The study demonstrates that the proposed measures can reduce thermal energy losses and achieve energy savings of more than 100 kW.*

Keywords: *energy audit, thermal energy, energy efficiency, heat losses, optimization, industrial enterprise, monitorin.*

Hozirgi kunda dunyo miqyosida energiya resurslaridan samarali foydalanish va ularni tejash masalasi eng dolzarb muammolardan biri hisoblanadi. Aholi sonining ortib borishi, sanoat ishlab chiqarish hajmining kengayishi hamda infratuzilmaning rivojlanishi natijasida energiya iste'moli yil sayin oshib bormoqda. Bu esa mavjud energiya manbalaridan oqilona foydalanish, energiya yo'qotishlarini kamaytirish va energiya samaradorligini oshirish zaruratini yanada kuchaytirmoqda. Ayniqsa, energiya resurslarining cheklanganligi va ekologik muammolarning ortib borishi energiya tejashga bo'lgan e'tiborni yanada oshirmoqda.

Issiqlik energetikasi tizimlari umumiy energiya iste'molining muhim qismini tashkil etadi. Xususan, sanoat korxonalarida texnologik jarayonlarni amalga oshirish, bino va inshootlarni isitish hamda issiq suv bilan ta'minlashda issiqlik energiyasidan keng foydalaniladi. Shu bilan birga, issiqlik energiyasini ishlab chiqarish, uzatish va iste'mol qilish jarayonlarida sezilarli darajada

yo‘qotishlar yuzaga keladi. Ushbu yo‘qotishlar asosan issiqlik tarmoqlarining eskirganligi, issiqlik izolatsiyasining yetarli emasligi, texnologik jarayonlarning optimal darajada tashkil etilmaganligi hamda energiya hisobining yetarli darajada yo‘lga qo‘yilmaganligi bilan bog‘liq.

Sanoat korxonalarida issiqlik energiyasidan foydalanish samaradorligini oshirish bugungi kunda dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi. Chunki energiya resurslarining ortiqcha sarflanishi ishlab chiqarish tannarxining oshishiga, energiya tizimlariga tushadigan yuklamaning ortishiga hamda atrof-muhitga salbiy ta’sirlarning kuchayishiga olib keladi. Shu sababli issiqlik energiyasi iste’molini chuqur tahlil qilish, yo‘qotishlarni aniqlash va ularni kamaytirish bo‘yicha samarali yechimlarni ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etadi.

O‘zbekiston Respublikasida ham energiya samaradorligini oshirish va energiya resurslarini tejash davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biri sifatida belgilangan. So‘nggi yillarda energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etish, energiya iste’molini nazorat qilish va optimallashtirishga qaratilgan qator me’yoriy-huquqiy hujjatlar qabul qilindi. Bu esa sanoat korxonalarida energiya boshqaruvi tizimlarini takomillashtirish va zamonaviy yondashuvlarni joriy etishni talab etadi.

Energoaudit energiya iste’molini kompleks baholash, energiya yo‘qotish manbalarini aniqlash va ularni kamaytirish bo‘yicha samarali chora-tadbirlarni ishlab chiqish imkonini beruvchi muhim vosita hisoblanadi. Energoaudit jarayonida energiya iste’moli ko‘rsatkichlari tahlil qilinadi, mavjud tizimlarning texnik holati baholanadi hamda energiya samaradorligini oshirish bo‘yicha aniq takliflar ishlab chiqiladi. Shu jihatdan, energoaudit nafaqat energiya tejamkorligini ta’minlash, balki ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirishda ham muhim ahamiyatga ega.

Foydalanilgan adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, ishda issiqlik energiyasi iste’molini kamaytirish va energiya samaradorligini oshirishga oid me’yoriy-huquqiy hujjatlar, ilmiy adabiyotlar hamda xalqaro standartlardan kompleks tarzda foydalanilgan. Xususan, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “Energiya samaradorligini oshirish to‘g‘risida”gi qarori va “Energiya tejamkorlik to‘g‘risida”gi Qonuni energiya resurslaridan oqilona foydalanish, energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etish hamda sanoat korxonalarida energoaudit tizimini rivojlantirishning huquqiy asoslarini belgilab beradi.[1]

Abdurahmonov Q.X.ning “Energiya tejash asoslari” asarida energiya tejamkorlikning nazariy jihatlari, energiya sarfini kamaytirish usullari hamda energiya resurslaridan samarali foydalanish tamoyillari yoritilgan. Sodiqov A.S.ning “Issiqlik texnikasi va issiqlik ta’minoti tizimlari” nomli adabiyotida esa issiqlik uzatish jarayonlari, issiqlik ta’minoti tizimlarining ishlash prinsiplari va issiqlik yo‘qotishlarini kamaytirish usullari keng bayon etilgan. Mazkur manbalar ishning nazariy asosini shakllantirishda muhim ahamiyat kasb etadi.[2]

Shuningdek, International Energy Agency (IEA) tomonidan tayyorlangan “Energy Efficiency Report” xalqaro miqyosda energiya samaradorligini oshirish bo‘yicha zamonaviy tendensiyalar, innovatsion texnologiyalar va amaliy tajribalarni o‘z ichiga oladi. ISO 50001:2018 standarti esa energiya menejmenti tizimlarini tashkil etish va energiya samaradorligini muntazam nazorat qilish bo‘yicha xalqaro talablarni belgilaydi.[3]

Bundan tashqari, “O‘zbekenergo” AJ hisobot materiallari va metodik qo‘llanmalaridan foydalanish orqali mamlakat energetika tizimining amaldagi holati, energiya iste’moli ko‘rsatkichlari hamda energoaudit jarayonlarini tashkil etish bo‘yicha amaliy ma’lumotlar o‘rganildi. Ushbu manbalar tadqiqotning amaliy ahamiyatini oshirish va aniq tavsiyalar ishlab chiqishda muhim manba bo‘lib xizmat qiladi.[4]

Ishning asosiy maqsadi sanoat korxonalarida issiqlik energiyasi iste’molini energoaudit asosida tahlil qilish hamda uni optimallashtirishning samarali usullarini ishlab chiqishdan iborat.
Ishning obyekti sifatida sanoat korxonalarining issiqlik ta’minoti tizimlari tanlangan bo‘lib, ish predmeti esa issiqlik energiyasi iste’molini optimallashtirish jarayonlari hisoblanadi. Qo‘yilgan maqsadga erishish uchun issiqlik energiyasi iste’molini tahlil qilish, energiya yo‘qotish manbalarini aniqlash hamda energoaudit natijalari asosida optimallashtirish usullarini ishlab chiqish vazifalari belgilangan.

Ishning ilmiy yangiligi sanoat korxonalarida issiqlik energiyasi iste’molini samarali

boshqarish, energiya yo‘qotishlarini kamaytirish va energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan amaliy yondashuvlarning taklif etilganligi bilan izohlanadi.

