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 № 4

НАУЧНО–ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ФГТУ

SCIENTIFIC –TECHNICAL JOURNAL of FSTU

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. Сиддиқов 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., к.х.ф.д. проф. – ФДТУ
4. Омонов Т.С., ф.-м.ф.д., проф. – Альберта Универ, Канада
5. Хамдамова Ш.Ш., т.ф.д. – ООТМХИ
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

МЕХАНИКА

Kasimov B.M. Mikrosharchalar oqimi orqali ishlov berish jarayonida titan va nikel qotishmalari sirt g‘adir-budurligini texnologik omillar asosida modellashtirish 9

Rahmanov R.R., Kenjaboyev Sh.Sh., Saidmaxamadov N.M., Akramov M.M., Yuldashev U.O. O‘rta chastotali induksion pech futerovkasini optimal loyihash 15

Umurzaqov A.X., Oqyo‘lov K.R. Vibratsion saralash mashinasining quvvatini optimal qiymatini aniqlash 20

Сулаймонов Р.Ш., Шухратов Ш.Ш. Такомиллаштирилган колосникли панжарани УХК агрегати самарадорлигига таъсири 24

Eshonov R.M., Oripov N.M. Paxta tozalash mashinasini takomillashtirishning nazariy tahlili 30

Usmonov A.I. Tuproqqa ishlov berish mashinalari ishchi organlarining yeyilish jarayoniga tuproqning mexanik xususiyatlari va ish sharoitlari ta’sirining tahlili 36

Abdullayev Sh.A. Payvandlash jihozlaridan foydalanishda xafvsizlik talablari 40

Qirg‘izaliyev N.X. Truba prokatlash stanini vtulkalarini termik ishlov berish orqali resursini oshirish usullari 44

Kurabanov N., Qoraboyev E., Djurayev Sh. Vibratsion quritish qurilmasining konstruksiyasini takomillashtirish va oziq-ovqat mahsulotlari hamda mineral o‘g‘itlarni quritish jarayoniga texnologik parametrlarning ta’sirini tadqiq etish 47

Abduvaxidov M.M., Mirjalolzoda Bobirmirzo,Umarov A.A. Texnologik mashinalarning qayishuvchan taxlamli ishchi organlarining kesimlar deplanatsiyasini hisobga olgan holda buralish tebranishlari 51

ҚУРИЛИШ

Umarov Sh.A., Abdug‘ofurov U.A. Kompozit va po‘lat armaturalarni fizik-mexanik xossalarini taqqoslash 57

Atakulov D.E., Jumabayeva D.A., Daryo o‘zanidagi jarayonlarni baholashda Geoaxborot tizimlari texnologiyalari 62

Maxsimov K.I., Abdunazarov A.A., Abdug‘ofurov U.A. Sho’rlangan gruntlarda ko’p qavatli turar joy binolari zamin va poydevorlarini loyixalash va qurishning ayrim xususiyatlari 69

Solijonov H.S., Sharipov I.Q. Qurilishda issiqlik izolyatsiya materiallarining ahamiyati 75

Akramov X.A., Davlyatov Sh.M., G‘ulomov D.G‘. Ko‘p qavatli temirbeton karkasli binolarda to‘suvchi va bo‘luvchi gazobeton devorlarni yordamchi metall ustunlar (faxverklar) orqali mahkamlash yechimlari va seysmik tahlili 83

Sodiqov M.U. Isitish qurilmasining avtomatik boshqaruv modeli va raqamli model natijalarini taqqoslash 87

ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Yusupov D.T., Yusupova F.T. Qishloq xo‘jaligida shamol potensialidan foydalanish: issiqxona misolida 94

Badalova D.A., Nazirova H.Z., Yembergenova K.B., Auezbaeva F.T. Energetik tekshiruv ob’ektining umumiy xarakteristikalari 101

Xaqiqov A.U. Quyosh fotoelektr stantsiyalarining invertor tizimlariga iqlim sharoitlarining ta’sirini tahlil qilish va ularning samaradorligini oshirish yo‘llari 106

Tovbayev A.N., Tog‘ayev I.B. Tojlanish holatini aniqlash va miqdoriy baholashda yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyasida diagnostika usullarini qo‘llash 113

Soliyev B.G‘. Issiqlik elektr stansiyalarida quruq tipdagi suv sovitish minorasidan foydalanish samaradorligini baholash 118

Payzullaxonov M.S., Parpiev O.R., Nodirmatov E.Z., Giyasova F.A., Suvonova L.S., Turopova S.U., Kuchkarov A.A., Yusupaliyev J.V. Vodorodni metallarda saqlash texnologiyasi 123

Muxammadjonov M.Sh. Ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorlarida issiqlik tarqalish jarayonini raqamli modellashtirish 130

ЭЛЕКТРОН ҚУРИЛМАЛАР ВА АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Otaqulov O.X., Sobirov M.M., Solijonov A.N. Kadrlar boshqaruvida HRM va HRIS tizimlarining tuzilishi va ishlash mexanizmi 134

Abdulxamidov A.A., Nuraliyeva Z.A. Quyosh panellari yuzasidagi chang qatlami darajasini aniqlash va ularni tozalashning avtomatlashtirilgan tizimini ishlab chiqish 140

Rayimdjonova O.S., Yuldashev E.A. Yuqori kuchlanishli transformatorlarning issiqlikdan himoya tizimlarida infraqizil harorat datchigidan foydalanish 146

МУНДАРИЖА

Rayimdjanova O.S., Madaminov M.R. Chiziqli siljishlarning optoelektron o‘zgartirgichi 152

КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯ ВА ЭКОЛОГИЯ

Jabborov I.T. Quritish jarayonida issiqlik va massa almashinuv modellari yordamida oziq-ovqat mahsulotlarini saqlash muddatini uzaytirish va xavfsizlik xavfini minimallashtirish 159

Jabborov T.K., Kurbanov N.M., Jabborov I.T., Siddikov M.Z. Oziq-ovqat mahsulotlarini konvektiv quritishda issiqlik-massa o‘tkazishni tahlil qilish va energiya samarador innovatsion kimyoviy-texnologik quritish usullarini takomillashtirish 167

Qosimov D.M., Tojimamatova M.Y., Xoshimov I.E. Yuvib kuydirilangan konsentratini sulfat va fosfat kislotalari aralashmasi bilan qayta ishlash orqali olingan suspendirlangan suyuq NPK-o‘g‘itlarining tarkibi va reologik xususiyatlari 170

Салиханова Д.С., Исмоилова М.А., Чориева И.Й., Тоирова М.С., Кадирова Н.Б. Қайта қизиган мойларни тозалаш технологияси 176

Yusupov I.U., Hakimov F.Sh. Natriy-olturgutli batareyalarda politetrafloroetilen asosidagi katodni ishlatilishi ... 181

ИЖТИМОИЙ-ИҚТИСОДИЙ ФАНЛАР

Mamatov A. Zamonaviy tibbiyotda laborator tahlil va funksional diagnostika usullari uchun metrologik ta'minlashning ahamiyati 186

Rustamova M.M. Zamonaviy mehnat bozori rivojlanishi sharoitida keramika sanoati korxonalarining marketing va ta'minot tizimini takomillashtirish 190

Zakirova Z.T. Zamonaviy axborot texnologiyalaridan foydalangan holda operatsion faoliyatni boshqarish 193

Teshebayeva L.R. Fonemaning xarakteristik xususiyatlari va fonemik tahlil usullari 197

Tajibayev G‘.Sh., Jurayeva M.B. Qurilish muhandisligi talabalarining nutqiy kompetensiyani kollaborativ yondashuv asosida rivojlantirish metodikasi 203

ҚИСҚА ХАБАРЛАР

Axmadaliyev J.A. Bir o‘lchamli Izing modelida o‘zaro ta’sirlar bilan boshqariladigan siklik issiqlik mashinasining ish unumdorligi va samaradorligi 208

Tuychibayev B.K. O‘z-o‘zidan shakllanuvchi niqob orqali ion-nurli yeydirish usulida yarimo‘tkazgich mikro- va nanostrukturalarini olish 210

Akramov B.O. Yarimo‘tkazgichli termojuftlarda issiqlik va elektr o‘tkazuvchanlik jarayonlarini nazariy tadqiq etish 212

Tuychibayev B.K., Shachnev V. Energiyani simsiz uzatish 216

Sultanov N.A., Madraximov M.M. n-sno$_2$/p-si tuzilmalarda fotolyuminessensiya hamda yaqin IK yutilishning qiyosiy ilmiy tahlili 218

Sayitjonova M.T. Kompleks sonlarning texnika va fizika masalalaridagi qo‘llanilishi 220

Djalilova T.A. Qattiq yuzadan ideal sigirilmaydigan suyuqlikning aks etishi 224

Orzimatov J.T., Davronova D.M. Yomg‘ir kanalizatsiya tarmoqlarining gidravlik hisobi 227

Tuxtayev F.I., Badalova D.A. Qozonxonalarda issiqlik almashinuvi jarayonlarini intensifikatsiya qilish va energiya samaradorligini oshirish 229

Odilov S.S. Melioratsiya tizimlarida tik quduq nasoslarining ekspluatatsion holati va tahlili 232

Karimov N.U. Transformatorlarda qisqa tutashuv jarayonlarini tahlil qilish va kamaytirish choralari 236

Mirzayev S.M. Tunnel shaklidagi quyosh quritish qurilmasida nasadkali absorberning issiqlik jarayonlari va samaradorlik ko‘rsatkichlariga ta’siri 238

Хурмаматов А.М., Мўминов Ж.А., Жураев В.Н. Ҳаволи совитиш қурилмаларининг нефть-газ ва кимё саноатида қўлланилиши 241

Курбанов Н.М., Худайбердиев А.А., Нишонов Ў.Р. Мева ва қуритилган маҳсулотларнинг асосий биокимёвий, физикавий ва иссиқлик-физикавий хусусиятлари кўрсаткичларини аниқлаш учун аналитик боғлиқликлар 244

Ashurmatova N.A. O‘zbek raqamli mediasida tildan foydalanishning zamonaviy tendensiyalari 246

Sayidov Sh.X. Ijtimoiy guruhlar va jinoyat dunyosi vakillari nutqidagi asosiy farqlar 249

Batirova R.B., Quchqarova M.M. Zamonaviy fizika nazariyasini o‘qitishda raqamli texnologiyalarning ro’li 253

Муаллифлар диққатига ! 256

СОДЕРЖАНИЕ

МЕХАНИКА

Касимов Б.М. Моделирование параметров шероховатости поверхности титановых и никелевых сплавов на основе технологических факторов при обработке потоком микрошариков 9
Рахманов Р.Р., Кенжабоев Ш.Ш., Саидмахамадов Н.М., Акрамов М.М., Юлдашев У.О. Оптимальное проектирование футеровки индукционной печи средней частоты 15
Умурзаков А.Х., Окйулов К.Р. Определение оптимального значения мощности вибрационной сортировочной машины 20
Сулейманов Р.Ш., Шухратов Ш.Ш. Влияние усовершенствованной колосниковой сетки на эффективность энергоблока UXK 24
Ешонов Р.М., Орипов Н.М. Теоретический анализ усовершенствования хлопкоочистительной машины 30
Усмонов А.И. Анализ влияния механических свойств почвы и условий эксплуатации на процесс износа рабочих органов почвообрабатывающих машин 36
Абдуллаева Ш.А. Требования безопасности при эксплуатации сварочного оборудования 40
Киргизалиев Н.Х. Способы повышения ресурса втулок трубопрокатного стана путем термической обработки 44
Курабанов Н., Қорабоев Э., Джураев Ш. Совершенствование конструкции вибросушительного устройства и исследование влияния технологических параметров на процесс сушки пищевых продуктов и минеральных удобрений 47
Абдувахидов М.М., Миржалолзода Бобирмирзо, Умаров А.А. Крутильные колебания гибких пакетных рабочих органов технологических машин с учётом депланации сечений 51

СТРОИТЕЛЬСТВО

Умаров Ш.А., Абдугафуров У.А. Сравнительный анализ физико-механических свойств композитной и стальной арматуры 57
Атакулов Д.Е., Жумабаева Д.А., Геоинформационные технологии в оценке процессов русловой динамики реки 62
Махсимов К.И., Абдуназаров А.А., Абдугафуров У.А. Некоторые особенности проектирования и строительства оснований и фундаментов многоэтажных жилых зданий на засоленных грунтах 69
Солижонов Х.С., Шарипов И.К. Значение теплоизоляционных материалов в строительстве 75
Акрамов Х.А., Давлятов Ш.М., Гулямов Д.Г. Решения по креплению ограждающих и перегородочных газобетонных стен в многоэтажных железобетонных каркасных зданиях с использованием вспомогательных металлических стоек (фахверков) и их сейсмический анализ 83
Содиков М.У. Модель автоматического управления системой отопления и сравнение результатов с данными цифрового моделирования 87

ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Юсупов Д.Т., Юсупова Ф.Т. Использование ветрового потенциала в сельском хозяйстве: на примере теплицы 94
Бадалова Д.А., Назирова Х.З., Йембергенова К.Б., Ауезбаева Ф.Т. Общая характеристика объекта энергетического обследования 101
Хакиков А.У. Анализ влияния климатических условий на инверторные системы солнечных фотоэлектрических станций и пути повышения их эффективности 106
Товбаев А.Н., Тогаев И.Б. Применение методов диагностики на высоковольтных воздушных линиях электропередачи для выявления и количественной оценки состояния коронного разряда 113
Солиев Б.Г. Оценка эффективности использования сухой градирни на тепловых электростанциях 118
Пайзуллаханов М.С., Парпиев О.Р., Нодирматов Э.З., Гиясова Ф.А., Сувонова Л.С., Туропова С.У., Кучкаров А.А., Юсупалиев Ж.В. Технология хранения водорода металлах 123
Мухаммаджонов М.Ш. Цифровое моделирование процесса теплопроводности в масляных силовых трансформаторах в эксплуатации 130

ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Отакулов О.Х., Собиров М.М., Солижонов А.Н. Структура и механизм работы систем HRM и HRIS в управлении персоналом 134
Абдулхамидов А.А., Нуралиева З.А. Разработка автоматизированной системы определения уровня пылевого слоя на поверхности солнечных панелей и их очистки 140
Райимджанова О.С., Юлдашев Э.А. Применение инфракрасного датчика температуры в системах тепловой защиты высоковольтных трансформаторов 146

СОДЕРЖАНИЕ

Райимджанова О.С., Мадаминов М.Р. Оптоэлектронный преобразователь линейных перемещений 152

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

Жабборов И.Т. Продление срока хранения пищевых продуктов и минимизация рисков для безопасности с помощью тепломассообменных моделей в процессе сушки 159

Жабборов Т.К., Курбанов Н.М., Жабборов И.Т., Сиддиков М.З. Анализ тепло-массопередачи при конвективной сушке пищевых продуктов и совершенствование энергоэффективных инновационных химико- технологических методов сушки 167

Косимов Д.М., Тожимамтова М.Ё., Хошимов И.Э. Состав и реологические свойства суспендированных жидких NPK-удобрений, полученных на основе переработки мытого обожженного концентрата смесью серной и фосфорной кислот 170

Салиханова Д.С., Исмоилова М.А., Чориева И.Й., Тоирова М.С., Кадирова Н.Б. Технология очистки повторно нагретых масел 176

Юсупов И.У., Хакимов Ф.Ш. Разработка катода на основе политетрафторэтилен для натрий-серных батареек 181

СОЦИАЛЬНО - ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Маматов А. Значение метрологического обеспечения лабораторных анализов и методов функциональной диагностики в современной медицине 186

Рустамова М.М. Совершенствование маркетинга и системы обеспечения предприятий керамической промышленности в контексте развития современного рынка труда 190

Зокирова З.Т. Управление операционной деятельностью с использованием современных информационных технологий 193

Тешебаева Л.Р. Характерные черты фонемы и методы фонемного анализа 197

Таджибаев Г.Ш., Жураева М.Б. Методика развития речевой компетенции у студентов инженеров - строителей на основе коллаборативного подхода 203

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Ахмадалиев Ж.А. Работа и эффективность циклической тепловой машины, управляемой межспиновыми взаимодействиями, в одномерной модели Изинга 208

Туйчибаев Б.К. Получение полупроводниковых микро- и наноструктур методом ионно-лучевого травления через самоорганизующуюся маску 210

Акрамов Б.О. Теоретическое исследование процессов теплопроводности и электропроводности в полупроводниковых термопарах 212

Туйчибаев Б.К., Шачнев В. Беспроводная передача энергии 216

Султанов Н.А., Мадрахимов М.М. Сравнительный научный анализ фотолюминесценции и ближнего инфракрасного поглощения в структурах n-SnO_2/p-Si 218

Сайитджонова М.Т. Применение комплексных чисел в технических и физических задачах 220

Джалилова Т.А. Отражение идеальной несжимаемой жидкости от твердой поверхности 224

Орзиматов Ж.Т., Давронова Д.М. Гидравлический расчет дождевой канализации 227

Тухтайев Ф.И., Бадалова Д.А. Интенсификация процессов теплообмена в котельных и повышение энергоэффективности 229

Одилов С.С. Эксплуатационный анализ вертикальных скважинных насосов в мелиоративных системах 232

Каримов Н.У. Анализ процессов короткого замыкания в трансформаторах и меры по их снижению 236

Мирзаев С.М. Влияние насадочного абсорбера на тепловые процессы и показатели эффективности туннельной солнечной сушильной установки 238

Хурмаматов А.М., Муминов Ж.А., Жураев В.Н. Применение воздушных охладителей в нефтегазовой и химической промышленности 241

Курбанов Н.М., Худайбердиев А.А., Нишонов Ў.Р. Аналитические зависимидести для определения основных показателей биохимических, физических и теплофизических свойств фруктов и сушеных продуктов 244

Ашурматова Н.А. Современные тенденции использования языка в узбекских цифровых медиа 246

Сайидов Ш.Х. Основные различия в речи представителей социальных групп и преступного мира 249

Батирова Р.Б., Кучкарова М.М. Роль цифровых технологий в преподавании теоретической физики .. 253

К сведению авторов ! 257

CONTENTS

MECHANICS

Kasimov B.M. Modeling of surface roughness in titanium and nickel alloys based on technological factors during micro-shot peening process 9

Rahmanov R.R., Kenjaboyev Sh.Sh., Saidmaxamadov N.M., Akramov M.M., Yuldashev U.O. Optimal design of lining for a medium-frequency induction furnace 15

Umurzakov A.H., Okyulov K.R. Determination of the optimal power value of a vibrational sorting machine 20

Sulaymanov R.Sh., Shukhratov Sh.Sh. The effect of the improved ribbed grate on the efficiency of the UXK unit 24

Eshonov R.M., Oripov N.M. Theoretical analysis of improving the cotton ginning machine 30

Usmonov A.I. Analysis of the influence of soil mechanical properties and operating conditions on the wear process of working bodies of soil tillage machines 36

Abdullaev Sh.A. Safety requirements when operating welding equipment 40

Kirgizaliev N.Kh. Methods of increasing the resource of the tube processing stan by heat treatment 44

Kurabanov N., Koraboev E., Djurayev Sh. Improvement of the design of a vibratory drying device and investigation of the influence of technological parameters on the drying process for food products and mineral fertilizers 47

Abduvakhidov M.M., Mirjalolzoda Bobirmirzo, Umarov A.A. Torsional vibrations of flexible packet-type working organs of technological machines with account of cross-sectional warping 51