Issiqlik energiyasi iste’molini tahlil qilish va optimallashtirish

Sanoat korxonasida issiqlik tizimi uchun quyidagi parametrlar qabul qilindi:

Suv sarfi: G = 12 kg/s

Kirish harorati: $t_1 = 95°C$

Chiqish harorati: $t_2 = 65°C$

Suvning issiqlik sig‘imi: c = 4.2 kJ/(kg·°C)

Issiqlik miqdori quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$Q = G \cdot c \cdot (t_1 - t_2)$$

$$Q = 12 \cdot 4.2 \cdot (95 - 65)$$

$$Q = 12 \cdot 4.2 \cdot 30$$

$$Q = 1512 \text{ kW}$$

Korxonaning issiqlik energiyasi iste’moli ≈ 1512 kW

Amaliy tajribaga ko‘ra, issiqlik tizimlarida yo‘qotishlar quyidagicha bo‘ladi:

Quvurlarda: 10–15%

Issiqlik almashinish qurilmalarida: 5–10%

Izolyatsiya yetishmasligi: 5–8%

Umumiy yo‘qotish ≈ 20% deb qabul qilinadi.

Yo‘qotilgan energiya: Qyo‘qotish = 1512 · 0.20 = 302.4 kW

Foydali energiya: Qfoydali = 1512 - 302.4 = 1209.6 kW

Hisob natijalariga ko‘ra:

- Umumiy energiyaning 302.4 kW qismi yo‘qolmoqda
- Bu sezilarli iqtisodiy yo‘qotish hisoblanadi
- Asosiy sabablar:
- Issiqlik izolatsiyasining pastligi
- Eskirgan quvurlar
- Tizimning noto‘g‘ri balanslanishi
- Monitoring tizimlarining yo‘qligi

Optimallashtirish usullari

- Issiqlik izolatsiyasini yaxshilash
  → Yo‘qotishlar 20% dan 12% gacha kamayadi
- SCADA va monitoring tizimlarini joriy etish
  → Real vaqt nazorati ta’minlanadi
- Tizimni balanslash
  → Issiqlik teng taqsimlanadi
- Zamonaviy issiqlik almashinish qurilmalarini qo‘llash
  → Umumiy samaradorlik oshadi

Optimallashtirilgan holatda

Yangi yo‘qotish darajasi: 12%

$$\text{yo‘qotish_yangi} = 1512 \cdot 0.12 = 181.4 \text{ kW}$$

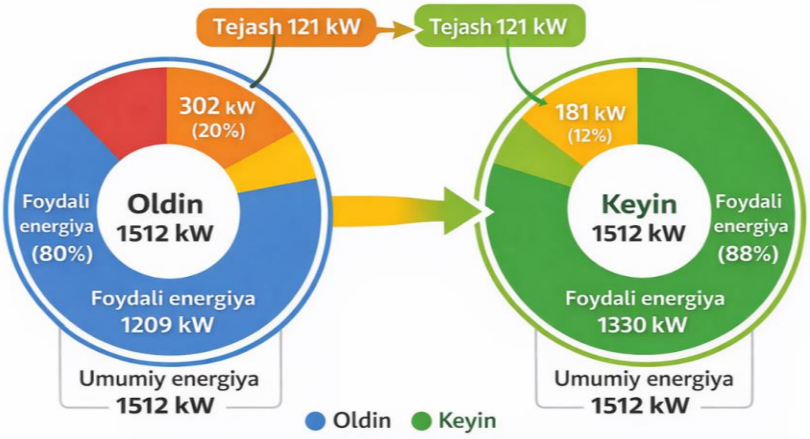
Tejalgan energiya:

$$\Delta Q = 302.4 - 181.4 = 121 \text{ kW}$$

Energoaudit asosida olib borilgan tahlil natijasida sanoat korxonalarida issiqlik energiyasi iste’moli tizimida sezilarli yo‘qotishlar mavjudligi aniqlandi. Hisob-kitoblar shuni ko‘rsatdiki, umumiy issiqlik energiyasining taxminan 20 foizi turli omillar ta’sirida yo‘qotilmoqda. Ushbu yo‘qotishlar asosan issiqlik tarmoqlarining eskirganligi, izolyatsiyaning yetarli emasligi, tizimning noto‘g‘ri balanslanganligi hamda zamonaviy nazorat va boshqaruv tizimlarining yetishmasligi bilan izohlanadi.

Issiqlik izolatsiyasini yaxshilash, tizimni balanslash, zamonaviy issiqlik almashinish qurilmalarini joriy etish hamda SCADA asosida monitoring tizimini tashkil etish natijasida energiya

yo‘qotishlarini 20 foizdan 12 foizgacha kamaytirish imkoniyati mavjudligi asoslab berildi. Natijada foydali energiya miqdori sezilarli darajada oshib, 100 kW dan ortiq, aniqrog‘i 121 kW energiyani tejashga erishish mumkinligi hisob-kitoblar orqali isbotlandi. Shuningdek, olib borilgan tahlillar shuni ko‘rsatadiki, energoaudit nafaqat energiya tejamkorligini oshirish, balki ishlab chiqarish samaradorligini yaxshilash, energiya xarajatlarini kamaytirish va korxonaning umumiy iqtisodiy ko‘rsatkichlarini yaxshilashda muhim ahamiyatga ega. Kelgusida energiya samaradorligini yanada oshirish uchun raqamli monitoring tizimlarini keng joriy etish, avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarini rivojlantirish va energiya menejmenti standartlarini amaliyotga tatbiq etish maqsadga muvofiq hisoblanadi.



1-rasm. Issiqlik energiya iste’molini optimallashtirishdan oldingi va keyingi tahlillari.

Adabiyotlar

[1]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “Energiya samaradorligini oshirish to‘g‘risida”gi qarori, 2024 yil.
[2]. “Energiya tejamkorlik to‘g‘risida”gi O‘zbekiston Respublikasi Qonuni.
[3]. Abdurahmonov Q.X. – Energiya tejash asoslari, Toshkent, 2020.
[4]. Sodiqov A.S. – Issiqlik texnikasi va issiqlik ta’minoti tizimlari, Toshkent, 2019.
[5]. International Energy Agency (IEA) – Energy Efficiency Report, 2022.
[6]. ISO 50001:2018 – Energy Management Systems – Requirements with Guidance for Use.
[7]. O‘zbekenergo AJ hisobot materiallari va metodik qo‘llanmalar.

DORIXONA TASHKILOTLARIDA XIZMAT KO‘RSATISH SIFATINI STRATEGIK BOSHQARISHDA SERVQUAL VA KANO MODELLARINING JORIY ETISH

R.A. Nurdinova[1], T.Z. G‘aniyeva[2]

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
e-mail: [1]nurdinovar2016@mail.ru, [2]gtojixon@gmail.com
(Qabul qilindi 06.04.2026 y.)