BUILDING

Umarov Sh.A., & Abdugofurov U.A. A comparative study of the physical-mechanical characteristics of composite and steel reinforcement 57

Atakulov D.E., Jumabayeva D.A., Assessment of river channel processes using geographic information system technologies 62

Maksimov K.I., Abdunazarov A.A., Abdugofurov U.A. Certain peculiarities of designing and building foundations for multi-story residential blocks on saline soils 69

Solijonov H.S., Sharipov I.Q. The importance of thermal insulation materials in construction 75

Akramov X.A., Davlyatov Sh.M., G‘ulomov D. G‘. Solutions for fixing enclosing and partition aerated concrete walls in multi-storey reinforced concrete frame buildings using auxiliary metal columns (fachwerk systems) and their seismic analysis 83

Sodiqov M.U. Automatic control model of a heating system and comparison of results with a digital model 87

ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING

Yusupov D.T., Yusupova F.T. Utilization of wind potential in agriculture: a greenhouse case study 94

Badalova D.A., Nazirova H.Z., Yembergenova K.B., Auezbaeva F.T. General characteristics of the energy audit object 101

Khakikov A.U. Analysis of the impact of climatic conditions on inverter systems of solar photovoltaic power plants and ways to improve their efficiency 106

Tovbayev A.N., Tog‘ayev I.B. Application of diagnostic methods in high-voltage overhead power transmission lines for the detection and quantitative assessment of corona discharge condition 113

Soliyev B.G. Valuation of the efficiency of using a dry-type water cooling tower in thermal power plants 118

Payzullakhanov M.S., Parpiev O.R., Nodirmatov E.Z., Giyasova F.A., Suvonova L.S., Turopova S.U., Kuchkarov A.A., Yusupaliyev J.V. Hydrogen storage technology in metals 123

Mukhammadjonov M.Sh. Digital modeling of the heat transfer process in oil power transformers in operation 130

ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES

Otakulov O.Kh., Sobirov M.M., Solizhonov A.N. Structure and mechanism of operation of HRM and HRIS systems in personnel management 134

Abdulkhamidov A.A., Nuraliyeva Z.A. Development of an automated system for determining the dust layer level on the surface of solar panels and their cleaning 140

Rayimdjanova O.S., Yuldashev E.A. Application of infrared temperature sensor in thermal protection systems of high-voltage transformers 146

CONTENTS

Rayimdjanova O.S., Madaminov M.R. Optoelectronic transducer of linear displacements 152

CHEMICAL TECHNOLOGY AND ECOLOGY

Jabborov I.T. Extending the shelving life of food products and minimizing safety risks through heat and mass exchange models in the drying process 159

Jabborov T.K., Kurbanov N.M., Jabborov I.T., Siddikov M.Z. Analysis of heat and mass transfer during convective drying of food products and improvement of energy-efficient innovative chemical-technological drying methods 167

Qosimov D.M., Tojimamatova M.Y., Xoshimov I.E. Composition and rheological properties of suspended liquid NPK fertilizers obtained by processing washed carned phosphate concentrate with a mixture of sulfuric and phosphoric acids 170

Salikhanova D.S., Ismoilova M.A., Chorieva I.Y., Toirova M.S., Kadirova N.B. Technology for purification of used reheated oils 176

Yusupov I.U., Khakimov F.Sh. Development of a polytetrafluoroethylene -based cathode in sodium–sulfur batteries 181

SOCIAL AND ECONOMIC SCIENCES

Mamatov A. Zamonaviy tibbiyotda laborator tahlil va funksional diagnostika usullari uchun metrologik ta'minlashning ahamiyati 186

Rustamova M.M. Improving the marketing and supply system of ceramic industry enterprises in the context of the development of the modern labor market 190

Zakirova Z.T. Management of operational activities using modern information technologies 193

Teshebayeva L.R. Characteristic features of the phoneme and methods of phonemic analysis 197

Tajibaev G.Sh., Juraeva M.B. Methodology for developing the communicative competence of civil engineering students based on a collaborative approach 203

SHORT MESSAGES

Akhmadaliyev J.A. Work output and efficiency of a cyclic heat engine controlled by spin interactions in the one-dimensional ising model 208

Tuychibayev B.K. Fabrication of semiconductor micro- and nanostructures by ion-beam etching through a self- organized mask 210

Akramov B.O. Theoretical investigation of heat and electrical conductivity processes in semiconductor thermocouples 212

Tuychibayev B.K., Shachnev V. Wireless power transmission: research prospects 216

Sultanov N.A., Madraximov M.M. Comparative scientific analysis of photoluminescence and near-infrared absorption in n-sno$_2$/p-si structures 218

Sayitjonova M.T. Application of complex numbers in technical and physical problems 220

Djalilova T.A. Reflection of an ideal incompressible fluid from a solid surface 224

Orzimatov J.T., Davronova D.M. Hydraulic calculation of rain canalization 227

Tuxtayev F.I., Badalova D.A. Intensification of heat transfer processes in boiler houses and energy efficiency improvement 229

Odilov S.S. Operational analysis of vertical well pumps in land reclamation systems 232

Karimov N.U. Analysis of short-circuit processes in transformers and mitigation measures 236

Mirzayev S.M. Effect of a packed-bed absorber on thermal processes and performance indicators of a tunnel-type solar dryer 238

Khurmamatov A.M., Muminov J.A., Jurayev V.N. Application of air-cooled heat exchangers in the oil and gas and chemical industries 241

Kurbanov N.M., Xudayberdiyev A.A., Nishonov O‘.R. Analytical dependencies for determining the main indicators of biochemical, physical and thermophysical properties of fruits and dried products 244

Ashurmatova N.A. Modern trends in language use in uzbek digital media 246

Sayidov Sh.Kh. The main differences in the speech of representatives of social groups and the crime world 249

Batirova R.B., Kuchkarova M.M. Modern educational methods - a guarantee of educational efficiency 253

Information to the authors ! 258

УДК 621.9.015

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВЫХ И НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОТОКОМ МИКРОШАРИКОВ

Б.М. Касимов

Андижанский государственный технический университет.
**Автор для корреспонденции, e-mail: kasimovbaxtiyor.1991@gmail.com*
(Получена 22.02.2026 г.)

Аннотация: *В работе рассматривается процесс упрочняющей обработки поверхностей титанового сплава ВТ6 и никелевого сплава ЭИ787 потоком микрошариков. Исследовано влияние давления воздуха (P), расстояния до сопла (L) и угла атаки (α) на формирование шероховатости поверхности (R_a). На основе экспериментальных данных, полученных с помощью профилографа «Talysurf», разработана математическая модель, описывающая зависимость микрогеометрии поверхности от физико-механических свойств материалов и технологических режимов. Установлено, что увеличение твердости материала замедляет рост шероховатости. Полученные эмпирические формулы позволяют прогнозировать качество поверхности на стадии проектирования технологического процесса.*

Ключевые слова: *микрошарики, пневмодробеструйная обработка, шероховатость поверхности, титановый сплав ВТ6, никелевый сплав ЭИ787, математическое моделирование, профилограмма.*

Annotatsiya: *Maqolada VT6 titan va EI787 nikel qotishmalari sirtlariga mikrosharchalar oqimi bilan mustahkamlovchi ishlov berish jarayoni tadqiq etilgan. Havo bosimi (P), soplodan masofa (L) va ishlov berish burchagining (α) sirt g‘adir-budurligi (R_a) shakllanishiga ta’siri o‘rganildi. «Talysurf» profilografi yordamida olingan eksperimental natijalar asosida sirt mikrogeometriyasining material fizik-mexanik xususiyatlari va texnologik rejimlarga bog‘liqligini ifodalovchi matematik model ishlab chiqildi. Material qattiqligining ortishi g‘adir-budurlik o‘sishini sekinlashtirishi aniqlandi. Olingan empirik formulalar texnologik jarayonni loyihalash bosqichida sirt sifatini aniqlash imkonini beradi.*

Kalit so‘zlar: *mikrosharchalar, pnevmodrobestruy ishlovi, sirt g‘adir-budurligi, VT6 titan qotishmasi, EI787 nikel qotishmasi, matematik modellashtirish, profilogramma.*

Abstract: *The article examines the surface strengthening process of VT6 titanium alloy and EI787 nickel-based alloy using micro-shot peening. The influence of air pressure (P), nozzle distance (L), and angle of attack (α) on the formation of surface roughness (R_a) was investigated. Based on experimental data obtained using a "Talysurf" profilometer, a mathematical model was developed to describe the dependence of surface micro-geometry on the physical-mechanical properties of materials and technological parameters. It was established that an increase in material hardness slows down the growth of roughness. The obtained empirical formulas allow for the prediction of surface quality at the design stage of the technological process.*

Keywords: *micro-shot peening, pneumatic shot peening, surface roughness, VT6 titanium alloy, EI787 nickel alloy, mathematical modeling, profilogram.*

1. Введение. Современное машиностроение, особенно авиационная и энергетическая отрасли, предъявляет высокие требования к качеству и долговечности деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок. Одним из наиболее эффективных методов повышения эксплуатационных характеристик является пневмодробеструйная обработка (обработка потоком микрошариков), которая позволяет не только упрочнять поверхностный слой, но и формировать заданный микрорельеф. Титановые сплавы (например, ВТ6) и сплавы на железоникелевой основе (ЭИ787) обладают уникальными физико-механическими свойствами, однако их обрабатываемость и формирование шероховатости поверхности существенно зависят от технологических параметров процесса. Оптимизация этих параметров (давления воздуха, расстояния до сопла и угла атаки) требует создания надежных математических моделей, позволяющих прогнозировать параметр шероховатости R_a без проведения дорогостоящих натурных испытаний. Целью данной работы является

комплексное исследование влияния режимов микродробеструйной обработки на микрогеометрию поверхности указанных сплавов и разработка эмпирических зависимостей, связывающих технологические факторы с качеством обрабатываемой поверхности.

2.2. Методика экспериментальных исследований. После проведения дробеструйной обработки поверхность приобретает характерный вид. Многочисленные лунки от ударов дроби увеличивают шероховатость, но количество выступов и впадин при увеличении давления резко уменьшается и увеличивается радиус скругления.

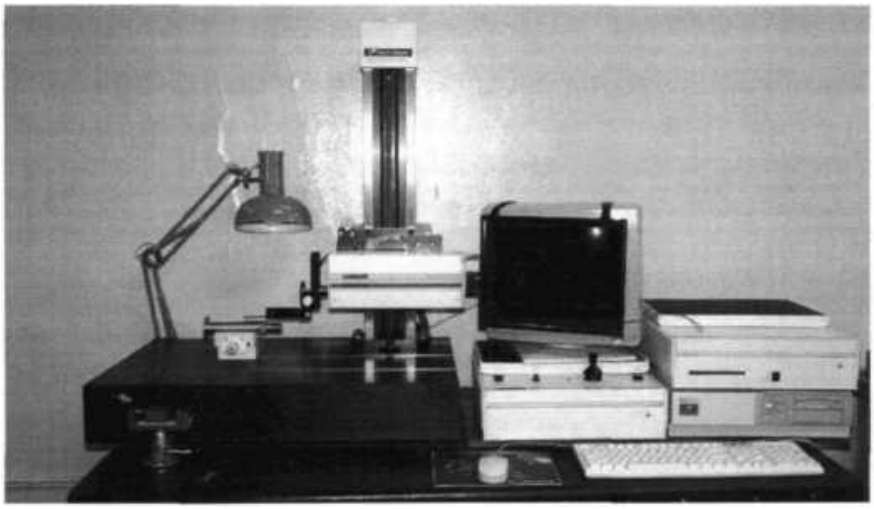


Рисунок 1 - Электронный профилометр - профилограф “Talysurf’.

Шероховатость поверхности образцов определялась на электронном профилометре - профилографе “Talysurf” (рисунок 1). На каждой исследуемой поверхности проводили измерения в 3 - 5 типичных местах, причем в каждом случае делали по 10 двойных ходов ощупывающей головки. Помимо измерения шероховатости поверхности образцов, записывали профиль микронеровностей поверхностей на бумажном носителе в прямоугольных координатах с вертикальным увеличением до 200 раз, а горизонтальном - до 5000 раз (рисунок 2).

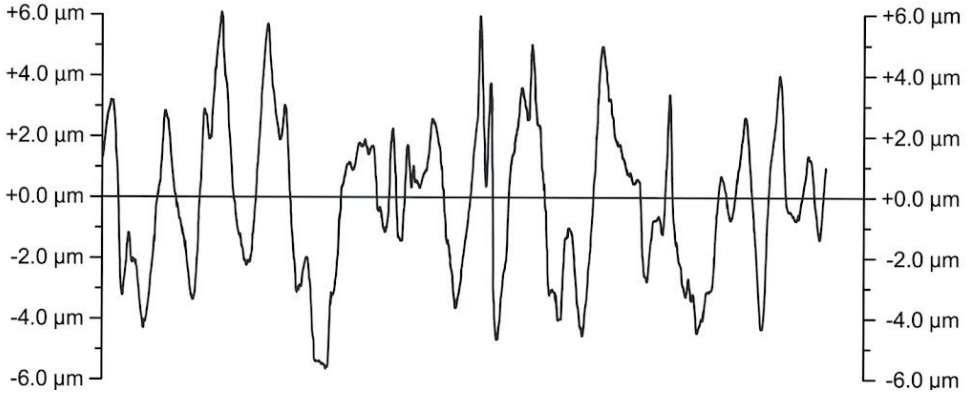
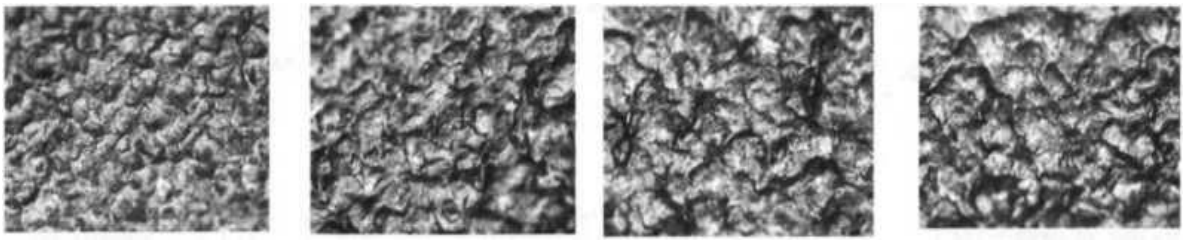


Рисунок 2 - Шероховатость поверхности образца из материала ВТ6, обработанного при давлении Р=0,3 МПа, расстоянии L=125 мм, угле атаке 45°.

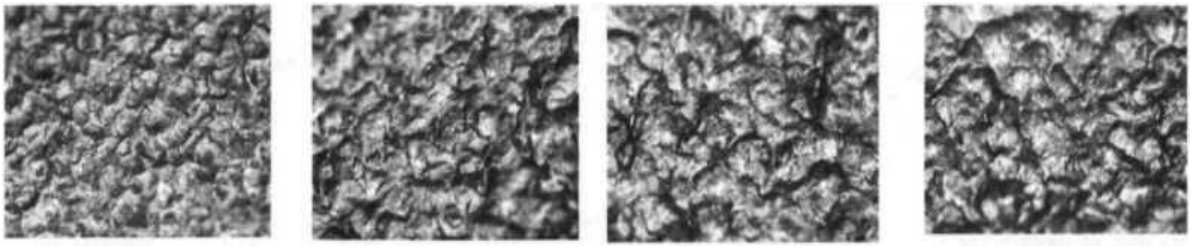
Характер макрогеометрии, в сновном, определяется давлением воздуха. Так при обработке поверхности при давлении 0,2 МПа отпечатки мелкие. С увеличением давления до 0,3 МПа макрогеометрия поверхности приобретает выраженную специфичную картину. При давлении 0,4 МПа поверхность имеет более четкий рельефный характер. При дальнейшем увеличении давления макрогеометрия поверхности приобретает все более выраженную специфичность.

Фотографии поверхностей сплава на железоникелевой основе ЭИ787 и титанового сплава ВТ6 после обработки представлены на рисунках 3, (А,Б,В,Г.)



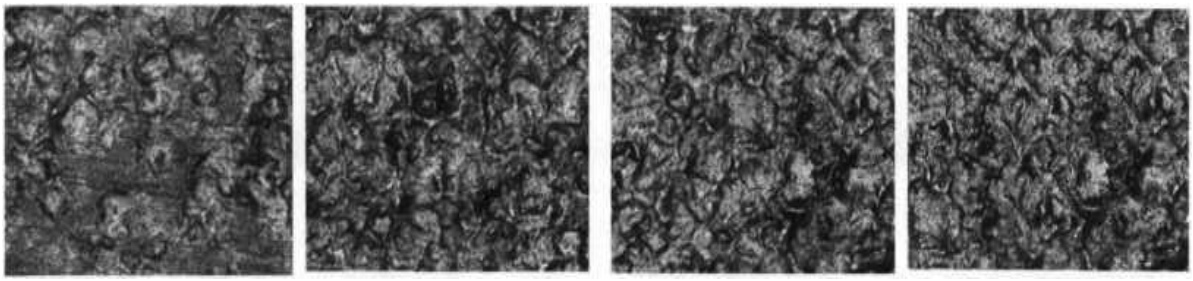
Р = 0,2 МПа Р = 0,3 Мпа Р = 0,4 Мпа Р = 0,5 Мпа

Рисунок 3. –А) Внешний вид поверхности образцов из материала ЭИ787 после обработки при угле атаки 45°, расстояние 125 мм (100 - кратное увеличение)



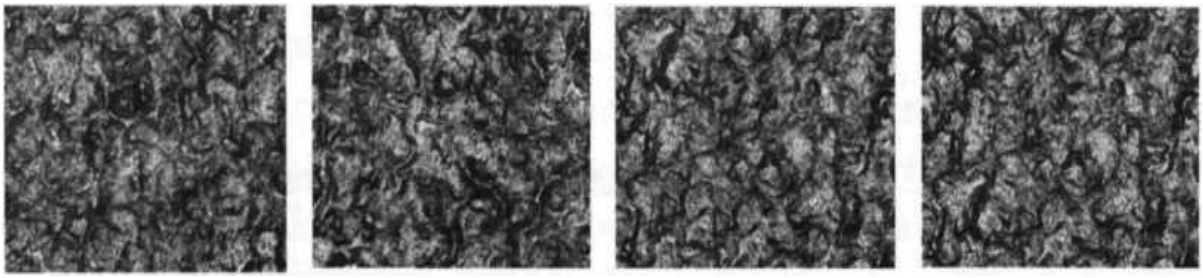
Р = 0,2 МПа Р = 0,3 МПа Р = 0,4 МПа Р = 0,5 МПа

Рисунок Б) - Внешний вид поверхности образцов из материала ЭИ787 после обработки при угле атаки 90°, расстояние 125 мм (100- кратное увеличение).