Annotatsiya: *Mazkur tadqiqotda farmatsevtik xizmat ko‘rsatish sifatini optimallashtirishning innovatsion modellari tahlil qilinadi. Muallif SERVQUAL metodologiyasi yordamida xizmat ko‘rsatishdagi deterministik bo‘shliqlarni (gap) aniqlash va Kano modeli orqali iste’molchi xulq-atvorini ierarxik modellashtirishni taklif etadi. Tadqiqot natijalari GPP standartlarini amaliyotga joriy etishda qaror qabul qilishning ilmiy asosi bo‘lib xizmat qiladi.*

Kalit so'zlar: *SERVQUAL, KANO modeli, xizmat ko'rsatish sifati, dorixona tashkilotlari, farmatsevtika marketingi, strategik sifat menejmenti.*

Аннотация*: В данном исследовании анализируются инновационные модели оптимизации качества фармацевтических услуг. Автор предлагает использование методологии SERVQUAL для выявления детерминированных разрывов (gap) в обслуживании и модели Кано для иерархического моделирования потребительского поведения. Результаты исследования служат научной основой для принятия решений при внедрении стандартов GPP в практику.*

Ключевые слова*: SERVQUAL, модель KANO, качество обслуживания, аптечные организации, фармацевтический маркетинг, стратегическое управление качеством.*

Abstract: *This research analyzes innovative models for optimizing the quality of pharmaceutical services. The author proposes using the SERVQUAL methodology to identify deterministic service gaps and*

the Kano model for hierarchical modeling of consumer behavior. The research results serve as a scientific basis for decision-making in the implementation of GPP (Good Pharmacy Practice) standards.

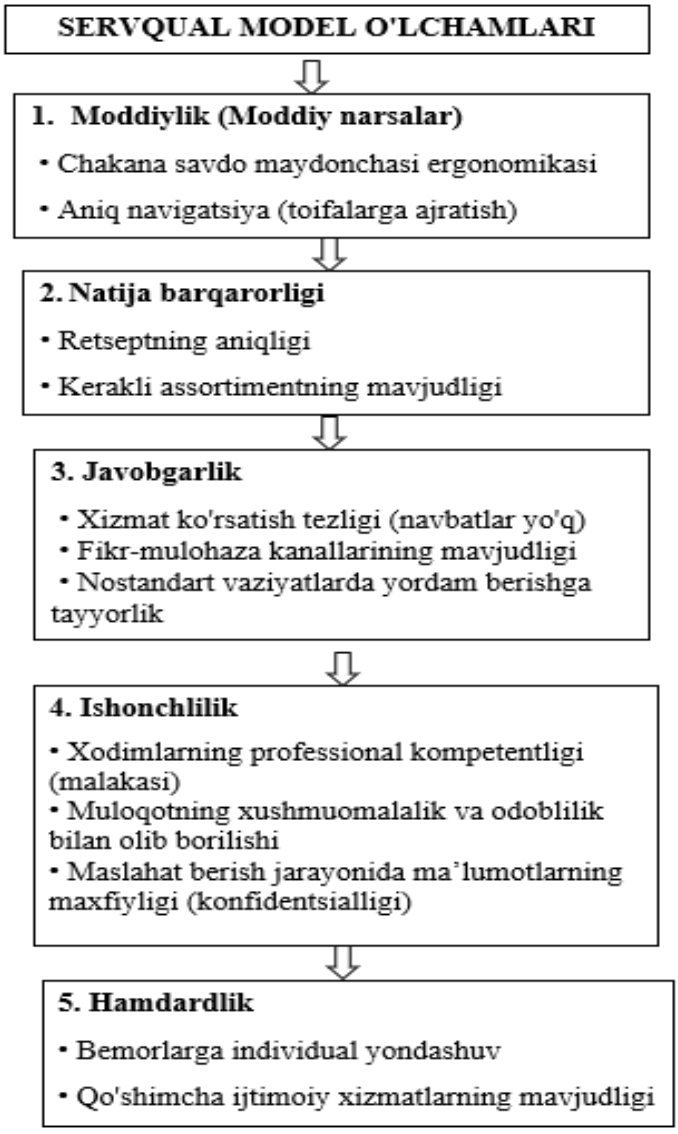
Keywords: *SERVQUAL, KANO model, service quality, pharmacy organizations, pharmaceutical marketing, strategic quality management.*

Kirish. Zamonaviy farmatsevtika menejmentida "sifat" tushunchasi faqat mahsulotning standartlarga muvofiqligi bilan emas, balki iste'molchining subyektiv qoniqish darajasi bilan o'lchanmoqda. O'zbekiston Respublikasida farmatsevtika sohasini isloh qilish sharoitida dorixonalar faoliyatini GPP talablariga moslashtirish dolzarb hisoblanadi.

Biroq, ko'plab dorixona tarmoqlarida sifatni boshqarish tizimi faqat texnik ko'rsatkichlarga tayanadi. Ushbu maqolada xizmat ko'rsatish sifatini o'lchashning ikki o'lchovli modelini (SERVQUAL va Kano) integratsiyalash orqali mijoz sadoqatini (customer loyalty) oshirish strategiyasi tadqiq etiladi.

Metodologiya. Dorixona xizmati sifatini baholashda SERVQUAL va Kano modellari bir-birini to'ldiruvchi eng kuchli metodologik vositalar hisoblanadi. GPP standartlari talablariga mos kelish uchun faqat dori sifati emas, balki xizmat ko'rsatish jarayoni ham mukammal bo'lishi shart.

SERVQUAL modelidan foydalangan holda xizmatlar sifatini baholash masalalari A. Parasuraman, V. Zeithaml va L. Berry [1] asarlarida chuqur o'rganilgan. Kano modelidan foydalangan holda iste'molchilarning afzalliklarini tasniflash N. Kanoning fundamental ishlariga asoslangan [2]. Farmatsevtika va sog'liqni saqlash sohalariga kelsak, xizmat ko'rsatish sifatining individual jihatlari E. A. Korjavix, A. I. Ovod [6] va E. V. Novatorov [5] asarlarida ko'rib chiqilgan. Biroq, dorixona tarmoqlarini strategik boshqarishning mahalliy amaliyotida SERVQUAL va KANO modellarini yagona gibrid metodologiya sifatida integratsiyalash kam o'rganilgan va korporativ SMT standartlarida joriy etish uchun aniq algoritmlarga ega emas. Tadqiqot ob'ekti dorixona tarmoqlarida xizmat ko'rsatish sifatini strategik boshqarish jarayonidir. Tadqiqot mavzusi SERVQUAL va KANO modellarini farmatsevtika yordami sifatini boshqarish tizimiga integratsiyalashning nazariy, metodologik va amaliy jihatlaridir.



1-rasm. SERVQUAL o'lchamlarini Yaxshi dorixona amaliyoti (GPP) standartlariga batafsil moslashtirish.

Tadqiqotning maqsadi dorixona tarmog'ida xizmat ko'rsatish sifatini baholash va doimiy ravishda yaxshilash uchun SERVQUAL va KANO modellariga asoslangan gibrid yondashuvni ishlab chiqish va ilmiy va metodologik jihatdan asoslashdan iborat. Ushbu maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalarni hal qilish kerak: SERVQUAL modelining klassik o'lchamlarini dorixona tarmog'ining o'ziga xos xususiyatlariga moslashtirish. Farmatsevtika xizmati parametrlarini Kano modeli toifalariga ko'ra tasniflash. Xizmat ko'rsatishni

yaxshilashga ustuvorlik berish uchun yechimlarning integratsiya matritsasini ishlab chiqish. Ishlab chiqilgan metodologiyani sifat menejmenti tizimida joriy etish algoritmini taklif qilish. dorixona tashkiloti.