Р = 0,2 МПа Р = 0,3 МПа Р = 0,4 МПа Р = 0,5 Мпа

Рисунок В)- Внешний вид поверхности образцов из материала ВТ6 после обработки при угле атаки 45°, расстояние 125 мм (100- кратное увеличение)



Р = 0,2 Мпа Р = 0,3 Мпа Р = 0,4 МПа Р = 0,5 Мпа

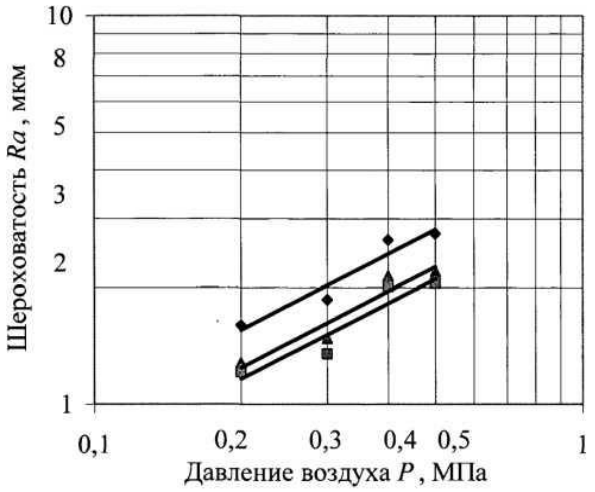
Рисунок Г) - Внешний вид поверхности образцов из материала ВТ6 после обработки при угле атаки 90°, расстояние 125 мм (100- кратное увеличение)

При обработке микропрофиль, образовавшийся при перемещении детали в результате пластического деформирования изменяется, образуется новый микропрофиль характерный для поверхности после дробеструйной обработки.

При сопоставлении шероховатости поверхностей сплава на железоникелевой основе ЭИ787 и титанового сплава ВТ6 можно сделать вывод, что с увеличением твердости обрабатываемого материала увеличение шероховатости замедляется.

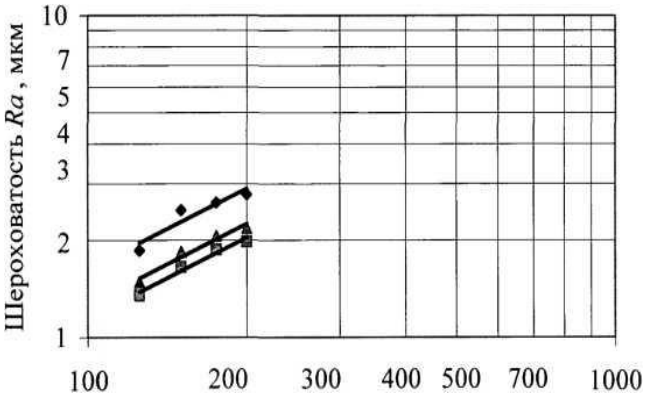
Величина шероховатости зависит от давления, количества проходов и пластических свойств материала.

3. Анализ полученных результатов. Зависимость шероховатости поверхности от давления и расстояния до поверхности образцов до сопла представлена на рисунках 4, (А, Б В Г).



◆ Угол атаки 90 ■ Угол атаки 30 ▲ Угол атаки 45

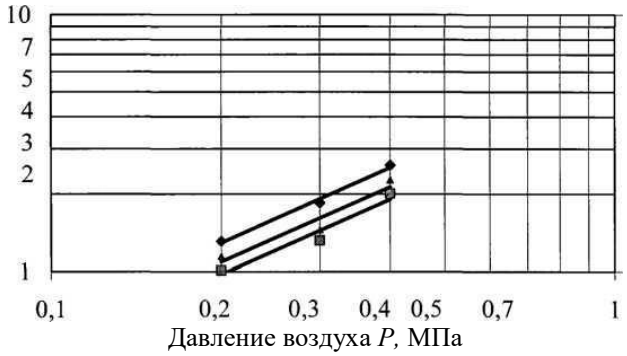
Рисунок 4 (А) Зависимость шероховатости поверхности образца из материала ВТ6 от давления воздуха (расстояние от поверхности образца до торца сопла L=125 мм).



♦ Угол атаки 90 ■ Угол атаки 30 * Угол атаки 45

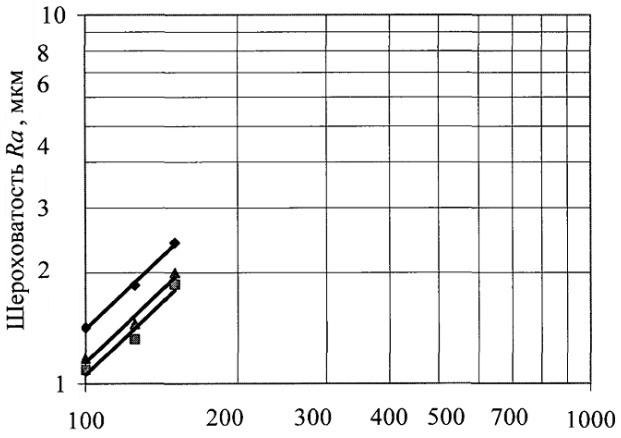
Расстояние от поверхности до сопла *L*, мм

Рисунок 4 (Б) - Зависимость шероховатости поверхности образца из материала ВТ6 от расстояния от поверхности образца до торца сопла (Р = 0,3 МПа).



♦ Угол атаки 90 ■ Угол атаки 30 * Угол атаки 45

Рисунок 4 (В) Зависимость шероховатости поверхности образца из материала ЭИ787 от давления воздуха (расстояние от поверхности образца до торца сопла £=125 мм



♦ Угол атаки 90 ■ Угол атаки 30 л Угол атаки 45

Рисунок 4 (Г)- Зависимость шероховатости поверхности образца из материала ЭИ787 от давления воздуха (расстояние от поверхности образца до торца сопла £=125 мм).

На основании представленных выше графиков зависимости шероховатости поверхности от давления воздуха и расстояния от поверхности образцов до сопла можно записать следующие зависимости (таблицы 1, 2, 3, 4):

Таблица 1 - Зависимость шероховатости поверхности образца из материала ВТ6 от давления воздуха

Угол атаки а	Формула	Коэффициент аппроксимации
30°	$Ra = 3{,}287\ P^{0\,65}$	R^2 = 0,89
45°	$Ra = 3{,}557\ P^{0\,,65}$	R^2 = 0,92
90°	$Ra = 4{,}418\ P^{0{,}65}$	R^2 = 0,93

Таблица 2 - Зависимость шероховатости поверхности образца из материала ВТ6 от расстояния от поверхности образца до торца сопла

Угол атаки а	Формула	Коэффициент аппроксимации
30°	$Ra = 0{,}026\ L^{\circ\ 825}$	$R^2 = 0{,}97$
45°	$Ra = 0{,}028\ L^{0{,}825}$	$R^2 = 0{,}96$
90°	$Ra = 0{,}036\ L^{0{,}825}$	$R^2 = 0{,}88$

Таблица 3 - Зависимость шероховатости поверхности образца из материала ЭИ787 от давления воздуха

Угол атаки а	Формула	Коэффициент аппроксимации
30°	$Ra = 4{,}64\ P^{0{,}97}$	$R^2 = 0{,}95$
45°	$Ra = 5{,}173\ P^{0{,}97}$	$R^2 = 0{,}93$
90°	$Ra = 6{,}197\ P^{0\ 97}$	$R^2 = 0{,}99$

Таблица 4 - Зависимость шероховатости поверхности образца из материала ВТ6 от расстояния от поверхности образца до торца сопла

Угол атаки а	Формула	Коэффициент
30°	$Ra = 0{,}0026\ L^{130}$	$R^2 = 0{,}95$
45°	$Ra = 0{,}0028\ L^{130}$	$R^2 = 0{,}97$
90°	$Ra = 0{,}0035\ L^{130}$	$R^2 = 0{,}99$

В общем виде формулу для определения шероховатости поверхности *Ra* от технологических параметров обработки можно представить в следующем виде:

$$Ra = C * E^x * p^y * L^z * sin^n a, \quad (1)$$

где *C, x, y, z, n* - эмпирический коэффициент и показатели степени, зависящие от упруго-пластических свойств обрабатываемого материала;

E - модуль упругости обрабатываемого материала, МПа;

P - давление воздуха, МПа;

L - расстояние от поверхности образца до торца сопла.

Значение коэффициента *C* и показателей степени *x, y, z, u* определим, построив зависимости от упруго-пластических свойств обрабатываемого материала.

Значения коэффициентов и показателей степени *C, n, x, y, z* приведены в таблице

Таблица 5 - Значения коэффициентов и показателей степени C, *n, x, y, z* для определения шероховатости обрабатываемой поверхности

Эмпирический коэффициент	Показатели степени			
C	X	*y*	*Z*	*n*
0,1188	-3,07	$0{,}59\text{-}E^{0{,}64}$	$0{,}74\text{-}E^{0{,}73}$	0,42

Окончательно, формулу (1) для определения шероховатости поверхности *Ra* от технологических параметров обработки можно представить в следующем виде:

$$Ra = 0{,}1188 * E^{-3{,}07} * p^{0{,}59*E0{,}64} * L^{0{,}74*E07{,}3} sin^{0{,}42} a, \quad (2)$$

где E - модуль упругости обрабатываемого материала, * 10^5 МПа;
P - давление воздуха, МПа;
L - расстояние от поверхности образца до торца сопла, мм;
a - угол атаки дроби.

Заключение. В результате анализа можно определить, что на шероховатость поверхности оказывают влияние режимы обработки, при условии полного охвата поверхности: при увеличении расстояния от торца сопла до обрабатываемой поверхности, давления подаваемого воздуха ухудшаются параметры шероховатостьи поверхности. В ходе проведенного комплексного исследования были выявлены ключевые закономерности формирования микрогеометрии поверхности высокопрочных сплавов ВТ6 и ЭИ787 при их обработке потоком микрошариков. Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы:
1. Динамика формирования микрорельефа: Установлено, что морфология поверхности определяется кинетической энергией потока микрочастиц. Увеличение рабочего давления и сокращение дистанции до сопла приводят к интенсификации пластической деформации, при которой микронеровности приобретают более четкий, выраженный характер. Однако при достижении критических значений давления происходит качественное изменение профиля: за счет многократного перекрытия зон контакта наблюдается эффект сглаживания пиков и увеличение радиуса закругления впадин, что благоприятно сказывается на усталостной прочности деталей. 2.Роль физико-механических свойств материала: Исследование подтвердило гипотезу о демпфирующей роли твердости и модуля упругости обрабатываемого материала. Выявлено, что сплав на железоникелевой основе ЭИ787 проявляет более высокую сопротивляемость ударному воздействию микрошариков по сравнению с титановым сплавом ВТ6. Это выражается в замедленном росте параметров шероховатости, что необходимо учитывать при назначении режимов обработки для материалов с различными характеристиками пластичности. 3. Прогностический потенциал исследования: Разработанный комплексный подход к описанию процесса позволяет с высокой достоверностью моделировать состояние поверхности, исходя из совокупности технологических факторов и физических констант материала. Это исключает необходимость проведения многочисленных пробных итераций при переходе от одного типа заготовки к другому, обеспечивая стабильность качественных показателей продукции. 4. Практические рекомендации для производства: Результаты работы имеют непосредственное прикладное значение для авиационного и текстильного машиностроения. Внедрение предложенных технологических режимов позволяет целенаправленно управлять качеством поверхностного слоя, оптимизируя не только шероховатость, но и создавая условия для повышения износостойкости и долговечности ответственных узлов и деталей.

Список литературы

[1]. Шин И.Г. Интенсивность остаточных напряжений при поверхностном пластическим деформировании деталей машин // Упрочняющие технологии и покрытия. 2010. – №2. – С10-13.
[2]. Шин И.Г., Максудов Р.Х. Метод расчета глубины упрочненного слоя деталей при поверхностной обработке дробью // Вестник машиностроения, 2011. - №4 – С.44-47.
[3]. Шин И.Г. Влияние технологических остаточных напряжений на усталостную прочность // Проблемы текстиля. 2004. - №1. – С.63-68.
[4]. Шин И.Г. Технологические методы обеспечения качества и прогнозирования долговечности деталей машин первичной обработки хлопка; Дис. …докт. техн. наук. – Ташкент: ТИТЛП, 2014. – 264Сс.
[5]. Kasimov, B. (2023). Improvement of the environmental safety of weaving equipment by reducing the wear of contact surfaces. E3S Web of Conferences, 390. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339001025.
[6]. Kholmirzaev, N., Turakhodjaev, N., Saidmakhamadov, N., Tadjiev, N., Khasanov, J., Yusupov, B., ... & Juraev, J. (2024, December). Improvement of the Technology of Melting of Low Alloy Steel Alloy in an Electric Arc Furnace. In Materials Science Forum (Vol. 1139, pp. 3-9). Trans Tech Publications Ltd. https://doi.org/10.4028/p-2AMBsZ.
[7]. Khasanov, J., Kholmirzaev, N., Saidmakhamadov, N., Tojiboev, B., Dilshodbek, E., Makhammadjanov, K., ... & Otakuziev, A. (2024). Development of technology for obtaining thin-walled details from gray cast iron in sand-clay moulds. International Journal of Mechatronics & Applied Mechanics, (18).

https://doi.org/dx.doi.org/10.17683/ijomam/issue18.24
[8]. Бардинова С.Н. Исследование качества поверхностного слоя при дробеструйной обработке в ремонтном производстве Диссертация. Рыбинск - 2013.
[9]. Kasimov B. Experimental determination of the depth and degree of riveting of the surface layer of Batan teeth //Middle European Scientific Bulletin. – 2021. – Т. 18. – С. 169-171.
[10]. Худых М.И. Ремонт текстильных машин. – М.: Легпромбытиздат, 1991. – 288 с.

O‘RTA CHASTOTALI INDUKSION PECH FUTEROVKASINI OPTIMAL LOYIHASH

tayanch doktorant R.R. Rahmanov[1]., Sh.Sh. Kenjaboyev[1], N.M. Saidmaxamadov[1]., M.M. Akramov[2]., U.O. Yuldashev[1]

[1]Namangan davlat texnika universiteti, n198718a@gmail.com
[2]Farg‘ona davlat texnika universiteti
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

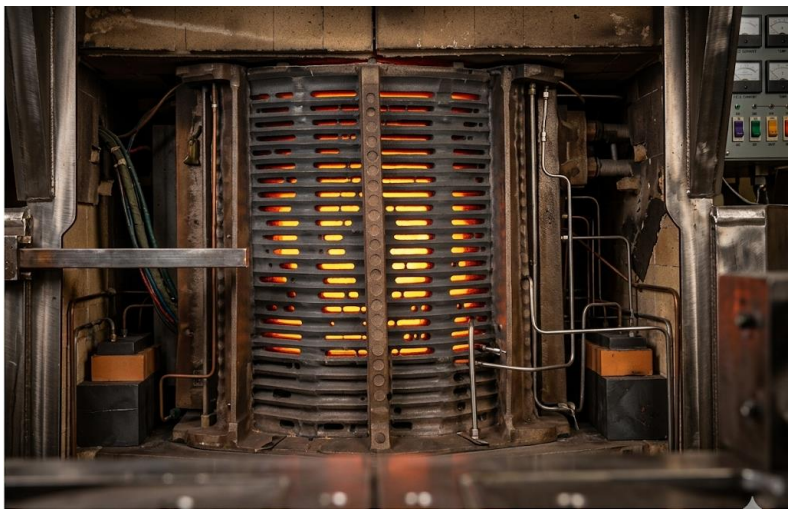
Annotatsiya: *Mazkur maqolada o‘rta chastotali induksion pech futerovkasini optimal loyihalash masalalari tahlil qilingan. Induksion pechlarda qora metall va ularning qotishmalarini suyuqlantirish jarayonida futerovkaning yemirilishi, uning xizmat muddati va issiqlik qarshiligining o‘zgarishi asosiy muammolardan biri sifatida ko‘rib chiqilgan.*
Kalit so‘zlar: *induksion pech, o‘rta chastota, futerovka, tigel*
Аннотация: *В данной статье рассмотрены вопросы оптимального проектирования футеровки индукционной печи средней частоты. Основными проблемами при плавке черных металлов и их сплавов в индукционных печах рассматриваются износ футеровки, срок её службы и изменение теплового сопротивления.*
Ключевые слова: *индукционная печь, средняя частота, футеровка, тигель*
Abstract: *This article analyzes the issues of optimal design of the lining for a medium-frequency induction furnace. The main problems during the melting of ferrous metals and their alloys in induction furnaces are the wear of the lining, its service life, and changes in thermal resistance.*
Keywords: *induction furnace, medium frequency, lining, crucible*

O‘rta chastotali induksion pech futerovkasini optimal loyihash

Induksion pechlarida qora metall va ularning qotishmalarini suyuqlantirib olish sexlarida, nisbatan kichik sig‘imga ega bo‘lgan pechlar keng qo‘llaniladi. Ushbu sexlarda pechlar asosan ikkilamchi shixta materiallarini qayta suyuqlantirish uchun ishlatiladi. O‘rta chastotali (500÷10 000 *Hz*), o‘zakka ega bo‘lmagan, ya’ni tigel markazida metall o‘zak mavjud bo‘lmagan (1-rasm), qattiq holat texnologiyasiga asoslangan induksion pechlar hozirgi kunda induksion pechlarning asosiy qismini tashkil etadi [1]. Ushbu maqolada o‘rta chastotali induksion suyuqlantirish pechida futerovka materiallariga e’tibor qaratilgan. O‘rta chastotali pechlar turli ishlab chiqaruvchilar tomonidan odatda 250 kg dan 5 tonnagacha bo‘lgan sig‘imlarda ega bo‘lganlari ko‘proq foydalaniladi.

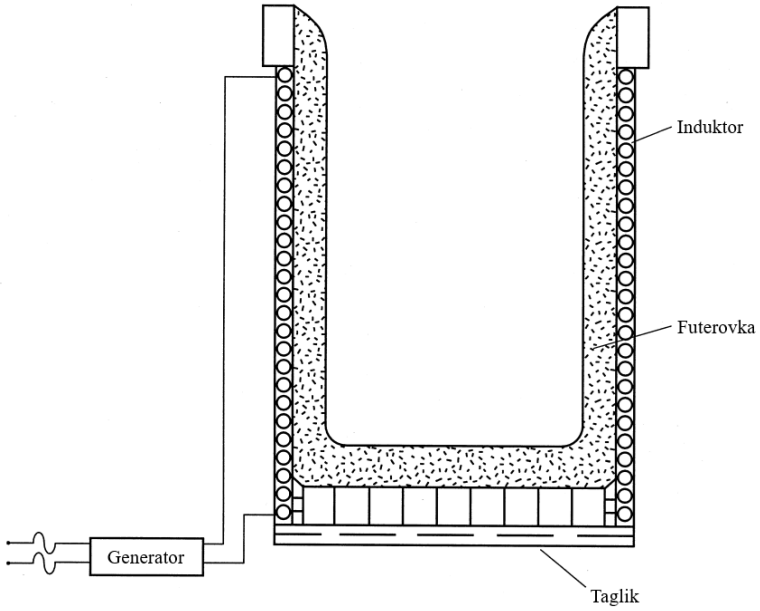
Induksion qizdirish – bu tez o‘zgaruvchi, yuqori kattalikdagi magnit oqimi ta’sirida yuzaga keladigan hodisadir. Metall chiqindilarini qayta suyuqlantirishda induksion pechlar ko‘pincha shu maqsadda ishlatiladigan yoyli pechlarga nisbatan ma’lum ustunliklarga ega hisoblanadi. Biroq, o‘rta chastotali induksion pechlarining ishlash jarayonidagi muammolardan biri – tigel futerovkasining (2-rasm) tez yemirilishi va uni ta’mirlash uchun talab etiladigan vaqt hisoblanadi. Shunga qaramay, amaliy tajriba shuni ko‘rsatadi-ki, futerovkaga puxta rejalashtirilgan va tizimli xizmat ko‘rsatish orqali jarayon samaradorligini oshirish mumkin. Elektr po‘lat ishlab chiqarishning turli jihatlari, ayniqsa yoyli pechlar uchun, adabiyotlarda keng yoritilgan. Biroq, aynan ushbu muammo hozirgacha yetarlicha o‘rganilmagan.