Dorixona tarmog'ida samarali sifat menejmenti tizimini yaratish uchun SERVQUAL modelining beshta klassik o'lchamini farmatsevtika faoliyatining o'ziga xos xususiyatlariga moslashtirish kerak. Har bir o'lcham ma'lum parametrlarga (atributlarga) bo'linadi, ular keyinchalik Kano modeli yordamida tasniflanadi.

Dorixona chakana savdosi uchun SERVQUAL o'lchamlarini dekompozitsiya qilish [3] 1-rasmda keltirilgan.

SERVQUAL modeli xizmat sifatini mijozning kutganlari (E) va idroki (P) o'rtasidagi tafovut (Gap) orqali o'lchaydi:

$$\text{Sifat (SQ)}=P-E \quad (1)$$

KANO modeli xizmat ko'rsatish atributlarini mijozlar qoniqishiga ta'siriga qarab tasniflaydi:

Majburiy: Litsenziyalarning mavjudligi, saqlash shartlariga rioya qilish. Bularsiz mijoz juda norozi bo'ladi; agar ular mavjud bo'lsa, bu odatiy hol deb hisoblanadi.

Bir o'lchovli: Xizmat ko'rsatish tezligi. Bu ko'rsatkich qanchalik yuqori bo'lsa, qoniqish shunchalik yuqori bo'ladi.

Jozibador: Amaliy dasturlari, dorilarning o'zaro ta'siri bo'yicha bepul maslahatlar. Ma’lumki, mijoz xafa bo'lmaydi, lekin ularning mavjudligi sadoqatni sezilarli darajada oshiradi.

Befarq: Chek lentasining dizayni. Dorixona tanloviga ta'sir qilmaydi.

Natijalar va tahlil. SERVQUAL va KANO modellarining sintezi: Aniqlangan SERVQUAL atributlarining har biri Kano modelining funktsional va disfunktsional savollari nuqtai nazaridan sinovdan o'tkazildi. Bu bizga iste'molchilarning sifat haqidagi sub'ektiv tasavvurlarini uning ob'ektiv qiymati bilan bog'lash imkonini berdi.

Dorixona tarmog'ida SERVQUAL o'lchamlari yordamida "bo'shliqlar"ni baholash. Dorixona tarmog'ida integratsiyalashgan metodologiyadan foydalanish xizmat sifatini matematik o'lchash imkonini beradi. Quyida har bir o'lchov uchun integratsiyalashgan sifat indeksini hisoblash formulasi keltirilgan:

$$SQ = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(P_i - E_i) \quad (2)$$

Bu yerda P_i- atributi uchun o'rtacha idrok balli va E_i - o'rtacha kutish balli.

Dorixona tarmog'i uchun nafaqat xususiyat toifasini aniqlash, balki iste'molchiga raqamli ta'sirini hisoblash ham muhimdir. Qoniqish ballari (CS) va norozilik ballari (DS) qo'llaniladi:

$$CS = \frac{A+O}{A+O+M+I} \quad (3)$$

$$DS = \frac{O+M}{A+O+V+I} \quad (4)$$

Bu yerda: A — jozibadorlik, O — bir o'lchovli, M — majburiy, I — ahamiyatsiz xususiyatlar.

1-jadvalda asosiy o'lchamlar uchun hisoblangan ma'lumotlar ko'rsatilgan.

1-jadval

№	SERVQUAL o'lchovi	O'rtacha kutish balli (E)	O'rtacha idrok balli (P)	Bo'shliq hajmi (Gap)	KANO bo’yicha asosiy toifa
1	Moddiylik	4.60	4.45	-0.15	M / I
2	Natija barqarorligi	4.95	4.70	-0.25	M (majburiy)
3	Javobgarlik	4.80	3.85	-0.95	O (Bir o'lchovli)
4	Ishonchlilik	4.90	4.10	-0.80	O (Bir o'lchovli)
5	Hamdardlik	4.30	4.05	-0.25	A / I

Dorixona tarmog'i uchun amaliy parametrlar matritsasi Dorixona tarmog'i uchun 12 ta asosiy xizmat ko'rsatish parametrlarini o'rganish natijalari 2-jadvalda keltirilgan.

№	Xizmat ko'rsatish parametri	KANO kategoriyasi	Koeffitsient CS (Qoniqarli)	Koeffitsient DS (Qoniqarsiz)	Tafovut SERVQUAL Gap	Tarmoqning strategik qarori1
1	Majburiy mahsulot assortimentining mavjudligi	M (Majburiy)	0.12	-0.91	-0.15	Omborda mavjud bo'lmagan mahsulotlarni qat'iy audit qilish va avtomatik buyurtma berish
2	Xodimlar malakasi. (maslahat)	O (bir o‘lchamli	0.78	-0.82	-1.10	Kritik GAP. O'quv dasturlarini ishga tushirish kerak
3	Xizmat ko'rsatish tezligi (navbatlar)	O (bir o‘lchamli	0.65	-0.71	-0.85	Smena jadvalini optimallashtirish va ekspress kassalarni joriy etish
4	Xonada tozalik va navigatsiya	M (Majburiy)	0.10	-0.85	-0.05	Amaldagi merchandising standartlarini saqlab qolish
5	Mobil ilova (buyurtma/bron qilish)	A (Jozibadorlik)	0.84	-0.22	-0.90	O'sish maydoni. Tarmoq IT infratuzilmasiga investitsiyalar
6	Sadoqat dasturi (keshbek/chegirmalar)	O (bir o‘lchamli	0.61	-0.58	-0.40	Bonuslarni hisoblash shartlarini sozlash
7	Xususiy yorliqning mavjudligi	I (ahamiyatsiz)	0.15	-0.11	+0.20	Maxsus displey uchun xarajatlarni kamaytirish

Strategik amalga oshirish rejasi (yo'l xaritasi). Ushbu metodologiyani dorixona tarmog'ining GPP (Sifatni boshqarish tizimi) ga joriy etish uchun quyidagi protsedura taklif etiladi:

1. Choraklik monitoring (SERVQUAL):

– Cheklardagi QR kodlari va mobil ilova orqali reytinglarni to'plash.
– Tarmoqdagi eng katta salbiy farqga ega dorixona shoxobchalarini aniqlash (GAP < -1).

2. Qiymatlarning yillik auditi (KANO):

- Sadoqat dasturi ishtirokchilari o'rtasida so'rovnoma o'tkazish.
- Xususiyat toifalarini qayta baholash (chunki vaqt o'tishi bilan ilova orqali oldindan buyurtma berish kabi jozibador variantlar majburiy bo'lib qoladi).

3. Tarmoq byudjetini optimallashtirish:

- (I) (Ahamiyatsiz) toifasi va past (CS) parametrlariga investitsiyalarni muzlatish.
- Bo'shatilgan mablag'larni M (Majburiy) va O (Bir o'lchovli) toifalar parametrlaridagi bo'shliqlarni bartaraf etishga yo'naltirish.

Xulosa. Magistrlik tadqiqoti doirasida olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, dorixonalarda xizmat sifatini yaxshilash — bu shunchaki "yaxshi muomala" emas, balki matematik hisoblangan ehtiyojlarni boshqarish jarayonidir. SERVQUAL orqali mavjud kamchiliklarni diagnostika qilish va Kano modeli orqali kelajakdagi rivojlanish nuqtalarini belgilash dorixonaning barqaror iqtisodiy o‘sishini ta’minlaydi.