Futerovka tigel markaziga silindrsimon metall shakl beruvchi list o‘rnatilib, hosil bo‘lgan bo‘shliqni o‘tga chidamli materiallar bilan to‘ldirish va ularni zichlab joylashtirish orqali tayyorlanadi. Shundan so‘ng 10÷14 soat davom etadigan qizdirish amalga oshiriladi. Qizdirish jarayonida metall odatdagi suyuqlantirish kabi, ammo pastroq quvvatda suyuqlantiriladi. Ko‘pchilik



1-rasm. O‘rta chastotali o‘zaksiz induksion pechi.

hollarda qizdirish vaqtida metall list ham suyuqlanib ketadi. Ba’zi texnologiyalarda esa listni chiqarib olib, qayta foydalanish imkonini beruvchi maxsus mexanizmlardan qo‘llaniladi. Futerovkaning xizmat muddatini uzaytirish maqsadida vaqti-vaqti bilan qayta suvash ishlari bajariladi. Suvash yangi futerovka tayyorlashga o‘xshash usulda, futerovka ma’lum darajada yemirilgandan keyin amalga oshiriladi. Bu jarayonda futerovka to‘liq buzib tashlanmaydi. Suvash taxminan 4 soat vaqt oladi va kamroq olovbardosh material sarflanadi. Ikki suvash oralig‘ida odatda 20÷40 marta suyuqlantirib (har biri 1÷2 soat davom etadigan) amalga oshiriladi. Bir necha bor suvash bajarilgandan so‘ng, futerovkaning yuqori harorat ta’sirida uzoq vaqt ishlashi natijasida uning issiqlik qarshiligi kamayadi va oddiy suvash bu yo‘qotishni qoplash uchun yetarli bo‘lmay qoladi. Bunday holatda yangi futerovka tayyorlash zarur bo‘ladi [2]. Ba’zan suvash samaradorligi bundan oldin ham kamayishi mumkin, ya’ni har bir suvashdan keyin bajarilishi mumkin bo‘lgan suyuqlantirishlar soni qisqaradi. Futerovkaning issiqlik qarshiligi pasayishidan tashqari, pech samaradorligi futerovkaning optimal qalinligi yoki unga yaqin holatda maksimal darajaga yetadi. Shuning uchun bu optimal holatda suyuqlantirishlar sonini ko‘paytirish maqsadida suvash ishlari tez-tez bajarilishi kerak bo‘ladi. Ammo bu esa jarayonni sekinlashtiradi va xarajatlarni oshiradi [3].



2-rasm. Induksion pechning sxematik diagrammasi.

Yangi futerovkaning qalinligi qanday bo‘lishi, suvashdan keyingi qalinlik qancha bo‘lishi, suvashlar qaysi tartibda bajarilishi kerakligi kabi qarorlar pechdan maksimal samaradorlik bilan foydalanish uchun juda muhimdir. Shuningdek, futerovkaning yaxshi loyihalangan konstruksiyasi va texnik xizmat ko‘rsatish tartibi har qanday jiddiy muammolarning oldini olishga yordam beradi.

TAHLIL

Jarayonning operatsion tahlilini amalga oshirish uchun yuqorida muhokama qilingan holatlarni hisobga olgan holda quyidagi taxminlar qabul qilinadi:

1. Pechda bitta tigel va bitta chang generatori mavjud deb hisoblanadi.

2. Bir turdagi metall chiqindilari suyuqlantirilib, bir turdagi po‘lat ishlab chiqariladi, shuningdek, har bir suyuqlantirishda bir turdagi shlak hosil qiluvchi material ishlatiladi [4]. Shu bilan birga, futerovkaning bir xil turi ishlatiladi. Futerovkaning yemirilishi yuqorida ko‘rsatilgan barcha omillarga bog‘liq bo‘ladi. Biroq, bunday omillarning o‘zgarmas shartlari ko‘plab ish jarayonlarida mavjud bo‘lishi mumkin, ayniqsa ko‘p turdagi suyuqlantirishlar bo‘lmasa futerovkani

yemirilishi kamayadi. Induksion pechga asoslangan sexlar odatda cheklangan turdagi po‘latlarni ishlab chiqaradi.

3. Yangi futerovka qurilganda, uning holati “yangi” deb olinadi. “Shikastlangan” holat esa futerovkada chuqur yoriqlar paydo bo‘lgan va uni endi ishlatib bo‘lmaydigan vaziyatni ifodalaydi. Boshqa holatlar “oraliq” holat sifatida tavsiflanadi.

4. Suyuqlantirish yoki qizdirish amalga oshirilganda, futerovka quyidagi ehtimollik bilan suyuqlanadi: futerovkaning qalinligi t va amaliyot a ga bog‘liq bo‘lgan $\Delta t(t, a)$ qalinlik bilan, ehtimollik $p\Delta(t, a, n)$ bilan, yoki “shikastlangan” holatga o‘tadi, ehtimollik esa $1 - p\Delta(t, a, n)$. Bu yerda n – suyuqlantirishlarning ketma-ket soni. Mavjud amaliyotlar quyidagilar: (a) yangi futerovka tayyorlash; (b) suyuqlantirish/qizdirish; (c) suvash [5]. Futerovka faqat eriydi deb hisoblanganida, $\Delta t(t, a)$ ma’lum miqdor sifatida olinadi va uning tasodifiy o‘zgarishlari hisobga olinmaydi; u o‘rtacha qiymatni ifodalaydi.

5. Yangi futerovka tayyorlash, suyuqlantirish yoki suvash davomiyligi tasodifiy bo‘lib, o‘rtacha davomiylik amaliyot turi va futerovkaning qalinligiga bog‘liq hisoblanadi.

6. Agar yoriq paydo bo‘lmasa, amaliyotlarning o‘rtacha xarajatlari futerovkaning qalinligiga bog‘liq bo‘ladi. Yangi futerovka tayyorlash xarajatiga olovbardosh material, ta’mirlash, energiya sarfi, shuningdek ishlab chiqarilgan metall miqdoridan keladigan daromad, ishlatilgan shixta materiali narxidan tashqari kiritiladi. Suyuqlantirish yoki suvashning o‘rtacha xarajatlari shunga o‘xshash tarzda belgilanadi. Xarajatlar va vaqtga ta’sir qiluvchi omillardan biri – pechga shixta materiallarini bilan qanday yuklashdir. Energiya sarfini hisobga olganda, sovutish suvini ta’minlash uchun ishlaydigan nasoslar, konditsionerlar yoki ifloslanishni nazorat qilish qurilmalari kabi qo‘shimcha xarajatlar ham kiritilishi kerak. Futerovka “shikastlangan” holatga kelganda, xarajat va vaqt shunday qabul qilinadiki, xarajat va vaqtning nisbati sezilarli darajada katta bo‘ladi.

7. Futerovkaning issiqlik qarshiligi uni dastlabki qalinligi, suyuqlantirish/qizdirish vaqtida qalinliklar, harorat va davomiylik, shuningdek suvashlar qachon bajarilgani hisobga olinib aniqlanishi mumkin. Futerovkaning issiqlik qarshiligi belgilangan R_{min} qiymatdan yuqori bo‘lishi kerak.

R_{min} qiymati analitik ravishda issiqlik uzatish modellaridan foydalanib aniqlanishi mumkin, bunda o‘zak tashqi yuzasining ruxsat etilgan maksimal harorati asos qilib olinadi. Futerovkaning issiqlik qarshiligini aniqlash uchun, uni ingichka qatlamlardan iborat deb qabul qilish mumkin, shunda har bir qatlam bo‘ylab harorat doimiy qoladi. Issiqlik o‘tishi vaqtida harorat oshishi bilan issiqlik o‘tkazuvchanligi o‘sishining qanday bog‘liqligi mavjudligi taxmin qilinadi. Ushbu bog‘liqlik eksperimental tarzda tasdiqlanishi kerak. Qizdirish vaqtida va haroratida tasodifiy o‘zgarishlar mavjud bo‘lsa, maksimal vaqt va harorat xavfsiz dizayn uchun hisobga olinishi lozim. Biroq, ma’lum qalinlikdagi qizdirishda ular katta farq qilmaydi.

OPTIMALLASHTIRISH

Shunday optimal jarayonni aniqlash kerak-ki, bunda yangi futerovka o‘rnatilgandan keyin birinchi ta’mirlash K ta eritish (qizdirish)dan so‘ng amalga oshiriladi. j-chi va $(j + 1)$-chi ta’mirlashlar orasidagi suyuqlantirishlar soni $\lceil m/k^j \rceil$ ga teng bo‘ladi. Agar oraliqda yoriq hosil bo‘lmasa, futerovka p ta ta’mirlash bajarilgandan keyin, ya’ni $(p + 1)$-chi ta’mirlash vaqtida to‘liq qayta tiklanadi. Aks holda, ya’ni yoriq paydo bo‘lsa, futerovka darhol qayta tiklanadi. Bu yerda K, m, p va k – qaror o‘zgaruvchilari bo‘lib, j esa suyuqlantirishning ketma-ket tartib raqamini bildiradi. K, m, p butun sonlar, k esa 1 ga yaqin bo‘lgan haqiqiy (butun bo‘lmagan) sondir ($[x]$ – x dan katta yoki unga teng bo‘lgan eng kichik butun sonni bildiradi). Bunday turdagi jarayonning tabiatiga mos keladi va amalda qo‘llash uchun qulay hisoblanadi.

Yuqoridagi belgilashlarga ko‘ra, agar $i = Q_j$, $1 \le j \le 1$ bo‘lsa, u holda a_i amaliy jihandan qisman ta’mirlashni bajarishdan iborat bo‘ladi. Agar $i = Q_{p+1}$ bo‘lsa, u holda ai amaliy jihandan yangi futerovkani qilishdan iborat bo‘ladi. Bu yerda: $Q_1 = k + 1$, $Q_2 = Q_1 + [m/k] + 1, \ldots, Q_j + 1 = Q_j + [m/k^j] + 1$. Aks holda, a_i amaliy suyuqlantirish jarayonini amalga oshirishdan iborat bo‘ladi. i-chi amaliy bajarilishidan oldingi futerovkaning qalinligi (unga amalning davomiyligi va xarajati bog‘liq) quyidagicha aniqlanadi:

$$t_i = T_0 - \sum_{j=1}^{i} \Delta t(t_{j-1}, a_1), \quad 1 \le i \le Q_1; \quad t_0 = 0; \quad \Delta t(0, a_1) = 0; \quad a_1$$

suyuqlantirish jarayonini bajarish;

$$= T_p - \Delta t(t_{i-1}, a_2); \quad i = Q_j + 1; \quad j = 1, \ldots, p; \quad a_2$$

qisman ta’mirlash jarayoni;

$$= T_l - \sum_{j=Q_s+2}^{i} \Delta t(t_{j-1}, a_1), \quad Q_s + 2 \le i \le Q_{s+1}; \quad l = Q_s + 1; \quad s = 1, \ldots, p$$

$$= T_0, \quad i = Q_{p+1} + 1$$

bu yerda: T_0 – yangi futerovkaning qalinligi, T_p esa qisman ta’mirlashdan keyingi qalinlikni bildiradi.

c_j – i-chi amal bajarilganda yuzaga keladigan o‘rtacha xarajatni, τ_i esa (agar futerovkada yoriq hosil bo‘lmasa) ushbu amalni bajarish uchun ketadigan o‘rtacha vaqtni bildiradi. Agar istalgan amal bajarilgandan so‘ng yoriq hosil bo‘lsa, unda C_0 – qabul qilingan xarajat, t_0 esa qabul qilingan vaqtni bildiradi. C – bir sikl davomida yuzaga keladigan umumiy xarajatni bildiradi, ya’ni yangi futerovka qurilgandan keyingi birinchi suyuqlantirish boshlanishidan tortib, keyingi yangi futerovka qurilishi yakunlanguniga qadar bo‘lgan davrni qamrab oladi. L – siklning davomiy vaqtidir. “Yangi” futerovka qurilishi bilan jarayon yana boshidan boshlanadi deb qabul qilinadi. Bunday bir sikl uchun o‘rtacha xarajat quyidagicha aniqlanadi:

$$E[C] = \sum_{i=1}^{M} c_i \cdot [\tilde{p}(t_1, a_1, 1) \ldots \tilde{p}(t_i, a_i, i)] + C_0 \sum_{i=1}^{M} [\tilde{p}(t_1, a_1, 1) \ldots \tilde{p}(t_{1-1}, a_{i-1}, i-1) \ldots (1 - \tilde{p}(t_i, a_i, i))]$$

Xuddi shuningdek, siklning o‘rtacha davomiyligi quyidagicha aniqlanadi:

$$E[L] = \sum_{i=1}^{M} \tau_i \cdot [\tilde{p}(t_1, a_1, 1) \ldots \tilde{p}(t_i, a_i, i)] + \tau_0 \sum_{i=1}^{M} [\tilde{p}(t_1, a_1, 1) \ldots \tilde{p}(t_{1-1}, a_{i-1}, i-1) \ldots (1 - \tilde{p}(t_i, a_i, i))]$$

bu yerda bajarilgan amallar soni $M = Q_{p+1}$ ga teng. Asosiy maqsad $E[C]/E[L]$ nisbatini minimallashtirishdan iborat deb qaraladi. Renewal Reward Process teoremasiga asosan, bu qiymat uzoq muddat davomida (jarayon cheksiz davom etadi deb faraz qilinganda) vaqt birligiga to‘g‘ri keladigan xarajatni ifodalaydi. Hatto bitta sikl uchun ham bu ko‘rsatkich vaqt birligiga to‘g‘ri keladigan xarajatni baholashda yaxshi mezon hisoblanadi, chunki alohida amallarning xarajatlari va davomiyliklaridagi o‘zgaruvchanlik unchalik katta emas.

Maqsadni minimallashtirish kerak, bunda shart sifatida futerovkaning issiqlik qarshiligi har doim R_{min} dan katta bo‘lishi lozim. Masala oddiyroq tuzilma va cheklov shakliga ega emasligi, shuningdek turli boshqa ma’lumotlar faqat eksperimental natijalar olingandan keyin ma’lum bo‘lishi sababli, jarayon haqidagi ma’lumotlardan foydalangan holda to‘liq enumeratsiya (har bir ehtimoliy variantni tekshirish) optimallashtirish masalasini yechish uchun mos hisoblanadi. Odatda, yangi futerovka 800 ± 1500 ta suyuqlantirishdan keyin qilinishi kerak. Birinchi qisman ta’mirlash 15 ± 40 ta suyuqlantirishdan keyin amalga oshiriladi, ikki ta’mirlash orasidagi suyuqlantirishlar soni esa 15 dan 50 gacha o‘zgaradi.

MUHOKAMA

Induksion pechining futerovkasining yemirilishi bilan bog‘liq masalalarni muhokama qilindi, shuningdek, bunday pechning samaradorligini oshirishi mumkin bo‘lgan amaliyotlarni rivojlantirish masalalarini ko‘rib chiqildi. Shu maqsadda jarayon “Renewal Reward Process” sifatida ko‘riladi. Tahlilda jarayon bilan bog‘liq turli taxminlar mavjud, masalan, sekin yemirilishi sodir bo‘lganda futerovka ma’lum qalinlikda ma’lum bir amal ta’sirida yeyiladi. Bunday taxminlarning to‘g‘ri yoki noto‘g‘ri ekanligini faqat amaliyotga joriy qilgandan so‘ng isbotlash mumkin. Biroq tajribalar quyidagi maqsadlar uchun zarur: (i) futerovkaning turli qalinliklarida turli amallar bajarilganda xarajat va vaqtni aniqlash; (ii) futerovka materiallarining issiqlik

o‘tkazuvchanligi yuqori haroratga ta’sir qilganda qanday o‘sishini aniqlash. Ehtimolliklar jarayon bo‘yicha mutaxassislarning tajribasiga asoslangan subyektiv baholar bo‘lishi lozim.

Optimal jarayonni aniqlash uchun tuzilgan optimallashtirish masalasi chiziqsiz butun sonli masala hisoblanadi. Biroq, o‘zgaruvchilar soni juda kam bo‘lgani uchun (uchta butun sonli o‘zgaruvchi va bitta uzluksiz o‘zgaruvchi), masalani to‘liq hisoblash orqali yechish mumkin. Shu sababli, ushbu holatda optimallashtirish masalasini yechish katta yuk bo‘lmaydi. Tahlilda yangi futerovkaning qalinligi va qisman ta’mirlashdan keyingi qalinlik parametr sifatida olinadi. Ularni o‘zgartirish mumkin, lekin buning uchun yanada batafsil tajribalar o‘tkazish zarur. Shuningdek, ushbu holatda, yuqori haroratlarda futerovkaning mustahkamlik koeffitsienti kabi omillarni ham e’tibordan chetda qoldirmaslik kerak.

Ushbu maqolada taqdim etilgan metodologiyani (yoki unga o‘xshash boshqa usullarni) amalda qo‘llashni tavsiya qilinadi. O‘rta chastotali induksion pechining futerovkasini to‘g‘ri loyihalash va texnik xizmat ko‘rsatish orqali uning ishlab chiqarish samaradorligini oshirish uchun aniq imkoniyatlar mavjud. Garchi bunday ish uchun zarur bo‘lgan ma’lumotlar hajmi juda katta bo‘lsa-da, undan olinadigan foyda sezilarli bo‘ladi.

XULOSA

O‘rta chastotali induksion pechlarda futerovkani optimal loyihalash ishlab chiqarish samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, futerovkaning qalinligini to‘g‘ri tanlash va suvash ishlarini optimal muddatlarda amalga oshirish orqali pechning ishlash samaradorligini sezilarli darajada oshirish mumkin. Futerovkaning haddan tashqari yupqalashuvi issiqlik yo‘qotishlarini ko‘paytirsa, ortiqcha qalinlik esa energiya sarfini oshiradi. Shu sababli optimal qalinlikni aniqlash va uni saqlab turish muhimdir.

Bundan tashqari, futerovkaning texnik xizmat ko‘rsatish strategiyasini to‘g‘ri tashkil etish, ya’ni suvash ishlarini o‘z vaqtida bajarish, uning xizmat muddatini uzaytiradi hamda kutilmagan nosozliklarning oldini oladi. Umuman olganda, futerovka parametrlarini ilmiy asosda tanlash va boshqarish induksion pechlarning samarali va ishonchli ishlashini ta’minlaydi.