Adabiyotlar

[1]. Parasuraman A., Zeithaml V. A., Berry L. L. SERVQUAL: A multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality // Journal of Retailing. – 1988. – Vol. 64. – No. 1. – P. 12–40.

[2]. Kano N., Seraku N., Takahashi F., Tsuji S. Attractive quality and must-be quality // Journal of the Japanese Society for Quality Control. – 1984. – Vol. 14. – No. 2. – P. 39–48.

[3]. Chen M. C., Hsu C. L., Lee L. H. Service quality and customer satisfaction in pharmaceutical logistics: An analysis based on Kano model and importance-satisfaction model // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2019. – Vol. 16. – No. 21. – P. 4091.
[4]. Васильева Е. А. Оценка удовлетворенности клиентов в фармацевтической отрасли на примере аптечной сети // Вестник экономики, права и социологии. – 2021. – № 3. – С. 87–91.
[5]. Григорьев А. И., Новаторов Э. В. Особенности управления качеством услуг в организациях здравоохранения по методике SERVQUAL для измерения удовлетворенности пациентов // Маркетинг в России и за рубежом. – 2023. – № 2. – С. 45–54.
[6]. Овод А. И., Коржавых Э. А. Оценка качества фармацевтической помощи: теоретические и прикладные аспекты // Фармация. – 2022. – Т. 71. – № 4. – С. 31–38.
[7]. Dewi S. K. Service quality assessment using Servqual and Kano models // Jurnal Teknik Industri. – 2019. – Vol. 20. – No. 1. – P. 94–104.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭЛЕКТРОСВАРОЧНЫХ РАБОТ

И.Х. Домуладжанов, А.М. Тешабоев, Ш.И. Домуладжанова

Ферганский государственный технический университет
e-mail: domuladjanovi@mail.ru, i.x.domuladjanov@fdtu.uz, тел. +998905823221
(Получена 06.04.2026 г.)

Аннотация. *В статье «Техника безопасности при проведении электросварочных работ» рассматриваются основные требования и нормы охраны труда при выполнении электросварки. Особое внимание уделяется потенциальным опасностям, связанным с воздействием электрического тока, высокой температуры, ультрафиолетового излучения, а также выделением вредных газов и аэрозолей. Описываются правила подготовки рабочего места, использования средств индивидуальной защиты и проверки исправности оборудования перед началом работ. Также освещаются меры предотвращения аварийных ситуаций, требования к квалификации персонала и порядок действий в случае возникновения чрезвычайных происшествий. Материал направлен на снижение производственного травматизма и обеспечение безопасных условий труда при проведении электросварочных работ.*

Ключевые слова: *техника безопасности, электросварочные работы, излучения, опасность, температура, условия труда*

Annotasiya. *Maqolada elektr payvandlash jarayonida mehnatni muhofaza qilishning asosiy talablari va me’yorlari ko‘rib chiqiladi. Elektr toki ta’siri, yuqori harorat, ultrabinafsha nurlanish, shuningdek zararli gazlar va aerozollar ajralishi bilan bog‘liq potensial xavflarga alohida e’tibor qaratiladi. Ish joyini tayyorlash qoidalari, shaxsiy himoya vositalaridan foydalanish hamda ish boshlashdan oldin uskunalarning sozligini tekshirish masalalari bayon etiladi. Shuningdek, avariyaviy holatlarning oldini olish choralari, xodimlar malakasiga qo‘yiladigan talablar va favqulodda vaziyatlar yuzaga kelganda harakat qilish tartibi yoritiladi. Material ishlab chiqarishdagi jarohatlanishni kamaytirish va elektrosvarlash ishlarini bajarishda xavfsiz mehnat sharoitlarini ta’minlashga qaratilgan.*

Kalit so‘zlar: *xavfsizlik texnikasi, elektrosvarlash ishlari, nurlanish, xavf, harorat, mehnat sharoitlari*

Abstract. *The article “Safety Precautions for Electric Welding Operations” examines the main requirements and occupational safety standards for performing electric welding. Special attention is given to potential hazards associated with electric shock, high temperatures, ultraviolet radiation, as well as the release of harmful gases and aerosols. The rules for preparing the workplace, using personal protective equipment, and checking the serviceability of equipment before starting work are described. The article also highlights measures for preventing emergency situations, requirements for personnel qualifications, and procedures to follow in case of emergencies. The material is aimed at reducing workplace injuries and ensuring safe working conditions during electric welding operations.*

Keywords: *safety precautions, electric welding operations, radiation, hazard, temperature, working conditions*

При проведении электросварочных работ используется электрическая дуга, которая выделяют инфракрасные, ультрафиолетовые излучения. Появление этих излучений отрицательно влияют на глаз человека, а высокая температура может привести к получению ожога тела и горению одежды. Для того чтобы защитить от слепоты необходимо электросварщик должен работать в защитных костюмах, рукавицах и специальной обув [1-11].

К средствам индивидуальной защиты относятся специализированные устройства индивидуального пользования, предназначенные для защиты органов зрения, слуха, дыхания, головы, рук, ног и кожного покрова.

Согласно Основам законодательства РУз., на работах с вредными условиями труда, в особых температурных условиях, в загрязненной среде рабочим и служащим бесплатно выдаются спецодежда, спецобуви другие средства индивидуальной защиты. Перечень работ и профессий, дающих право на бесплатное получение СИЗ, составляется на основе отраслевых норм администрацией предприятий по согласованию с местными комитетами профсоюзов. Порядок выдачи, хранения и пользования СИЗ установлен инструкцией, утвержденной Госкомтруда РУз. и федерацией профсоюзом РУз. по согласованию с Министерства министров РУз.

Рабочие и служащие обязаны бережно относиться к СИЗ и своевременно ставить в известность администрацию предприятия о необходимости стирки, сушки, ремонта или замены этих средств.

Специальная одежда: комбинезоны, полукомбинезоны, куртки, брюки, костюмы, халаты, плащи, полушубки, тулупы, фартуки, жилеты, нарукавники (рис. 1).

Требования к специальной одежде сварщика: при работе электросварщик должен одевать спецодежду, в нем должны быть застегнуты все пуговицы, обув должен быть подобран по размеру. Брюки должны быть выпушены поверх обуви. Работать негорючей рукавице запрещается.

Для защиты глаз от излучений используются защитная маска со специальным затемненным стеклом. Свето-пропускаемость стекла не должна превышать 20%.

Рис. 1. Спецодежда.

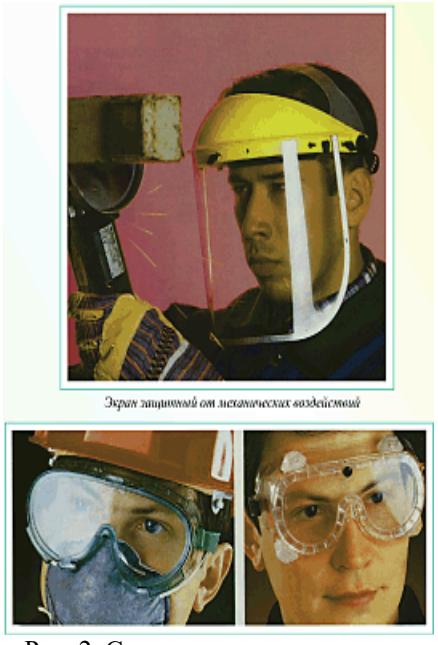


Рис. 2. Средства защиты головы и глаз.

Средства защиты головы: каски, шлемы, подшлемники, шапки, береты, шляпы. На рисунке 2 приводятся средства защиты головы и глаз

Рис. 3. Рукавицы, перчатки.

Рис.4. Спецобувь

Средства защиты рук: рукавицы, перчатки приводятся на рисунке 3.

Специальная обувь: сапоги, ботфорты, полу-сапоги, ботинки, полуботинки, туфли, галоши, боты, бахилы. На рисунке показана спецобувь (рис. 4.).

Перед работой должен проверить исправность и надежность включения электрических кабелей высокого напряжения и исправность изоляций на кабелях высокого и низкого напряжения. Места соединения кабелей низкого напряжения должны быть надежно изолированы, чтобы исключить возникновения короткого замыкания в ненужном, неконтролируемом месте. Проверить силу тока к держателю электрода. Также необходимо проверить надежность включения массы к свариваемой детали.

Требования к месту работы сварщика

Рабочие места сварщика должен быть чистым, вблизи места проведения сварочных работ не должны быть горючие материалы, ветоши, горючие жидкости и другие огнеопасные предметы.

При работе в особо опасных, взрывоопасных объектах сварщик должен иметь специальное разрешение на проведение огневых работ утвержденной руководителем предприятия с принятыми мерами безопасности.

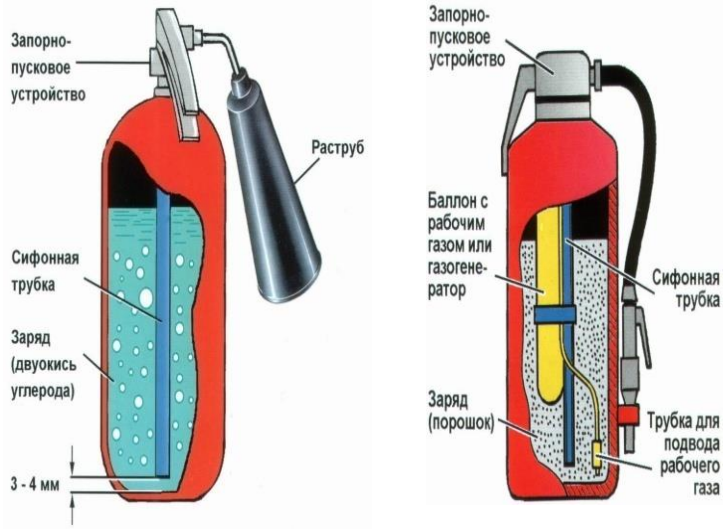


Рис. 5. Огнетушители ОУ-5 и ОП-5.

Место сварщика должно быть обеспечено огнетушителями (рис. 5).

В заключении можно сказать, что место сварщика и сам сварщик обеспечен всеми защитными средствами, для безопасной работы, то есть выполнения сварочных работ.

Список литературы

[1]. Крупинин А.Е., Колпаков А.В. Продление ресурса режущих аппаратов уборочных машин // Сельский механизатор. – 2013. №4.- С.36-38.

[2]. Ф.Р.Норхуджаев, Д.М.Эргашев, А.М. Тешабоев. Упрочненение режущих сегментов аппаратов уборочных машин // Композиционные материалы. 2021. - №2. – с.92-93.

[3]. Ф.Р.Норхуджаев, А.А.Мухамедов, Д.М.Эргашев, Р.Ф Норхужаева, А.М. Тешабоев. Влияние режимов термоциклическая обработка на структурообразование инструменталъных сталях // Композиционные материалы. 2021. - №1. – с.75-77.

[4]. Norkhudjaev.F.R., Juraev M.A., Muminova.D.S., TeshaboyevA.M. Development Technology for Increasing Durability and Longevity of Soil-processing Working Bodies // International Journal of Advanced Science and Technology Vol 29.No.7.[2020] pp.9285-9291.

[5]. Domuladjanova Shahlo. Problems of industrial waste disposal in the Fergana region. E3S Web Conf., 431 (2023) 04013. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343104013 https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/68/e3sconf_itse2023_04013/e3sconf_itse2023_04013 html, https://www.scopus.com/sourceid/21100795900

[6]. Ibragimjon Domuladjanov, Odiljon Ibragimov, Shahlo Domuladjonova. The Especially Hazardous Pesticides in Uzbekistan. **Journal of Survey in Fisheries Sciences (JSFS)** with **EISSN:**7487-2368 . Your article will be published in the forthcoming **special Issue** 2023. p.2023 – 2072. Link: http://sifisheriessciences.com/page/21/. https://www.scopus.com/sourceid/21100905326#tabs=2. https://mjl.clarivate.com/search-results?issn=2368-7487. https://sifisheriessciences.com/journal/index.php/journal/article/view/783

[7]. Ibragimov Odiljon Olimjanovich, Domuladjanov Ibragimjon Xadjimuxamedovich. On The Issue of Growing Agricultural Grops. Neuroquantology | otober 2022 | Volume 20 | Issue 12 | Page 3051-3057 | DOI: 10.14704/NQ.20.12.NQ77304. https://www.neuroquantology.com/article.php?id=8928 https://www.scopus.com/sourceid/11600154151?dgcid=sc_widget_citescore

[8]. Domuladjanov Ibragimjov Xadjimuxamedovch, Latipova Mukhayo Ibragimjanovna, Nasretdinova Feruza Nabiyevna. Geomorphology relief, geological building in the development of "Project of environmental standards". EPRA International Journal of (IJRD)Monthly Peer Reviewed & Indexed International Online Journal ISI I.F. Value : 1.241 Published By EPRA Publishing, Volume: 5, Issue:6, June 2020. – 136-139.

[9]. Ramazonovich, N.F., Anvarovich, M.A., Marifovich, T.A., Muminaliyevich, U.J., Toshpulatovich, P.S. Resource-saving manufacturing technologies and thermal hardening of machine parts and tool. International Journal of Mechatronics and Applied MechanicsЭта ссылка отключена., 2021, 1(9), страницы 137–145

[10]. Norkhudjayev, F.R., Mukhamedov, A.A., Nabiyev, B.N., Khodjimukhamedova, M.M., Teshaboyev, A.M. MECHANICAL CHARACTERISTICS OF POWDERED ALUMINUM BRONZE OBTAINED FROM METALLURGICAL WASTE. International Journal of Mechatronics and Applied MechanicsЭта ссылка отключена., 2022, 2022(11), страницы 95–97

[11]. Teshaboyev, A., Rubidinov, S., Tursunov, S., Madaminov, B. Processing of cutting parts of agricultural machinery. E3S Web of ConferencesЭта ссылка отключена., 2023, 462, 01034

MOTIVATION MANAGEMENT IN FOREIGN LANGUAGE LEARNING

M. Shamsutdynova, Lebedyuk T. Shamsutdynova, B.F. Shamsutdinov

Fergana State Technical University,
(Received on April 6 th, 2026)