Adabiyotlar

[1]. Saidmakhamadov N J. Khasanov., N. Kholmirzaev., B. Tojiboev., E. Dilshodbek, Kh.Makhammadjanov, A. Bektemirov., F. Arabbaeva., A. Otakuziev Development of technology for obtaining thin-walled details from gray cast iron in sand-clay moulds International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics, 2024, Issue 18

[2]. Nosir Saidmakhamadov, Nozimjon Kholmirzaev, Valida Bekchanova, Furkat Odilov, Ibrokhimjon Tukhtaboev, Bokhodir Karimov, Murodilla Gaybullaev Analysis of Technologies for İmproving Steel Purity by Controlling Slag Content In Proceedings of the 10th International Conference on Internet of Things, Big Data and Security (IoTBDS 2025), pages 27-38 ISBN: 978-989-758-750-4; ISSN: 2184-4976 https://www.scitepress.org/Papers/2024/142686/142686.pdf

[3]. Saidmakhamadov N., Abdullaev K.Kh., Mamashaev M.A., Babaev N.O., Usmanov B.B. Testing the fluidity of 65Г steel Modern American Journal of Engineering, Technology, and Innovation ISSN(E): 3067-7939 Volume 01, Issue 08, November, 2025 Website: usajournals.org This work is Licensed under CC BY 4.0 a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

[4]. Saidmakhamadov Abdullaev K.Kh., Mamashaev M.A., Babaev N. O., Usmanov B. B. Analysis of the Fluidity of 35ХГСЛ Steel Alloy European journal of life safety and stability (EJLSS) ISSN2660-9630 www.ejlss.indexedresearch.org Volume 56, 2025 https://ejlss.es/index.php/ejlss/article/view/152

[5]. N. Kholmirzaev., N. Saidmakhamadov, J. Khasanov., Sh. Saidkhodjaeva., A.Bektemirov., B. Yusupov., I.Nosirkhujaev., N.Sadikova Analysis of the Technology for Reducing the Amount of Gas Pores and Non-Metallic Inclusions in Liquid Steel Alloys In Proceedings of the 4th International Conference on Research of Agricultural and Food Technologies (I-CRAFT 2024), pages 248-252 ISBN: 978-989-758-773-3; ISSN: 3051-7710 Proceedings Copyright © 2025 by SCITEPRESS– Science and Technology Publications, Lda https://www.scitepress.org/Papers/2024/142608/142608.pdf.

VIBRATSION SARALASH MASHINASINING QUVVATINI OPTIMAL QIYMATINI ANIQLASH

A.X. Umurzaqov[1], K.R. Oqyo‘lov[2]

[1]*Namangan davlat texnika universiteti,*
[2]*Farg‘ona shahar 4-son texnikumi,*
Oqyolov93@inbox.ru
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Mazkur maqolada kartoshka tuganaklarini saralash uchun ishlab chiqilgan mashinaning optimal quvvatini aniqlash tahlili keltirilgan. Kartoshka saralash mashinasida vibratsion harakatni vujudga keltiruvchi eksentriklar ham bayon qilingan.
Tayanch so‘zlar: *saralash, vibratsiya, ishchi yuza, mustahkamlik, burovchi moment, quvvat, tebranma harakat.*
В данной статье приведён анализ определения оптимальной мощности машины, разработанной для сортировки клубней картофеля. Также описаны эксцентрики, создающие вибрационное движение в машине для сортировки картофеля.
Ключевые слова: *сортировка, вибрация, рабочая поверхность, прочность, крутящий момент, мощность, колебательное движение.*
This article presents an analysis of determining the optimal power of a machine developed for sorting potato tubers. The eccentrics that generate vibrational motion in the potato sorting machine are also described.
Keywords: *sorting, vibration, working surface, strength, torque, power, oscillatory motion.*

Ayni paytda O‘zbekistonda kartoshka ishlab chiqarishga katta e’tibor qaratilmoqda. Mavjud imkoniyatlarni amaliyotda to‘liq ishga solish orqali sohani tubdan isloh qilish hamda aholini kartoshkaga bo‘lgan talabini qondirish bo‘yicha davlat darajasida turli imtiyozlar ishlab chiqilmoqda va amaliyotga joriy etilmoqda.

O‘zbekistonda kartoshka hosili hajmining asosiy qismini yuqori samaradorlikka ega bo‘lgan texnikalardan foydalanib, mexanizasiyalashgan texnologiyada yetishtirishga o‘tish jarayoni amalga oshirilmoqda. Qator xorijiy firmalar tomonidan kartoshkachilikda qo‘l mehnatini kamaytirish va mahsulot sifatini oshirish uchun maxsus texnikalarni ishlab chiqishga yo‘naltirilgan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Ushbu yo‘nalishda, jumladan katroshkani o‘lchamlari bo‘yicha saralaydigan, maxsulotni kam shikastlaydigan, ish unumi yuqori bo‘lgan va resurstejamkorlikni ta’minlaydigan texnika vositalarini ishlab chiqish muhim vazifalardan hisoblanadi [1].

Muammo: Xozirgi kunda Respublikamizda qishloq xo‘jaligini, xususan, kartoshka yetishtirishda mehnat va energiya sarfini kamaytirish kerak. Fermerlar yetishtirayotgan kartoshkalarni yeg‘ishtirish va saralash mashinalari yetarlicha emas, bundan tashqari omborlardagi bir necha ming tonna kartoshkalarni saralashga juda ko‘plab ishchi qo‘l mexnati kerak bo‘ladi.

Tadqiq etilayotgan vibratsion kartoshka saralash mashinasining quvvat sarfini aniqlashga alohida e’tibor qaratiladi. Kartoshka saralash mashinasining quvvatini quyidagicha ifodalandi:

$$P = T \cdot \omega, \tag{1}$$

bunda T – kartoshka saralash mashinasi validagi burovchi moment, Nm; ω-kartoshka saralash mashinasi valining burchak tezligi, rad/s.

Rotatsion mashinalarda ishchi organlarni harakatga keltirishda aylanma kuch muhim ahamiyatga ega. Ushbu aylanma *P* kuchni quyidagicha ifodalaymiz [2; 222-b.]

$$F = \frac{2T}{D_{sh}}, \tag{2}$$

bunda *M*-kartoshka saralash mashinalari vallaridagi burovchi moment, N·m; D_{sh} -shkiv diametri, m.

Yuritmaning umumiy foydali ish koeffitsiyentini aniqlaymiz.

$$\eta = \eta_1^2 \eta_2^2 \eta_3 = 0{,}99^2 \cdot 0{,}97 \cdot 0{,}70 = 0{,}672 \tag{3}$$

bunda η_1- bir juft podshipnikni F.I.K; $\eta_1 = 0{,}99$, [3; 55-b., 1.1-j.] η_2- tasmali uzatmani F.I.K; η_2=

0,97, [4; 279-b.]; η_3 – elektr yuritmani F.I.K, η_3*-0,70*

Talab etilgan elektrodvigatelni quvvati quyidagicha:

$$N = \frac{PV}{\eta}. \quad (4)$$

Yetaklanuvchi shkivning burchakli tezligi quyidagicha topiladi:

$$\omega_{sh} = \frac{2V}{D}, \quad (5)$$

bunda *V* – ishchi yuza tezligi, *V=1,32 m/s;* D – shkiv diametri, D=0,035 m.

$$\omega_{sh} = \frac{2V}{D} = \frac{2 \cdot 1,32}{0,035} = 75,4 \text{ rad/s.}$$

Yetaklanuvchi shkivni aylanishlar chastotasi;

$$n_{sh} = \frac{30\omega_{sh}}{\pi} = \frac{30 \cdot 75,4}{3,14} = 726 \frac{ayl}{min},$$

$$T = \frac{N}{\omega} = \frac{1500}{75,4} = 19,9 \text{ Nm.}$$

Yuqoridagilarni e'tiborga olgan holda, [3; 390-b.] adabiyotdan $N_{dv} = 1,5\ kW$, S=1,7%, $n_{dv} = 750\ ayl/min$ bo'lgan 4A100L8 markadagi asinxron elektrodvigatelni tanlab olindi.

Vallarning loyixaviy hisobida, tasir qiluvchi burovchi moment asosida valning uchi konsol qismining diametri aniqlanadi. Qolgan qismlarning diametri ularga o`rnatilgan detallarni o'q bo'yicha siljitishning iloji bo'lishi hamda texnologik sabablarga ko'ra belgilanadi.

Agar vibratsion harakatni hosil qiluvchi eksentrik kulachok kinematik bog'langan vali elektrodvigatel vali bilan to'gridan – to'gri mufta orqali biriktrilsa dvigatel valining diametri va muftaning imkoniyatlari hisobga olinadi. Biroq, biz taklif qilgan vibratsion mexanizmda tasmali uzatma orqali shkivlar yordamida burovchi momentni uzatadi.

Xisoblash sxemasini tanlashda, val tayanchlari uch xil ko'rinishda bo'lishi mumkin: qo'zg'almas sharnir, qo'zg'aluvchan sharnir hamda bir tomonlanma siqilgan bo'lishi mumkin. Bunda podshipnikka radial hamda bo'ylama kuchlar ta'siri bo'lganda qo'zg'almas sharnirli tayanch, faqat radial kuchlar tasiri bo'lganda qo'zg'aluvchan sharnirli tayanchlar olish tavsiya etiladi.

Valga o'rnatilgan tishli g'ildiraklar o'zaro ilashganda yuklanish bu g'ildiraklarni butun eni bo'yicha ta'sir etadi, lekin hisob uchun bu kuchlar bir nuqtaga ta'sir qiladi deb qabul qilinadi. Agarda valga ta'sir qiluvchi kuchlar o'rtasidagi burchak 30^o gacha bo'lsa, bunda bitta tekislik deb qaraladi.

Vallarni taqribiy hisoblashda eng xavfli kesimining diametri quyidagicha aniqlanadi.

$$d = \sqrt{\frac{M_{экв}}{0,1 \cdot [\sigma]_{эг}}}, \quad (6)$$

bunda $[\sigma]_{Eg} = 50 \div 60MPa$ egilishdagi kuchlanishni ruxsat etilgan qiymati;

$$M_{экв} = \sqrt{M_y^2 + T^2}. \quad (7)$$

Yetaklanuvchi shkiv mahkamlangan valning diametrini quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$d = \sqrt[3]{\frac{T}{0,2[\tau]}}, \quad (8)$$

bunda *T* – g'ildirak validagi burovchi moment, Nmm; τ-transmissiya vallari uchun urinma kuchlanishning ruxsat etilgan qiymati, MPa (τ =20…30 MPa).

Topilgan taxminiy diametrga asoslanib, valning tuzilishi chama bilan chizib olinadi. Bunda valning istalgan kesimidagi kuchlanishning iloji boricha bir xil bo'lishiga harakat qilish lozim.

Buning uchun valning aylanuvchi detal o‘rnatilgan o‘rta qismini yo‘g‘onroq qilib, tayanchlarga yaqinlashilgan sari ingichkalashtirib borish tavsiya etiladi. Valning chetki qismi diametrini tanlashda uni standartdan olinadigan dumalash podshipniklariga yoki elektrik dvigatellar valiga mos keltirish kerakligini nazarda tutish lozim. Bundan tashqari, pog‘onali vallarning diametrlari o‘zgaradigan joyda ortiqcha kuchlanishlar konsentratsiyasi hosil bo‘lmasligi uchun bu joy qirrali bo‘lmasdan, ma’lum radius bilan dumaloqlanishi (galtel hosil qilinishi) kerak. Valning tuzilishi qo‘yilgan talabga to‘la javob berishiga ishonch hosil qilingach, uning mustahkamligi tekshirib ko‘riladi.

Vallarni mustahkamlikka hisoblash taxminiy, taqribiy va aniqlashtirilgan usulda toliqishga hisoblanadi. Vallarni loyihalashda uning diametral o‘lchamlarini statik mustahkamligi taxminiy usulda aniqlanadi. Bunda dastavval hisoblashga doir shakl tuziladi. Bu holda valning og‘irligi hisobga olinmaydi, val orqali uzatilayotgan kuch va momentlar g‘ildirak eniga qo‘yilgan deb hisoblanadi.

Statik mustahkamlikka hisoblash:

1) Vallarni egilishga hisoblash

Tekshirish uchun:
$$\sigma_F = \frac{M}{0{,}1 \cdot d^3} \le [\sigma_F] \qquad (9)$$

Loyixalash uchun:
$$d = \sqrt[3]{\frac{M}{[\sigma_F]}}, \qquad (10)$$

bunda $[\sigma_F]$ – joiz kuchlanish, MPa; $0{,}1d^3 = W$ – val kesimining egilishdagi qarshilik momenti, мм^3.

2) Vallarni buralishga hisoblash

Tekshirish uchun:
$$\tau = \frac{T}{0{,}2 \cdot d^3} \le [\tau], \qquad (11)$$

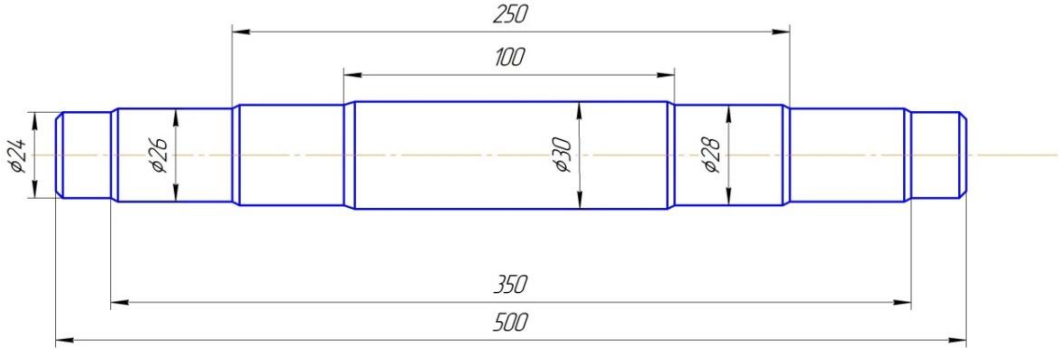
Loyixalash uchun:
$$d = \sqrt[3]{\frac{1000T}{0{,}2[\tau]}}, \qquad (12)$$

bunda T- burovchi moment, Nm; $[\tau]$ = (20 ÷ 30) MPa – transmission vallar uchun; 0,2 $d^3 = W_P$ - val kesimining qutb qarshilik momenti, мм^3.

$$d_{dv} = \sqrt[3]{\frac{T}{0{,}2[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{19{,}9 \cdot 1000}{0{,}2 \cdot 20}} = 17{,}09 \text{ mm.}$$

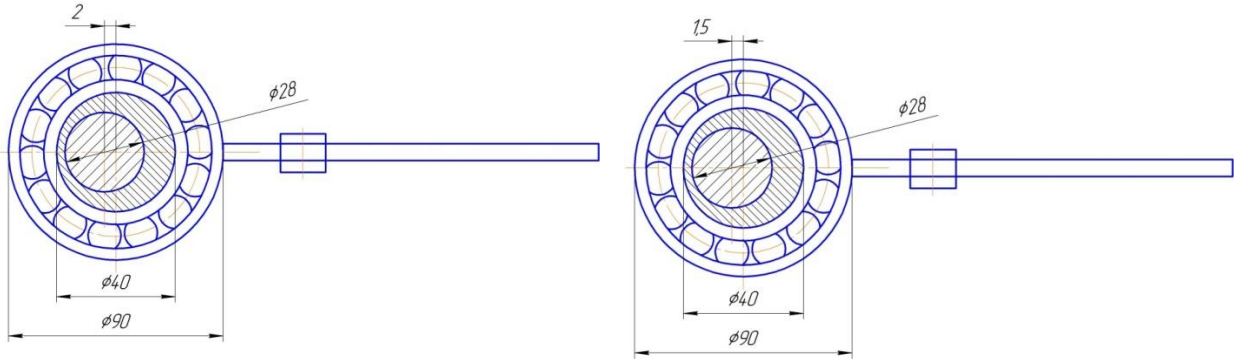
Demak, $d_v = 0{,}8 \cdot d_{dv}$ =24 mm deb qabul qilamiz. Ushbu valning birinchi pog‘onasiga yetaklanuvchi shkiv kinematik mahkamlanadi, ikkinchi pog‘onasiga tayanch podshipniklar va keyingi pog‘onasiga esa eksentrik kulachoklar kinematik bog‘lanadi (1-rasm).

Tahminiy usul bo‘yicha aniqlangan valning diametri GOST bo‘yicha tanlab olinadi va valning boshqa o‘lchamlariga tuzatish kiritiladi.



1-rasm. Valning konstruktiv sxemasi.

Yuqoridagi 1-rasmda tasvirlangan valning uchinchi pog‘onasiga kinematik bog‘langan eksentrik kulachoklarning eksentrisitetlari bir birlaridan farq qiladi, chunki, vibratsion harakat amplitudasi ham turlicha bo‘lgan. Sababi ishchi yuzada kartoshka tuganaklari ham ilgarilanma ham aylanma harakatda bo‘lishligi muhimdir (2-rasm).



a) b)

2-rasm. Eksentrik kulachok, a-eksentrisiteti 2 mm va b-eksentrisiteti 1,5 mm.

Ishchi yuzalarni po‘lat simli arqonlar yordamida mashinaning yuqori staninasiga osib qo‘yilgan. Agar ishchi yuza va uning ustuga tushadigan kartoshka tuganaklari uyumi 17 kg va 50 kg bo‘lsa, u holda po‘lat simli arqonlarni mustahkamlikka hisoblab diametrini aniqlaymiz.

Po‘lat simli arqon tarmog‘idagi eng katta taranglik kuchini quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$S_{max} = \frac{Qg}{2a_n\eta} = \frac{670 \cdot 9{,}81}{2 \cdot 1 \cdot 0{,}98} = 3353 \text{ N}, \qquad (13)$$

bunda S_{max} – arqon tarmog‘idagi maksimal ish kuchi, N; Q – ishchi yuza va kartoshka uyumini birgalikdagi og‘irlik kuchi, N; a_n – polispast koeffitsiyenti; η –po‘lat sim arqonning F.I.K.

Hosil bo‘lgan kuchga qarab “III-1.1 ilova”[1] dan po‘lat sim arqonning diametrini tanlab olish mumkin. Ushbu ilovaga asosan diametri 4 mm bo‘lgan po‘lat sim arqondan foydalanish mumkin.

O‘tkazilgan nazariy tadqiqotlarga asoslangan holda saralash mashinasining tahminiy 3D ko‘rinishini loyihalab chiqildi.

Yuqorida takidlanganidek, kartoshkani saralash qurilmalari orasida konstruksiyasiga ko‘ra sodda va boshqa turdagilarga nisbatan saralash aniqligi yuqoriroq bo‘lgan qurilma ishchi yuzasi elakli bo‘lgan saralash mashinasi hisoblanadi. Ishchi yuzasi elak ko‘rinishida bo‘lgan kartoshka tuganaklarni saralash va tozalash mashinalarining turli ko‘rinishlari mavjud bo‘lib, ular bir - biridan saralash yuzasining tayyorlanishiga ko‘ra farq qiladi [5; 31-38-b.].

Vibratsion elak ko‘rinishidagi saralash mashinalarining umumiy kamchiligi shundan iboratki, ish jarayonida ishchi yuzaga berilayotgan vibratsiyaning amplitudasi va chastotasini hamda gorizontal qiyaligining qiymatlarini to‘g‘ri tanlanmaganligi sababli mashinaning ish unumi va saralash aniqligi kamayib ketishidadir [5; 31-38-b.].

Demak, kartoshka saralash mashinasining quvvati *N=1,5 kW* dan kam bo‘lmasli zarur ekan.

3-rasm. Taklif qilingan mashinaning kompyuter dasturlari yordamida chizilgan ko‘rinishi.

[1] B.N.Davidboyev, N.B.Davidboyeva Qishloq xo’jaligida ko’tarish transport mashinalari // Farg’ona 2024-y.

Saralash mashinasining konstruksiyasini ishlab chiqishda yuqoridagi parametrlarga asoslanib loyihalash va yasash amalga oshiriladi.

Yuqoridagi kamchilikni inobatga olgan holda yuqori samaradorlikka ega bo‘lgan yangi konstruksiyadagi vibratsion kartoshka saralash mashinasi tavsiya etilmoqda (3-rasm) [5; 31-38-b.].

Xulosa. Kartoshkani saralash qurilmalari orasida konstruksiyasiga ko‘ra sodda va boshqa turdagilarga nisbatan saralash aniqligi yuqoriroq bo‘lgan qurilma ishchi yuzasi elakli bo‘lgan saralash mashinasi yaqqol ko‘rindi. Tadqiqotlar natijasida vibratsion harakatni saralash mashinasiga qo‘llash orqali kartoshka tuganaklarini tashqi o‘lchamlariga ko‘ra fraksiyalarga ajratadigan qurilma konstruksiyasi taklif etildi hamda kartoshka saralash mashinasining quvvati $N=1,5\ kW$ dan kam bo‘lmasli aniqlandi.

Adabiyotlar

[1]. A.H. Umurzaqov, B.T.Umarov, K.R.Oqyo‘lov. Kartoshka saralash mashinalarining qiyosiy tahlil // FarPI ilmiy-texnika jurnali. – Farg‘ona: Scientific-technical journal. – 2022. – T. 26. – №5. 71-75. b.

[2]. https://www.ferpi.uz/admin/uploads/global/jurnal_ferpi/2022-5-son.pdf

[3]. Umurzaqov Akramjon Hakimovich, & Oqyo‘lov Kamoliddin Raxmat O‘g‘li (2022). Kartoshka saralash mashinasidagi vibratsion ishchi yuzaning gorizontga nisbatan maqbul qiyaligini aniqlash. Механика и технология, 3 (8), 31-38. https://www.mextex.uz/file/mex-tex-8.pdf

[4]. Иванов М.Н. Детали машин. – Москва: “Высшая школа”, 2000. – 384 с.

[5]. Курсовое проектирование деталей машин. С.А. Чернавский и др. “Машиностроение” 1987 г.

[6]. SH.A. Shoobidov. Mashina detallari: darslik/ - T.: «0‘zbekiston milliy ensiklopediyasi» Davlat ilmiy nashriyoti, 2014. - 444 b.

ТАКОМИЛЛАШТИРИЛГАН КОЛОСНИКЛИ ПАНЖАРАНИ УХК АГРЕГАТИ САМАРАДОРЛИГИГА ТАЪСИРИ

Р.Ш. Сулаймонов[1], Ш.Ш. Шухратов[2]

[1]Толали экинлар илмий-тадқиқот институти

[2]Фарғона давлат университети доценти,

https://orcid.org/0000-0002-9626-7193

(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Аннотация. *Уйчи пахта тозалаш корхонасидаги пахтани майда ва йирик ифлосликлардан тозалаш технологик тизимидаги УХК агрегатини пахтани йирик ифлосликлардан тозалаш ва регенерациялаш секциялари қобирғали колосникли панжаралар билан такомиллаштирилди. Такомиллаштирилган УХК агрегатида I ва III нав 2-синфли пахталарни тозалашда тозаланган пахтанинг ифлослиги навлар бўйича ўртача 1,05 % ва 1,31 % ни ташкил этиб, амалдаги УХК агрегатида тозаланган пахтага қараганда сифати 0,2 ва 0,62 (абс)% га яхшиланди. Пахтани тозалашда агрегатнинг тозалаш самарадорлиги навлар бўйича 81,6 % ва 88,4 % ни ташкил этиб, амалдаги агрегат тозалаш самарадорлигига қараганда 3,5 ва 5,5 (абс)% га юқори эканлигини кўрсатди. Пахтани тозалашда чиқиндига ажралган пахта бўлакчасининг миқдори чиқинди массасига нисбатан навлар бўйича ўртача 16,4 % ва 19,3 % ни ташкил этиб, амалдаги УХК агрегатида чиқиндига ажралган пахтага қараганда 2,8 ва 3,2 (абс)% кам миқдорда пахта бўлакчаси ажралди. Пахтани жинлашдан ишлаб чиқарилган тола жиндан кейин ўрнатилган 1ВПУ русумли тола тозалагичда тозаланганда тозаланган толанинг ифлослиги навлар бўйича ўртача 1,96 % ва 3,0 % ни ташкил этиб, сифати амалдагига қараганда 0,34 ва 0,8 (абс)% га яхшиланди ҳамда O‘zDst 632:2021 давлат стандарти бўйича I ва III нав “Олий” синфга мансублиги аниқланди.*

Ишлаб чиқаришда ўтказилган тажриба- тадқиқот ишларининг натижаси УХК агрегатини қобирғали колосникли панжара билан такомиллаштирилиши, пахтани майда ва асосан йирик ифлосликлардан тозалашда агрегат тозалаш самарадорлигининг ошишига, ишлаб чиқарилган тола сифатининг яхшиланишига олиб келишини кўрсатди.

Таянчли сўзлар: *УХК агрегати, қобирғали колосникли панжара, аррали цилиндр, сепаратор, аррали жин, тола тозалагич, пахта, тола, тозалаш самарадорлик, сифат.*

Аннотация. *На Уйчинском хлопкоочистительном предприятии в технологической системе очистки хлопка от мелких и крупных примесей агрегат УХК был усовершенствован за счёт*

оснащения секций очистки хлопка от крупных примесей и регенерации ребристыми колосниковыми решётками. При очистке хлопка I и III сортов 2-го класса на усовершенствованном агрегате УХК засорённость очищенного хлопка в среднем по сортам составила 1,05 % и 1,31 %, а его качество по сравнению с хлопком, очищенным на действующем агрегате УХК, улучшилось на 0,2 и 0,62 абс. %. Эффективность очистки агрегата при обработке хлопка составила по сортам 81,6 % и 88,4 %, что на 3,5 и 5,5 абс. % выше по сравнению с эффективностью очистки действующего агрегата. Количество хлопковых частиц, выделившихся в отходы при очистке хлопка, по отношению к массе отходов в среднем по сортам соста

При очистке волокна, полученного после джинирования хлопка, на волокноочистителе марки 1ВПУ, установленном после джина, засорённость очищенного волокна в среднем по сортам составила 1,96 % и 3,0 %, а его качество по сравнению с действующим вариантом улучшилось на 0,34 и 0,8 абс. %. Установлено, что в соответствии с государственным стандартом O‘zDSt 632:2021 оно относится к классу «Олий» для I и III сортов.

Результаты опытно-исследовательских работ, проведённых в производственных условиях, показали, что усовершенствование агрегата УХК путём установки ребристой колосниковой решётки приводит к повышению эффективности очистки агрегата при очистке хлопка от мелких и особенно крупных примесей, а также к улучшению качества получаемого волокна.

Ключевые слова: *агрегат УХК, ребристая колосниковая решётка, пильный цилиндр, сепаратор, пильный джин, волокноочиститель, хлопок, волокно, эффективность очистки, качество.*

Abstract. *At the Uychi cotton ginning plant, the UHK unit in the technological system for cleaning cotton from fine and coarse impurities was improved by equipping the sections for coarse impurity removal and regeneration with ribbed grate bars. When cleaning second-class cotton of Grades I and III using the improved UHK unit, the impurity content of the cleaned cotton averaged 1.05% and 1.31% by grade, respectively, and its quality improved by 0.2 and 0.62 absolute percentage points compared with the cotton cleaned using the conventional UHK unit. The cleaning efficiency of the unit during cotton processing reached 81.6% and 88.4% by grade, respectively, which was 3.5 and 5.5 absolute percentage points higher than that of the conventional unit. The amount of cotton particles discharged into waste during cotton cleaning, relative to the waste mass, averaged 16.4% and 19.3% by grade, respectively, which was 2.8 and 3.2 absolute percentage points lower than that of the conventional UHK unit.*

When the fiber produced after cotton ginning was cleaned in a 1VPU fiber cleaner installed after the gin, the impurity content of the cleaned fiber averaged 1.96% and 3.0% by grade, respectively, and its quality improved by 0.34 and 0.8 absolute percentage points compared with the conventional process. It was also established that, according to the state standard O‘zDSt 632:2021, the fiber belongs to the “Oliy” class for Grades I and III.

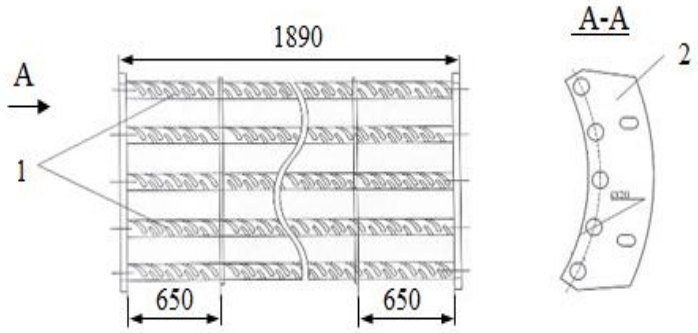
The results of the experimental studies conducted under production conditions showed that improving the UHK unit by installing ribbed grate bars leads to higher cleaning efficiency in removing fine and especially coarse impurities from cotton, as well as to an improvement in the quality of the produced fiber.

Keywords: *UHK unit, ribbed grate bars, saw cylinder, separator, saw gin, fiber cleaner, cotton, fiber, cleaning efficiency, quality.*

Кириш.

Пахта тозалаш корхоналарида пахтани майда ва йирик ифлосликлардан тозалаш учун УХК агрегати ишлатилади [1]. Агрегатнинг ҳақиқий тозалаш самарадорлиги юқори ва паст навли пахталарни тозалашда ўртача 60-70 % ни ташкил этиб, паспортидаги тозалаш самарадорлигига қараганда ўртача 10-15 % га кам эканлигини кўрсатмоқда [2] ва корхона томондан пахтани майда ва йирик ифлосликлардан тозалаш бўйича агрегатга қўйилган техник талабни бажаргани йўқ. Пахтани йирик ифлосликлардан самарали тозалаш билан ишлаб чиқариладиган тола сифатини яхшилашда олиб борилган назарий ва амалий тадқиқотлар асосида УХК агрегати учун қобирғали конструкцияли колосниклардан иборат бўлган колосникли панжаранинг муқобил параметрлари олинди [3, 4]. Олинган параметрлар асосида “Пахтасаноат илмий маркази” АЖнинг лойиҳалаш бўлимида колосникли панжара саноат-тажриба нусхасининг чизмалари тайёрланди (1- расм).

Тайёрланган чизмалар асосида қобирғали колосникларга эга бўлган колосникли панжараларнинг саноат-тажриба нусхалари “Рим устахонаси” МЧЖ корхонасида ишлаб чиқарилди (2- расм). Ишлаб чиқарилган саноат- тажриба нусха Наманган вилоятининг “Uchkurgan textile” MCHJ га қарашли Уйчи пахта тозалаш корхонасини пахтани майда ва



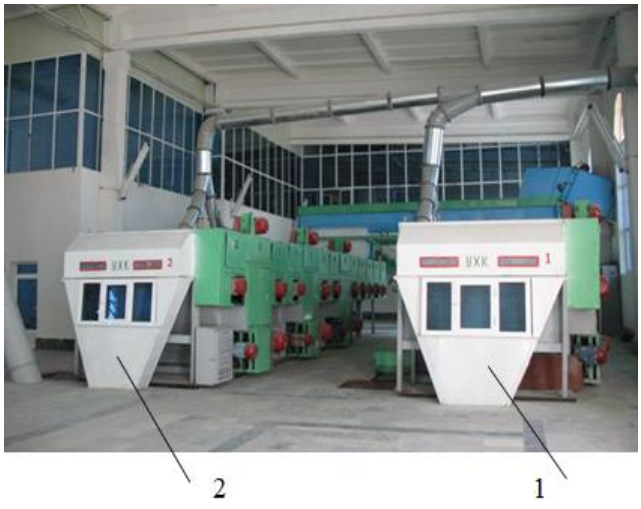
1- қобирғали колосниклар, 2- каркас. 1- расм. Такомиллаштирилган қобирғали колосникли панжарани саноат-тажриба нусхасининг чизмаси.

йирик ифлосликлардан тозалаш технологик тизимида ишлаб турган биринчи УХК агрегатини пахтани йирик ифлосликлардан тозалаш ва регенерациялаш секцияларига ўрнатилиб, агрегат такомиллаштирилди (3 ва 4- расмлар) ва технологиядаги мавжуд конструкцияли колосникли панжараларга эга бўлган иккинчи технологик тизимда ишлаб турган УХК агрегати билан таққослаш-синов тадқиқот ишлари ўтказилди.

2- расм. Қобирғали колосники панжара саноат-тажриба нусхасининг кўриниши.

3- расм. УХК агрегатини пахтани йирик ифлосликлардан тозалаш секциясига ўрнатилган такомиллаштирилган қобирғали колосникли панжарани саноат-тажриба нусхасини кўриниши.

Таққослаш-синов ишлари даврида агрегатларнинг ишлаш ҳолати, самарадорлиги, тозаланган пахта сифатига ва чиқинди таркибидаги пахта бўлакчаларининг миқдорига таъсирини ўрганиш учун технологияга ва агрегатларга берилаётган пахталардан, агрегатлардан кейинги тозаланган пахталардан, пахтани тозалашда ажралган чиқиндидан, пахтани жинлашдан сўнг толани тола тозалагичда тозалашдан ишлаб чиқарилган толалардан намуналар олиниб, корхона лабораториясида таҳлил қилинди [5, 6]. Таҳлил натижаси аниқ бўлиши учун намуналар 5 марта такрорланиб, натижаларнинг ўртача қийматлари олинди. Тахлил натижалари 5 ва 6- расмларда келтирилган.



1- такомиллаштирилган колосникли панжарали,
2- амалдаги колосникли панжарали.
4- расм. Технологик тизимдаги УХК агрегатлари.

Синов ишлари даврида агрегатларнинг иш унумдорлиги, технологик регламент асосида бўлиб, юқори

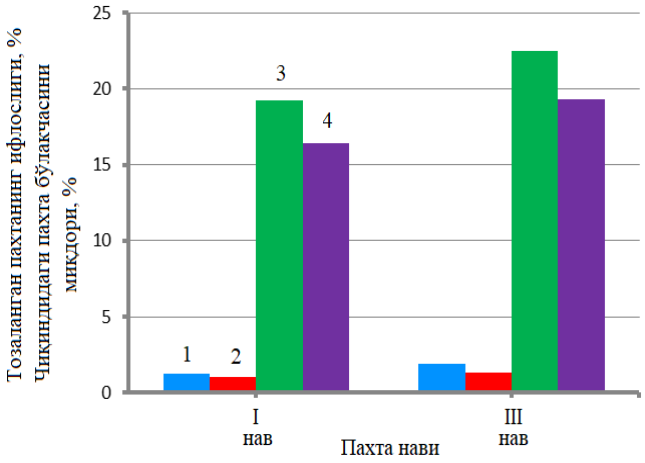
навли пахтани тозалашда 7 т/соатни, паст навли пахтани тозалашда 5 т/соатни ташкил этди [7, 8].

Тадқиқот ишлари бошланғич намлиги 10,7 % ва 12,4 %, ифлослиги 6,9 % ва 10,2 % бўлган Наманган- 77 селекцияли пахтанинг I ва III нав 2- синфида ўтказилди [9, 10]. Бунда мавжуд колосникли панжараларга эга бўлган УХК агрегатига берилган I нав 2-синфли пахтанинг намлиги ўртача 8,9 % ни, ифлослиги ўртача 5,7 % ни, пахта таркибидаги чигит шикастланиши ўртача 0,7 % ни, III нав 2- синфли пахтанинг намлиги ўртача 10,0 % ни, ифлослиги 11,3 % ни, чигит шикастланиши 1,0 % ни ташкил этди [11].

Дастлаб тажриба-таққослаш ишлари пахтанинг I нав 2-синфида ўтказилди.

I нав 2-синфли пахта УХК агрегатида тозалангандан сўнг пахтанинг намлиги ўртача 8,0 % ни, ифлослиги ўртача 1,25 % ни, пахта таркибидаги чигит шикастланиши 1,8 % ни ташкил этди. Бунда агрегатнинг тозалаш самарадорлиги ўртача 78,1 % га тенг бўлди. Пахтани тозалашда чиқиндига ажралган пахта бўлакчасининг миқдори чиқинди массасига нисбатан ўртача 19,2 % ни ташкил этди. Тозаланган пахта корхонадаги СС-15А русумли сепаратор орқали сўриб олиниб, ҳаводан ажратилди ва тизимдаги тақсимловчи шнек орқали 5ДП-130 русумли аррали жинга берилди ва жинлаш жараёни амалга оширилди [12]. Пахтани жинлашдан ишлаб чиқарилган тола 1ВПУ русумли тола тозалагичда тозаланди [13]. Бунда тозаланган толадаги нуқсонлар ва ифлос аралашмаларнинг массавий улуши ўртача 2,3 % ни ташкил этиб, толанинг сифати O‘zDst 632:2021 давлат стандарти бўйича I нав “Яхши” синфга мансублиги аниқланди [14].

Намлиги ўртача 8,9 %, ифлослиги ўртача 5,7 %, пахта таркибидаги чигит шикастланиши ўртача 0,7 % бўлган I нав 2-синфли пахта қобирғали колосниклар билан такомиллаштирилган УХК агрегатига берилиб, тозалангандан сўнг тозаланган пахтанинг намлиги деярли ўзгармади ва 8,0 % ни ташкил этди. Тозаланган пахтанинг ифлослиги ўртача 1,05 % ни ташкил этиб, амалдаги УХК агрегатида тозаланган пахтага қараганда сифати 0,2 (абс)% га яхшиланди (5- расм). Пахтани тозалашда агрегатнинг тозалаш самарадорлиги ўртача 81,6 % ни ташкил этиб, амалдаги агрегат тозалаш самарадорлигига қараганда 3,5 (абс)% га юқори эканлигини кўрсатди (6- расм).



1, 3- амалдаги агрегатда тозаланган пахтанинг ифлослиги ва чиқинди таркибидаги пахта бўлакчасининг миқдори, %, 2, 4- таклиф этилган агрегатда тозаланган пахтанинг ифлослиги ва чиқинди таркибидаги пахта бўлакчасининг миқдори, %.

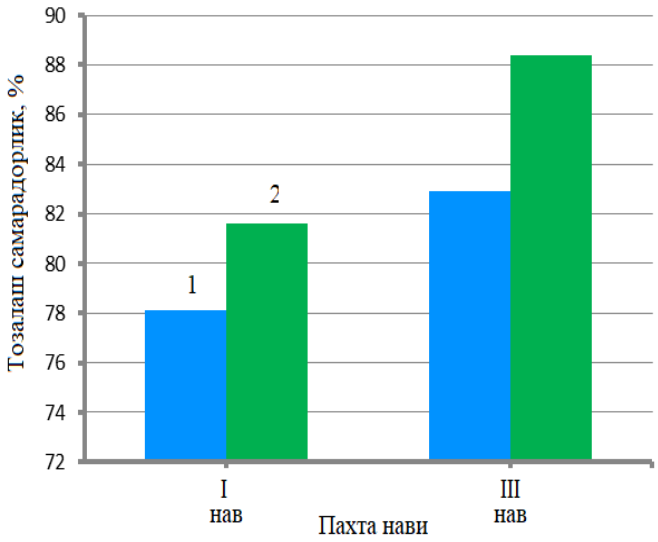
5- расм. Амалдаги ва таклиф этилган УХК агрегатларида I ва III навли пахталарни йирик ифлосликлардан тозалашда тозаланган пахта ифлослигини, чиқиндидаги пахта бўлакчаси миқдорини колосникли панжараларга боғлиқлик гистограммаси.

Пахтани тозалашда чиқиндига ажралган пахта бўлакчасининг миқдори чиқинди массасига нисбатан ўртача 16,4 % ни ташкил этиб, амалдаги УХК агрегатда чиқиндига ажралган пахта миқдорига қараганда 2,8 (абс)% кам миқдорда пахта бўлакчаси ажралди.