Abstract. *Motivation plays a crucial role in the process of foreign language learning, influencing learners' engagement, persistence, and overall achievement. This paper examines the concept of motivation management and its impact on language acquisition. It explores different types of motivation, including intrinsic and extrinsic factors, and analyzes how teachers can effectively support and sustain learners' motivation in educational settings. The study highlights practical strategies such as goal setting, creating a supportive learning environment, and using interactive teaching methods. Furthermore, it emphasizes the importance of individual differences among learners and the need for adaptive approaches in motivation management. The findings suggest that well-structured motivational strategies significantly enhance learners' performance and contribute to long-term success in foreign language learning.*

Kew words: *motivation, foreign language, teaching, central problems, perfomance*

Аннотация. *Мотивация играет ключевую роль в процессе изучения иностранного языка, влияя на вовлечённость учащихся, их настойчивость и общие учебные достижения. В данной работе рассматривается понятие управления мотивацией и его влияние на усвоение языка. Анализируются различные виды мотивации, включая внутренние и внешние факторы, а также исследуется, каким образом преподаватели могут эффективно поддерживать и развивать мотивацию обучающихся в образовательной среде. В исследовании выделяются практические стратегии, такие как постановка целей, создание благоприятной учебной атмосферы и использование интерактивных методов обучения. Кроме того, подчёркивается важность индивидуальных различий между учащимися и необходимость адаптивных подходов к управлению мотивацией. Полученные*

результаты показывают, что грамотно выстроенные мотивационные стратегии значительно повышают успеваемость учащихся и способствуют долгосрочному успеху в изучении иностранного языка.

Ключевые слова: *мотивация, иностранный язык, обучение, центральные проблемы, успеваемость*

Anotatsiya. *Motivatsiya chet tilini o‘rganish jarayonida muhim rol o‘ynaydi, u o‘quvchilarning faolligi, qat’iyati va umumiy o‘quv natijalariga ta’sir ko‘rsatadi. Ushbu maqolada motivatsiyani boshqarish tushunchasi va uning tilni o‘zlashtirishga ta’siri ko‘rib chiqiladi. Unda motivatsiyaning turli turlari, jumladan ichki va tashqi omillar o‘rganiladi hamda o‘qituvchilar ta’lim jarayonida o‘quvchilarning motivatsiyasini qanday samarali qo‘llab-quvvatlashi va saqlab turishi mumkinligi tahlil qilinadi. Tadqiqotda maqsad qo‘yish, qo‘llab-quvvatlovchi o‘quv muhitini yaratish va interaktiv o‘qitish usullaridan foydalanish kabi amaliy strategiyalar yoritilgan. Bundan tashqari, o‘quvchilar o‘rtasidagi individual farqlarning ahamiyati va motivatsiyani boshqarishda moslashuvchan yondashuvlar zarurligi ta’kidlanadi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, puxta ishlab chiqilgan motivatsion strategiyalar o‘quvchilarning natijadorligini sezilarli darajada oshiradi va chet tilini o‘rganishda uzoq muddatli muvaffaqiyatga hissa qo‘shadi.*

Kalit so‘zlar: *motivatsiya, chet tili, o‘qitish, asosiy muammolar, natijadorlik*

Introduction

Motivation management in foreign language learning is one of the central problems of teaching methods in foreign language schools. A foreign language as a subject has a number of specific features, one of which is mastering foreign languages by teaching the ability to communicate in foreign languages. Unfortunately, at the moment, teaching foreign languages is mainly of an artificial and educational nature due to the lack of a “natural need” for communication in foreign languages among schoolchildren.

In this regard, the teacher faces the task of creating an environment of foreign language speech communication in the process of language learning that is as close as possible to natural conditions.

The most important factor stimulating the process of foreign language speech communication should be considered the motivation for learning foreign languages.

In recent years, this problem has been studied within the framework of the activity-based approach to learning developed by Eccles, J. S., Wigfield, A., Shamsutdynova M.-S. and others.

Main text.

An analysis of the existing domestic and Western literature showed the following. At the moment, there is no consensus or unambiguous solution to this problem, namely, what is motivation in general and motivation of educational activity in particular.

According to Dörnyei, "a motive is what explains the nature of a given speech act, while a communicative intention expresses what communicative goal the speaker pursues when planning one or another form of influence on the listener." [1]

In the field of teaching foreign languages, psychological issues of motivation are addressed in the works of Dörnyei, Z., Ushioda, E. and others.

In foreign literature, much attention is also paid to the role of motivation, called "Motor" and "Key-word" by foreign authors in teaching foreign languages.

Numerous experiments have shown that during one academic year, the attitude of students to various types of speech activity in foreign languages can change dramatically in the negative or positive direction. This, in turn, depends on the teacher's style of work (constant use of only one textbook, monotonous types of exercises weakens positive emotions, the student turns into a passive observer), on the teaching and methodological kit, on the learning results, etc. Thus, Ushioda, E. experiment showed that the higher the academic performance in foreign languages, the deeper in the student's subconscious the positive attitude towards learning foreign languages [1]. And vice versa, low academic performance strongly correlates with a negative cognitive, mnemonic, communicative attitude. A positive attitude towards learning foreign languages contributes to improving the results of mastering speech activity. [2]

For the optimal organization of cognitive and speech activities, it is essential to understand the types of motivation. Learning motivation can be determined by external (narrowly personal) motives and internal motives. [3]

External motives are not related to the content of the educational material: the sense of duty or obligation (broad social motives), the motive of evaluation, personal well-being (narrow social motives), and the lack of desire to learn (negative motives). Internal motives, on the other hand, are related to the content of the educational material: motives for cognitive activity, interest in the content of learning (cognitive motives), motives for mastering general methods of action, and identifying cause-and-effect relationships in the studied material (educational-cognitive motives).

According to Elliot, A. and McGregor, H., interest in the process of learning foreign languages is based on internal motives, which stem from the foreign language activity itself. Therefore, in order to maintain interest in the subject, a foreign language teacher should develop internal motives in students. [3]

The teacher faces a number of tasks, the main ones being the use of interpersonal relationships and the creation of emotional well-being, which in turn will ensure the increased effectiveness of foreign language communication training.

Since motivation is a multifaceted phenomenon, it should include a whole range of means to sustain it. In the system of foreign language teaching, as a foreign language culture, the primary importance lies in the means of sustaining motivation for cognitive, developmental, and educational activities, which ultimately lead to the formation of communicative motivation in those learning foreign languages.

In the overall structure of motivation, the dominant element is the primary motive that determines educational activity and shapes the attitude towards it. This is the cognitive motive, as it is based on a constant desire for knowledge; it is also connected to the content and organizational aspects of the educational activity itself.

During the educational process, specific emerging motives also come into play, guiding the setting, acceptance, and resolution of individual tasks to achieve specific goals in learning foreign language communication.

Cognitive motives in mastering foreign languages are differentiated as follows: interest in the foreign language as such contributes to the formation of motives for analyzing linguistic phenomena, engaging in various activities with the foreign language in terms of form and content, and developing linguistic thinking. The possibility of using the foreign language as a means of exchanging information, acquiring knowledge, studying the culture, history, development, and reality of the country of the studied language, and broadening one's horizons forms a motive for relating to the foreign language as a necessary means of cognitive activity.

Since learning foreign language communication occurs through communication, which is a highly personal process involving the exchange of ideas, interests, and the transmission of character traits, considering students' personal qualities is of paramount importance in communicative teaching. Without considering these factors, students' speech actions become detached from their real feelings, thoughts, and interests, losing the source that fuels their speech activity.

It is precisely the consideration of personal qualities that leads to the emergence of situational communicative motivation, ensuring students' proactive participation in educational or real communication.

From the vast array of personal qualities, the traditional approach to personal individualization, which fosters communicative motivation, suggests considering six methodologically significant personal qualities of the student: the context of activity; personal experience; the sphere of desires, interests, and inclinations; the emotional-sensory sphere; worldview; and the student's status within the group. All of these factors encourage students to learn.

Summary and conclusions.

Success in mastering foreign languages in its cognitive function contributes to the development of linguistic intuition; the satisfaction of cognitive motives during the study of a

foreign language forms a stable motivation for continuous work with it; the use of foreign languages to obtain specific information (reading magazines, newspapers, dictionaries, etc.) makes the language indispensable in the learner's cognitive activity. At the same time, the foreign language itself enhances the overall cognitive activity of learners, thereby increasing their motivation to study the language.

The use of cultural materials in the educational process for foreign languages creates conditions that motivate the learning process and also contributes to the deepening and expansion of students' cognitive activities.

References

[1]. Dörnyei, Z., & Ushioda, E. (Eds.). (2013). Teaching and researching motivation (2nd ed.). Routledge.
[2]. Eccles, J. S., & Wigfield, A. (2002). Motivational beliefs, values, and goals. Annual Review of Psychology, 53(1), 109-132. doi: 10.1146/annurev.psych.53.100901.135153.
[3]. Elliot, A., McGregor, H., Gable, S. (1999) Achievement goals, study strategies, and exam performance: A mediational analysis. J Educ Psychol. ;91(3):549–563.
[4]. Шамсутдинова, М.-С. (2024). Вплив цінностей на формування лінгвокультурних компетентностей у майбутніх фахівців іноземної мови. Інноватика у вихованні, 1, 202–209. https://doi.org/10.35619/iiu.v1i19.625

THE IMPORTANCE OF MATHEMATICAL MODELS IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS

N.B. Abbasova

Fergana State Technical University,
nafisabbasova94@gmail.com
ORCID: 0009-0002-4017-8594
(Received on April 6 th, 2026)

Abstract. *This article analyzes the importance of mathematical models in artificial intelligence systems and their practical applications. It demonstrates how mathematics serves as a fundamental tool in machine learning, neural networks, optimization, and statistical analysis processes. In addition, the role of mathematical methods in improving the efficiency of artificial intelligence algorithms is discussed.*

Keywords: *artificial intelligence, mathematical model, neural network, algorithm, machine learning, statistics, optimization.*

Аннотация. *В данной статье анализируется значение математических моделей в системах искусственного интеллекта и их практическое применение. Показано, что математика служит фундаментальным инструментом в процессах машинного обучения, нейронных сетей, оптимизации и статистического анализа. Кроме того, рассматривается роль математических методов в повышении эффективности алгоритмов искусственного интеллекта.*

Ключевые слова: *искусственный интеллект, математическая модель, нейронная сеть, алгоритм, машинное обучение, статистика, оптимизация.*

Annotatsiya. *Ushbu maqolada sun’iy intellekt tizimlarida matematik modellarning ahamiyati va ularning amaliy qo‘llanilishi tahlil qilinadi. Matematikaning mashinali o‘qitish, neyron tarmoqlar, optimallashtirish va statistik tahlil jarayonlarida asosiy vosita sifatida xizmat qilishi ko‘rsatib berilgan. Shuningdek, sun’iy intellekt algoritmlarining samaradorligini oshirishda matematik usullarning o‘rni yoritilgan.*

Kalit so‘zlar: *sun’iy intellekt, matematik model, neyron tarmoq, algoritm, mashinali o‘qitish, statistika, optimallashtirish.*

Introduction. In recent years, artificial intelligence technologies have been developing rapidly and are being widely introduced into various fields of human activity. The use of artificial intelligence in medicine, industry, education, transportation, and information technology helps increase efficiency and productivity. Mathematical models play a significant role in the creation and development of such systems. Artificial intelligence is mainly based on data analysis, decision-

making, and prediction processes. To implement these processes, branches of mathematics such as probability theory, mathematical analysis, linear algebra, and statistics are widely used.

1. The Relationship Between Artificial Intelligence and Mathematics

Artificial intelligence is a technology that models human thinking processes using computers. Its operating mechanism is based on mathematical algorithms. In particular, matrices, vectors, and functions play an essential role in neural network operations.

The simplest neural network model can be expressed by the following formula:

$$y = f\left(\sum_{i=1}^{n} w_i x_i + b\right)$$

Where:

1. $x\,i - input\ data;$
2. $wi - weight\ coefficients;$
3. ;
4. ;
5. .

This mathematical model ensures data processing and decision-making operations.

2.The Importance of Statistics in Machine Learning

Machine learning algorithms are based on analyzing large amounts of data. Statistical analysis plays a key role in this process. By analyzing datasets, artificial intelligence systems identify patterns and make predictions.

For example, the formula for calculating the arithmetic mean is:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$$

This formula is considered one of the fundamental statistical indicators in data analysis.

3. Optimization Algorithms

Optimization methods are used in artificial intelligence systems to achieve accurate and fast results. In particular, the Gradient Descent algorithm is widely used in training neural networks.

The general form of optimization is:

$\theta_{new} = \theta_{old} - \alpha\nabla J(\theta)$

Where:

- — parameters;
- — learning rate;
-) — gradient of the loss function.

Through this method, the system gradually reduces errors. In artificial intelligence, large volumes of data are processed in matrix form. Matrices help accelerate computational processes and improve efficiency.

Matrices are important in the following fields:

- computer vision;
- speech recognition;
- natural language processing;
- robotics.

In particular, Deep Learning technologies are based on matrix computations.

4. Discussion

The analysis shows that the development of artificial intelligence systems is directly connected with the advancement of mathematics. Mathematical models ensure the accuracy and

speed of algorithms. Furthermore, the importance of mathematics is increasing in the process of handling large datasets.

In modern AI technologies, the combination of computational power and mathematical methods makes it possible to achieve high efficiency.

Conclusion

Mathematical models occupy a central place in artificial intelligence systems. The effective use of mathematical methods in neural networks, machine learning, and optimization processes improves the accuracy and reliability of systems. In the future, as artificial intelligence technologies continue to develop, the importance of mathematics will increase even further.

References

[1]. Искусственный интеллект: современный подход / Стюарт Рассел, Питер Норвиг. — Москва: Вильямс, 2022.
[2]. Математические основы искусственного интеллекта / Под ред. В. А. Тарасова. — Москва: Инфра-М, 2021.
[3]. Pattern Recognition and Machine Learning — Bishop C.
[4]. Neural Networks and Learning Machines — Haykin S.
[5]. Advanced mathematics and artificial intelligence scientific journals and publications.

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.ferstu.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: 04.05.2026 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.