Тозаланган пахта СС-15А русумли сепаратор орқали сўриб олиниб, ҳаводан ажратилди ва тақсимловчи шнек орқали 5ДП-130 русумли аррали жинга берилиб, пахта жинланди. Пахтани жинлашдан ишлаб чиқарилган тола жиндан кейин ўрнатилган 1ВПУ русумли тола тозалагичда тозаланди. Тозаланган толадаги нуқсонлар ва ифлос аралашмаларнинг массавий улуши ўртача 1,96 % ни ташкил этиб, сифати амалдагига қараганда 0,34 (абс)% га яхшиланди ва O‘zDst 632:2021 давлат стандарти бўйича I нав “Олий” синфга мансублиги аниқланди.

Сўнгра тадқиқот ишлари намлиги ўртача 10,0 % ни, ифлослиги 11,3 % ни, чигит шикастланиши 1,0 % ни ташкил этган III нав 2- синфли пахтада ўтказилди. Ушбу пахта

амалдаги колосникли панжарага эга бўлган УХК агрегатида тозалангандан сўнг пахтанинг намлиги ўртача 8,8 % ни, ифлослиги ўртача 1,93 % ни, пахта таркибидаги чигит шикастланиши 2,2 % ни ташкил этди. Бунда агрегатнинг
тозалаш самарадорлиги ўртача 82,9 % га тенг бўлди. Пахтани тозалашда чиқиндига ажралган пахта бўлакчасининг миқдори чиқинди массасига нисбатан ўртача 22,5 % ни ташкил этди.



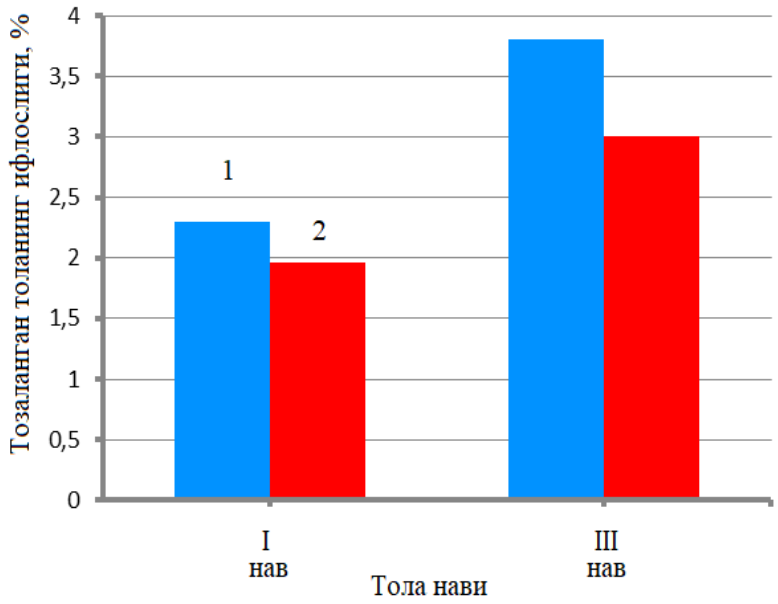
1- амалдаги агрегатнинг тозалаш самарадорлиги, %, 2-таклиф этилган агрегатнинг тозалаш самарадорлиги, %.
6- расм. Амалдаги ва таклиф этилган УХК агрегатларда I ва III навли пахталарни тозалашда агрегатларнинг тозалаш самарадорлигини колосникли панжараларга боғлиқлик гистограммаси.

Тозаланган пахта корхонадаги СС-15А русумли сепаратор орқали сўриб олиниб, ҳаводан ажратилди ва тизимдаги тақсимловчи шнек орқали 5ДП-130 русумли аррали жинга берилди ва жинлаш жараёни амалга оширилди. Пахтани жинлашдан ишлаб чиқарилган тола 1ВПУ русумли тола тозалагичда тозаланди. Бунда тозаланган толадаги нуқсонлар ва ифлос аралашмаларнинг массавий улуши ўртача 3,8 % ни ташкил этиб, толанинг сифати O‘zDst 632:2021 давлат стандарти бўйича III нав “Яхши” синфга мансублиги аниқланди (7- расм).

Намлиги ўртача 10,0 %, ифлослиги ўртача 11,3 %, пахта таркибидаги чигит шикастланиши ўртача 1,0 % бўлган III нав 2-синфли пахта қобирғали колосниклар билан такомиллаштирилган УХК агрегатига берилиб, тозалангандан сўнг тозаланган пахтанинг намлиги 8,8 % ни ташкил этди. Тозаланган пахтанинг ифлослиги ўртача 1,31 % ни ташкил этиб, амалдаги УХК агрегатида тозаланган пахтага қараганда сифати 0,62 (абс)% га яхшиланди. Пахтани тозалашда агрегатнинг тозалаш самарадорлиги ўртача 88,4 % ни ташкил этиб, амалдаги агрегат тозалаш самарадорлигига қараганда 5,5 (абс)% га юқори эканлигини кўрсатди. Пахтани тозалашда чиқиндига ажралган пахта бўлакчасининг миқдори чиқинди массасига нисбатан ўртача 19,3 % ни ташкил этиб, амалдаги УХК агрегатда чиқиндига ажралган пахта миқдорига қараганда 3,2 (абс)% кам миқдорда пахта бўлакчаси ажралди. Тозаланган пахта СС-15А русумли сепаратор орқали сўриб олиниб, ҳаводан ажратилди ватақсимловчи шнек орқали 5ДП-130 русумли аррали жинга берилиб, пахта жинланди. Пахтани жинлашдан ишлаб чиқарилган тола жиндан кейин ўрнатилган 1ВПУ русумли тола тозалагичда тозаланди. Тозаланган толадаги нуқсонлар ва ифлос аралашмаларнинг массавий улуши ўртача 3,0 % ни ташкил этиб, сифати амалдагига қараганда 0,8 (абс)% га яхшиланди ва O‘zDst 632:2021 давлат стандарти бўйича III нав “Олий” синфга мансублиги аниқланди.

Хулоса. Наманган вилоятининг “Uchkurgan textile” MCHJ га қарашли Уйчи пахта тозалаш корхонасини пахтани майда ва йирик ифлосликлардан тозалаш технологик тизимида ишлаб турган биринчи УХК агрегатидаги пахтани йирик ифлосликлардан тозалаш ва регенерациялаш секциялари қобирғали колосникли панжаралар билан такомиллаштирилди. Такомиллаштирилган УХК агрегати технологиядаги амалдаги колосникли панжараларга эга бўлган УХК агрегати билан юқори ва паст селекцион навли пахталарда таққослаш-тадқиқот ишлари олиб борилди. Бунда I ва III нав 2-синфли пахталарни қобирғали колосниклар билан такомиллаштирилган УХК агрегатида тозалангандан сўнг пахтанинг ифлослиги навлар бўйича ўртача 1,05 % ва 1,31 % ни ташкил этиб, амалдаги УХК агрегатида тозаланган пахтага қараганда сифати 0,2 ва 0,62 (абс)% га яхшиланди. Пахтани тозалашда агрегатнинг тозалаш самарадорлиги навлар бўйича 81,6 % ва 88,4 % ни ташкил этиб, амалдаги агрегат тозалаш самарадорлигига қараганда 3,5 ва 5,5 (абс)% га юқори эканлигини кўрсатди. Пахтани тозалашда чиқиндига ажралган пахта

бўлакчасининг миқдори чиқинди массасига нисбатан навлар бўйича ўртача 16,4 % ва 19,3 % ни ташкил этиб, амалдаги УХК агрегатда чиқиндига ажралган пахта миқдорига қараганда 2,8 ва 3,2 (абс)% кам миқдорда пахта бўлакчаси ажралди. Пахтани жинлашдан ишлаб чиқарилган тола жиндан кейин ўрнатилган 1ВПУ русумли тола тозалагичда тозаланганда тозаланган толанинг ифлослиги навлар бўйича ўртача 1,96 % ва 3,0 % ни ташкил этиб, сифати амалдагига қараганда 0,34 ва 0,8 (абс)% га яхшиланди ҳамда O‘zDst 632:2021 давлат стандарти бўйича I ва III нав “Олий” синфга мансублиги аниқланди.



1- амалдаги вариантда тозаланган толанинг ифлослиги, %, 2- таклиф этилган вариантда тозаланган толанинг ифлослиги, %.

7- расм. Амалдаги ва таклиф этилган вариантларда 1ВПУ русумли тола тозалагичларда I ва III навли толаларни тозалашдан ишлаб чиқарилган толанинг ифлослигини колосникли панжараларга боғлиқлик гистограммаси

Уйчи пахта тозалаш корхонасига тадбиқ этилган такомиллаштирилган қобирғали колосникли панжарали УХК агрегатида олиб борилган тажриба- тадқиқот ишларининг натижаси пахтани майда ва асосан йирик ифлосликлардан тозалашда агрегат тозалаш самарадорлигининг ошиши, тозаланган пахта жинланиб, тола тозалагичда тозаланишидан ишлаб чиқарилган тола сифатининг яхшиланишига олиб келишини кўрсатди.

Адабиётлар

[1]. Салимов А.М., Лугачев А.Е., Ходжиев М.Т. Технология первичной обработки хлопка. “Адабиёт учқунлари” . Ташкент. 2018. -184 с.

[2]. Э.Т. Максудов, А.Н. Нуралиев. Справочник по первичной обработке хлопка. Книга 1. Ташкент- «Меҳнат»- 1994- с. 257-260.

[3]. Р.Ш.Сулаймонов, Ш.Ш.Шухратов. Пахтани йирик ифлосликлардан тозалашда қобирғали колосниклар таъсирининг тадқиқоти. ФарПИ., и.т.ж., Фарғона. 2025, махсус сон №4, 13-19 б.

[4]. Сулаймонов Р.Ш., Шухратов Ш.Ш. Қобирғали колосниклар оралиқ масофасини пахта бўлакчаларидан йирик ифлосликларни ажралишига таъсири. “O‘zbekiston yengil sanoati raqobatbardoshligini oshirish dolzarb masalalari: innovatsion yechimlar va raqamli integratsiya” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjumani. 2025-yil 23-24 oktyabr Nam.DTU. 10-18 b.

[5]. O‘zMSt 387:2024. Пахта. Намуна танлаб олиш усуллари. Тошкент. 2024.

[6]. O’zMSt 424:2024. Пахта толаси. Намуна танлаб олиш усуллари. Тошкент. 2024.

[7]. Пахтани дастлабки ишлашнинг мувофиқлаштирилган технологияси (ПДИ 70 –2017). А.С. Камаловнинг умумий таҳрири остида. Тошкент, 2017, 91 б.

[8]. Пахтани дастлабки қайта ишлаш (ўқув қўлланма). Э.Зикриёевнинг умумий таҳрири остида. Тошкент. «Меҳнат», 2002.- 408 б.

[9]. O’zMSt 380:2024. Пахта. Намликни аниқлаш усуллари. Тошкент. 2024.

[10]. O’zMSt 552:2025. Пахта. Ифлосликни аниқлаш усуллари. Тошкент. 2025.

[11]. O‘z DSt 597 :2008. Техник чигит. Нуқсонли чигитнинг массавий улушини аниқлаш. Тошкент. 2008.

[12]. Паспорт пильного джина 5ДП-130. Ташкент. ТГСКБ по хлопкоочистке, 1983 г.

[13]. Паспорт однобарабанного волокноочистителя типа 1ВПУ, ТГСКБ по хлопкоочистке, 1999 г.

[14]. O‘z DSt 632:2021. Пахта толаси. Нуқсонлар ва ифлос аралашмалар миқдорини аниқлаш усуллари. Тошкент, 2021, 27 б.

UDK 621.01:677.21

PAXTA TOZALASH MASHINASINI TAKOMILLASHTIRISHNING NAZARIY TAHLILI

R.M. Eshonov, N.M. Oripov

Farg‘ona jamoat salomatligi tibbiyot instituti
e-mail: eshonovravshanbek13@gmail.com
ORCID: 0009-0002-8151-3563
e-mail: konfutsiynodirbek@gmail.com
ORCID: 0009-0004-7035-7790
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Anotatsiya: *Ushbu maqolada paxtani ifloslikdan tozalash mashinasini taminlagichi takomillashtirilgan va nazariy taxlil qilingan. Ushbu ishda paxtani mayda ifloslikdan tozalashga mo‘ljallangan takomillashgan qurilmaning ishchi holati o‘rganilgan.*

Kalit so‘zi*: chigit, tola, ifloslik, taminlagich, sifat, to‘rli yuza, momiq, baraban, kuchlanish, samaradorlik, nuqson.*

Аннотация: *В данной статье усовершенствован и проведён теоретический анализ питателя машины для очистки хлопка от примесей. В работе изучено рабочее состояние усовершенствованного устройства, предназначенного для очистки хлопка от мелких примесей.*

Ключевые слова: *семён, хлопчатника, волокно, примеси, питатель, качество, сетчатая поверхность, пух, барабан, напряжение, эффективность, дефект.*

Abstract: *This article presents the improvement and theoretical analysis of the feeder of a cotton cleaning machine designed to remove impurities. The study investigates the operating condition of an improved device intended for cleaning cotton from fine impurities.*

Keywords: *cotton seed, fiber, impurities, feeder, quality, mesh surface, lint, drum, tension, efficiency, defect.*

Nazariy qism

Respublikamizda bir yilda etishtiriladigan paxtaning xajmi o’rtacha 3,0-3,2 mln. tonnani tashkil etadi. Bu xajmdagi paxtani qabul qilish, saqlash va qayta ishlash bilan bog’lik bo’lgan barcha ishlar majmuasini tashkil qilish, muvofiqlashtirish, soxada yagona ilmiy-texnik siyosatni amalga oshirish, maxsulot ishlab chikarish va iste’molchilarga etkazib berish o’ziga xos texnologik zanjirni tashkil etadi. Bu tehnologik zanjir har bir jihozning ish unumi va undan oldingi mashinalarning ish sifatiga chambarchas bog’liqdir. Mana shu masalani inobatga olgan holda paxtaning sifat ko’rsatkichlariga texnologik zanjir jihozlari ta’siri katta degan hulosaga kelish mumkin. Tolani chigitdan ajratish jarayonida tola va chigitda jinlash nuqsonlari xosil bo‘ladi. Jinlangan tola tarkibida: ulyuk, pishmagan tola, singan tola, tola bo’lakchalari, tolali chigit po‘stlog‘i, eshilgan va tuginchali tolalar bo‘lishi sababli, tolaning ifloslik bo‘yicha sifat ko’rsatkichlarini yaxshilash uchun tolani tozalash lozimdir. Bu nuqsonlar tolaning sifat ko’rsatkichlarini pasaytiradi, yigiruv sanoatida katta muammolarga olib keladi. Shuning uchun tolani presslashdan oldin tozalash muhim ahamiyatga ega.[2]

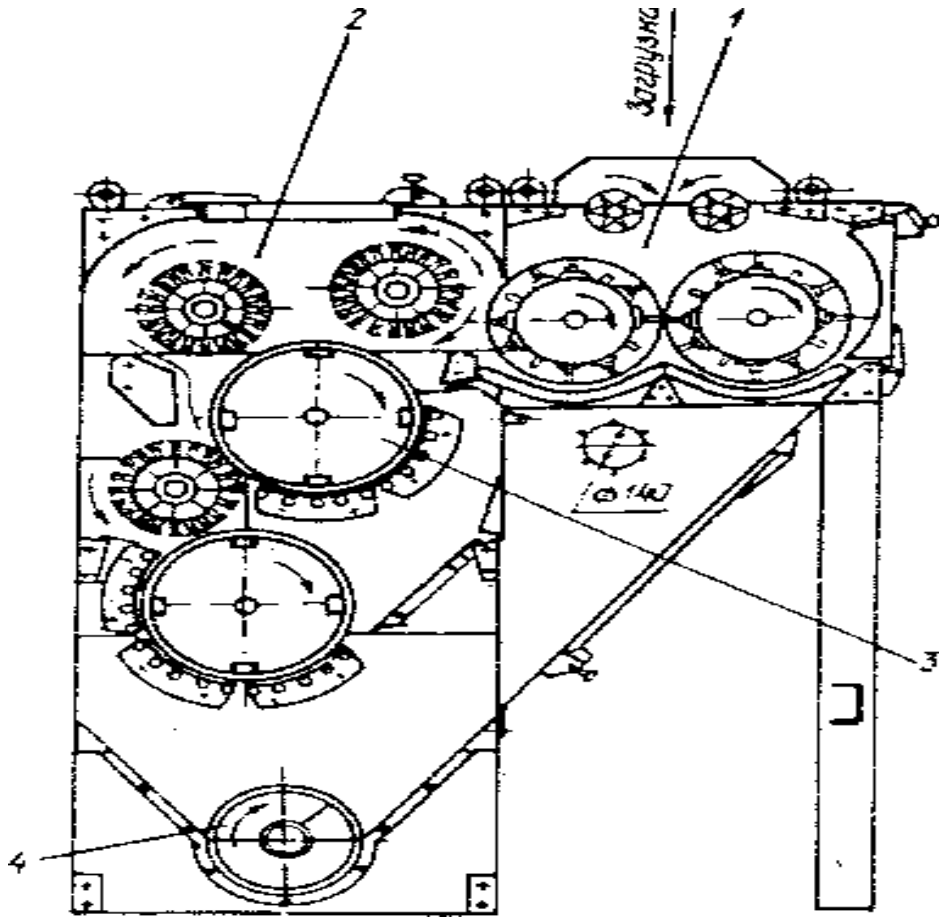
Paxta tozalash korxonalaridagi texnologik jarayonga o‘rnatilgan jihozlar samaradorligini oshirishga, ularning uzluksiz ishlashiga paxtaning tarkibi sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Paxta tarkibidagi og‘ir aralashmalar uni qayta ishlash vaqtida tozalovchi mashinalarni ishchi qismilarining hamda jin va linterlarning arralari tishlarining shikastlanishiga sabab bo‘ladi. Bunday o‘zgarish jin mashinasida chigitdan tolani ajratib olish paytida chigit va tolalarning shikastlanishiga olib keladi.[3]

Hozirgi kunga kelib paxta tozalash korxonalarida quritish va tozalash bo'limlarida “Oqim yo‘nalishli” uskunalar komplekslaridan foydalanilib, chigitli paxtani iflos aralashmalardan tozalashda birdan-bir qulay va zamonaviy texnologiya bo‘lib hisoblanadi. Haqiqatda ham “oqim yo‘nalishli” uskunalar kompleksi “УХК” rusumli bir-nechta seksiyalardan iborat bo‘lib, yordamchi

vositalar: xom ashyoni tashish, uzatish va yig‘ishtirish, transportlaridan foydalanish mutloqo bekor etiladi. Shu sababli chigitli paxtaning fizikaviy-texnologik xususiyatlariga salbiy ta'sir etuvchi kuchlar turlarini kamaytiradi. Bu o‘z navbatida paxta tozalash korxonasining asosiy mahsuloti bo'lib hisoblanadigan tola sifatini saqlashga va chigitning jarohatlanishi yoki ezilishini pasaytirishga imkon yaratadi. УХК-agregat seksiyalari uch xil bo‘lishi mumkin: УХК.01-boshlang'ich seksiyasi УХК.02-o‘rta seksiyasi, УХК.03-oxirgi seksiya

Bularning bir-biridan farqi: УХК.01-seksiyasida ta'minlovchi valiklar o'rnatilgan bo‘lsa, УХК.03-seksiyasida tozalangan paxta mashinadan chiqadigan joyiga yopiq nov o'rnatilgan. УХК.02 seksiyasi-ikki tarafidan qo‘shimcha seksiyalar ulashga moslashtirilgan bo‘lib, shu o'rta seksiya hisobiga, agregatdagi seksiyalar sonini ko‘paytirish yoki kamaytirish mumkin. Qiyin tozalanadigan paxtaning selektsion navlarini tozalashda, agregatdagi seksiyalar soni 6-7 gacha ko‘paytiriladi. Masalan: KOGT-kompleksi shu qiyin tozalanadigan paxta navlari uchun ishlatilmoqda.

Chigitli paxtani mashina terimida terilishi undagi iflosliklar miqdorini ko’payishiga olib keladi. Shuni ham hisobga olish kerakki, AQSh da 30% ga yaqin paxtani ifloslanganligi yuqori – 45% bo’lgan chanog‘i bilan teriladi. Bu esa jinlashdan oldin chigitli paxtani tozalash texnika va texnologiyani takomillashtirish zaruratini to‘g‘dirdi. Asosan ishchi organlar va mashinalarning alohida konstruktiv elementlari va umumiy texnologik jarayonda tozalagichlar joylanish modernizatsiyalanmoqda. Bundan tashqari, ko‘plab firmalar mashinalar unumdorligini oshirish maqsadida ularnig ishchi kengligi bilan ajrab turadi.



(1-rasm.) УХК.01 agregati boshlang‘ich seksiyasining texnologik sxemasi. 1-qoziqchali blok qismi, 2-cho‘tkali blok qismi, 3-arrali seksiya qismi, 4-vintli konveer(shnek).

Chigitli paxtani tozalash jarayoni quritishdan so’ng mayda iflosliklardan tozalash, keyin esa yirik iflosliklardan tozalashni ko’zda tutadi. Mayda iflosliklardan tozalashda qoziq barabanli tozalagichlar, yirik iflosliklardan esa arrachali barabanli tozalagichlar qo‘llaniladi.

УХК tozalagichning texnik xarakteristikasi

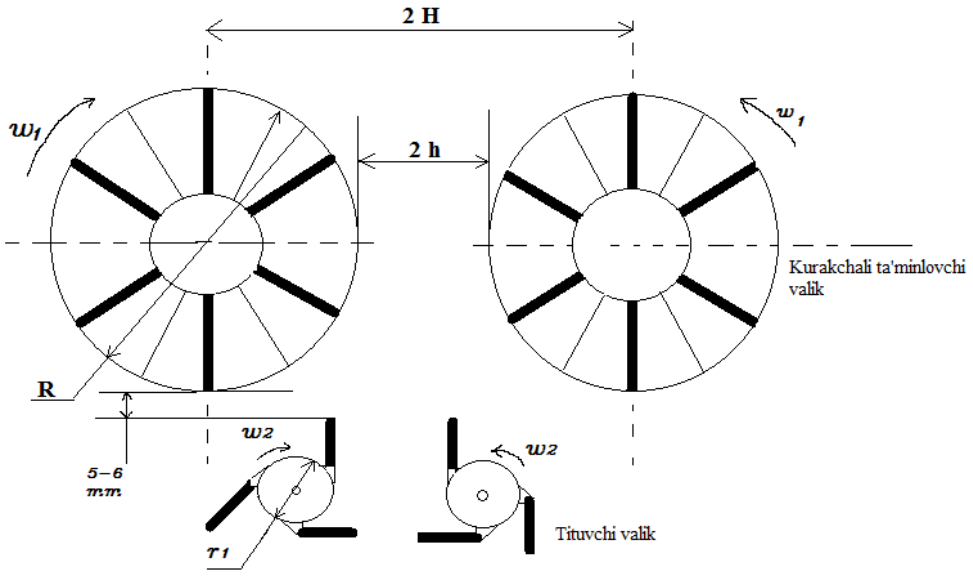
Ish unumi, t/soat	5-7
Ifloslikni tozalash effekti, %	95
Qoziqchali baraban bilan to’r orasi, mm	12…14
Arrali baraban bilan cho’tka orasi, mm	0-2
Arrali baraban bilan kolosnik orasi, mm	12…14
Ta’minlash barabanning aylanish chastotasi, min^{-1}	0-14
Arrali barabanning aylanish chastotasi, min^{-1}	300
Qoziqcha barabanning aylanish chastotasi, min^{-1}	480
Cho’tkali barabanning aylanish chastotasi, min^{-1}	945

Mexanik tozalash tola va chigini shikastlanishiga olib kelishini hisobga olib, chigitli paxta va tola tozalashning optimal sonini tanlanshga katta e`tibor qaratilgan (tozalash soni deganda chigitli paxtani tozalashda qatnashayotgan arrachali barabanlar soni nazarda tutiladi).

Texnologik jarayondagi asosiy samaradorlikni oshishi, tola va chigit shikastlanishining kamayishi bu faqatgina mashinaga chigitli paxtani bir tekisda uzatib berilishigagina emas, balki uzatilayotgan materialga mexanik ta’sirni qanday yo‘nalishda berilishiga bog‘liq. Manashu xolatlarni inobatga olib «Tabiiy tolalar» kafedrasi tomonidan ta’minlashning yangi usuli taklif etildi [1] ta’minlash valiklarining tagiga qo‘shimcha ravishda o‘rnatilgan qoziqchali tiktkilovchi barabanlar chigitli paxtani titkilagan xolda yetkazib berish imkoniyatiga ega. Valik qoziqchasining tolali material qatlamiga ta’siri iflos aralashma bilan chigitli paxtani ilashish darajasini xamda materialni zichligini kamaytiradi va chigitli paxta bilan ta’minlashni bir tekis bo‘lishini ta’minlaydi. Ma’lumki, qayta ishlanayotgan materialni tarkibida tolada «yumshoq» nuqsonlarning (ifloslik, chigitga yopishgan tola, gajaklik va tugunaklar) undan tashqari chigitning shikastlanishi tozalash jarayonining samaradorligini va tolali maxsulot sifat ko‘rsatkichlariga ta’sir qiladi.[5]

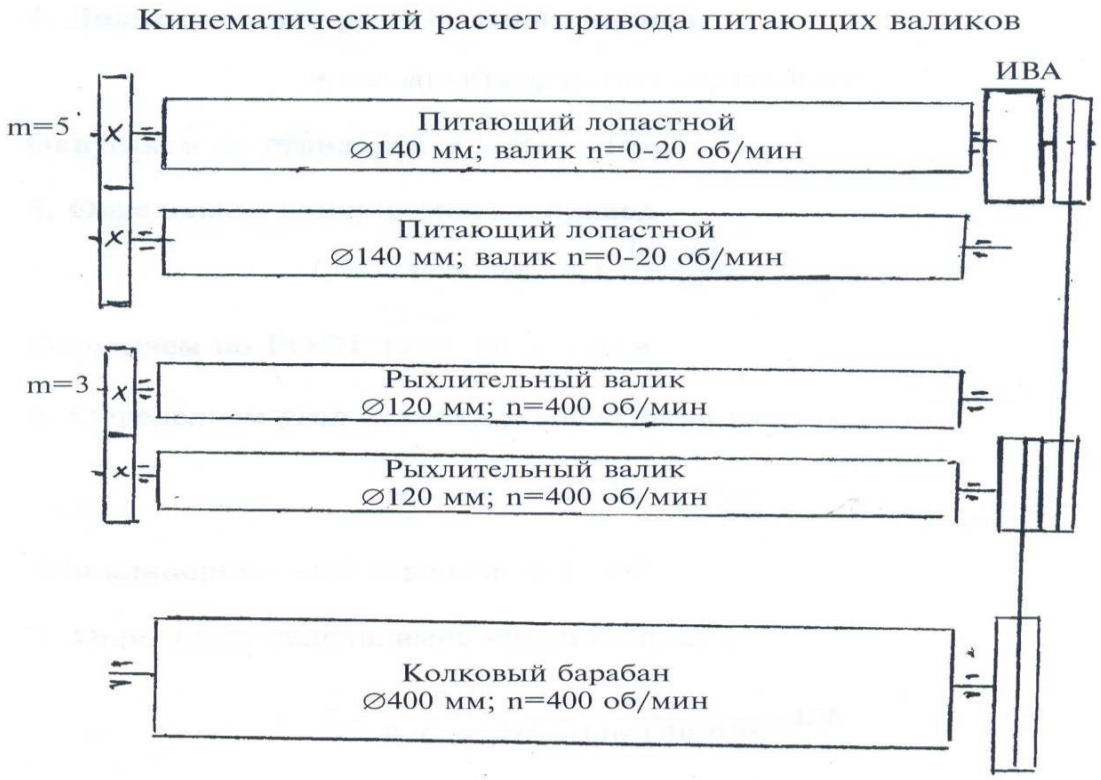
1) Yangi konstruksiyadagi ta’minlagichni yaratish quyidagi shartlarni bajarishni talab qiladi.
2) Chigitli paxta yirik bo‘laklarini bo‘laklanishini ta’minlaydigan titkilash zonasini o‘rnatish.
3) Yangi ta’minlagichning kinematik sxemasi chigitli paxta bo‘laklariga yetarlicha miqdorda deformatsiya berishini ta’minlash, bu miqdordagi kattalik letuchkalarning boglanishiga va chiqayotgan maxsulot naviga bogliq xolda belgilanadi.
4) Materialganing titkilanish zonasiga qaytib kelmasligini ta’minlash.

Taklif etilayotgan taminlagich



2-rasm.

Taminlash valiklari uzatmalarining kinematic hisobi



3-rasm.

Taminlagichning kinematik hisobi

1. Qoziqchali baraban shkivning aylanish chastotasi

$$n = n_{аб}\frac{d_{шк}}{d_{наг}}(1-0{,}03) = 280*\frac{400}{250}(1-0{,}03) = 415 \approx 400 \;\; об/мин$$

2. Titkilovchi valning aylantiruvchi uzatiladigan miqdorini aniqlaymiz;

$$T_к = 9550\frac{P}{n_{рв}} = 9550\frac{1{,}5}{400} = 35{,}81 \;\; Нм$$

3. Titkilovchi valik uzatmasining uzatish soni;

$$U = \frac{n_ч}{n_р} = \frac{400}{400} = 1{,}0$$

4. Titkilovchi valik shikivi diametric;

$$d_1 = d*u(1-E) = 0{,}135*1{,}087 = 0{,}137 \approx 0{,}137$$

Standart bo'yicha yahlitlaymiz: d_2=0,14 м=140 мм

5. Uzatma tasmasining uzunligini aniqlaymiz

$$L_p = 2*4 + 0{,}5\pi(d_1+d_2) + \frac{(d_2*d_1)^2}{40} = 0{,}71 \;\; м$$

ГОСТ 1284-80 bo'yicha yahlitlaymiz; $L_р$=0,7 м

6. Valik shkivini o'rash burchagini aniqlaymiz;

$$\alpha_1^0 = 180 - 57\frac{d_2-d_1}{a} = 173^0.10'$$

Qiya tasmali uzatma uchun $[L_1]>120^0$

7. Kerakli bo'lgan tasmalar sonini aniqlaymiz:

$$Z = \frac{P * C_p}{P_0 * C_r * C_\alpha * C_z} = \frac{1{,}5 * 1{,}3}{1{,}16 * 1 * 10 * 0{,}95} = 1{,}76$$

Z=2 dona qabul qilamiz

8. Titkilovchi valik juftligini aniqlaymiz:

$d_{дех}$=120, m=3

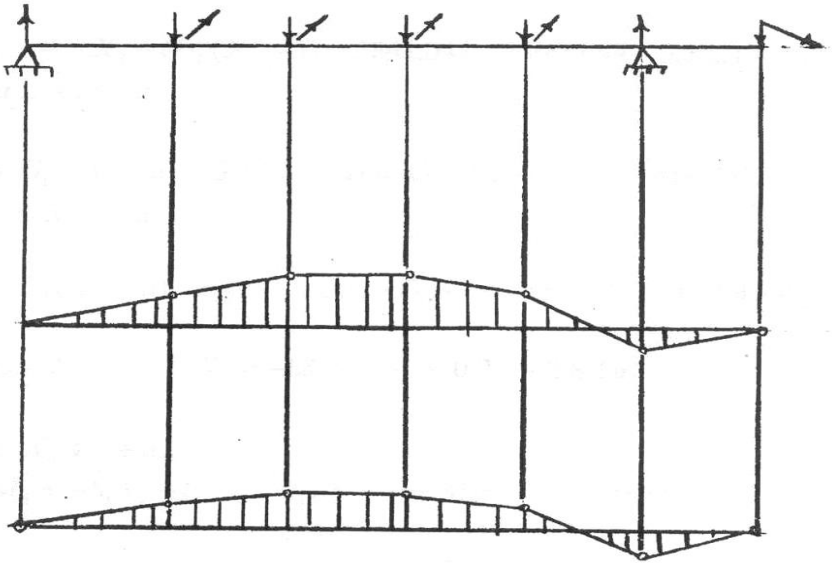
Titkilovchi valik valining kiritik

Tezliklari sonini aniqlaymiz

qabul qilamiz: 1) shkiv og'irligi $G_{шк}$= 1,5 кг= 15 Н

2titkilovchi valik og'irligi $G_в$=10 кг=100 Н

Hisobiy sxema



4-rasm.

3. Kuchlarni o'zgartirib, titkilovchi valikning tayanchlardagi reaksiya kuchlarini aniqlaymiz:

$$R_A + R_D = q \bullet l_p + G_{ш.к}; \quad G = \frac{G_б}{4} = \frac{100}{4} = 25 \ H$$

$$R_A = \frac{1}{2} \bullet \left[G \bullet (l \bullet l_0 + G_{ш.к}) \left[l \bullet \left(l_0 + \frac{l_1}{4} \right) \right] + G \bullet \left[l_p - \left(l_0 + \frac{2}{3} \bullet l_1 \right) \right] + G \bullet [l - (l_0 + l)] \right] + G_{ш.к.} + l =$$

$$= \frac{1}{1{,}95} \left[25(1{,}99 - 0{,}05) + 25 \left[1{,}95 - 0{,}05 \bullet \frac{1{,}89}{3} \right] + 25 \left[1{,}99 - 0{,}05 \bullet \frac{2}{3} \bullet 1{,}89 \right] + 25[1{,}99 - 0{,}05 \bullet 1{,}89] + 25 \bullet \right.$$

$$\left. \bullet 0{,}15 \ \right] = 46{,}4 \ H$$

$$R_A = -R_A + G_{об} = (100 + 15) - R_A = 115 - 46{,}4 = 69{,}6 \ H$$

4. Tenglamaga asosan kuchning eguchi valga nisbatan kuchini aniqlaymiz:

X=X_1=l_0=0,05 E=2*10^6 кг/см^4 bo'lganda

$$У = \frac{\pi \bullet d^4}{64} = \frac{3{,}14 \bullet 2{,}4^4}{64} = 2{,}1 \ см^4$$

$$У_{сш} = \frac{1}{ЕУ} \left(R_A \bullet X_1^3 + CX_1 \right) = \frac{1}{ЕУ} (46{,}4 \bullet 0{,}05^3 + 0{,}05 \bullet 46{,}4) = 0{,}00054$$

$$X = X_2 - \left(l_0 + \frac{l_1}{3} \right) = 0{,}62 \quad \text{bo'lganda}$$

$$У_{CT} = \frac{1}{EУ}\left(\frac{R_A \bullet X_2^3}{6} + CX_2 \right) - \frac{G(X_2 - X_1)^3}{6} = \frac{1}{EУ}\left(\frac{46{,}4 \bullet 0{,}62^3}{6} + 46{,}4 \bullet 0{,}62 \right) = 0{,}004$$

$$X = X_3\left(l_0 + \frac{2CX_3}{3} \right) = 1{,}3\ м \quad \text{bo'lganda}$$

$$У_{CT} = \frac{1}{EУ}\left(R_A \bullet X_3^3 + CX_3 \right) - \frac{G(X_4 - X_3)^3}{6} - \frac{G(X_4 - X_2)^3}{6} - \frac{G(X_4 - X_3)^3}{6} = 0{,}00068$$

$X=X_5=l=1{,}95$; $У_{ст}=0$ bo'lganda

$X=X_6=l_1+l_2=1{,}95+0{,}5=2{,}45$ м

$$У_{CT} = \frac{1}{EУ}\left(\frac{R_A \bullet X_6^3}{6} + CX_6 \right) = 0{,}000678$$

bunda

$$C_{ум} = \sum_1^m Q_1 \bullet У_{см_1} = G(У_{см_1} + У_{см2} + У_{см3} + У_{см4}) + G \bullet У_{см} = 82(0{,}00054 + 0{,}004 + 0{,}0045 + 0{,}00068) +$$

$$+ 25 \bullet 0{,}00068 = 0{,}774$$

$$C_{ум_2} = \sum_1^4 Q_1 \bullet У_{см_1} = G(У^2{}_{см_1} + У^2{}_{см2} + У^3{}_{см3} + У^4{}_{см4}) = 0{,}003$$

бунда $\varpi_{см} = \sqrt{q \frac{C_{ум_1}}{C_{ум_2}} \bullet 2\pi} = \sqrt{9{,}81 \frac{0{,}0774}{0{,}003} 23{,}14 = 125 \quad рад/с}$

$$\varpi_p \prec 0{,}7\varpi_0$$

Xulosa

Mavjud paxta tozalash uskunalari uskunalarinign ishlash jarayoni taxlil qilib chiqildi. Texnologik jarayonda uskunalarning to‘g‘ri tashkillashtirish va ishlab chiqarishga joriy etish paxta xom ashyosining shikaslanganlik darajasi pasayishi bu esa korxonaning iqtisodiy samaradorligini sezilarli darajada oshishi kuzatiladi. Paxta tolasini tozalash texnologiyasi va tozalagichlar konstruksiyalari xususiyatlarini tahlili asosida tozalash samarasini oshirish, tola sifatini saqlashni yuqori emasligi sabablari tahlili amalga oshirilgani. Tola tozalagichning arrali silindri qayishqoq elementli podshipnikli tayanchi bo‘lgan, tarkibli amortizatorli kolosnik panjarali takomillashgan konstruktiv sxemasi ishlab chiqilganligi. Yuqoridagi o‘rganib chiqilgan tozalash qurilmalarining kamchilik va afzalliklarini hisobga olgan holda ventilyator uchun yangi harakatni uzatish tizimi taklif etildi. Taklif etilgan taminlagichning afzallik tomonlari ko’rsatib berildi. Taklif etilgan taminlagichning sxemasi va ishlash jarayoni nazariy yoritib berildi.

Adabiyotlar

[1]. Ergashev Yu, N. M.Oripov, Abduqaxorov A.A.. Separatorda qo‘llangan konussimon to‘rli sirtning mayda iflosliklardan tozalash jarayonini tahlili // Scientific-technical journal (STJ FerPI, FarPI ITJ, NTJ FerPI, 2022, T.26. спец. выпуск №16) 32-37 b. (05.00.00 №20).

[2]. Sevostyanov A.G. Metodы i sredstva issledovaniye mexaniko-texnologicheskых prosessov tekstilnoy promыshlennosti. Moskva» Legkaya promыshlennost». 1980.g

[3]. N. M.Oripov, D.B. Tursunbayeva. Theoretical analysis of fibre cleaning equipment // Journal of Advanced Research and Stability Volume 04 Issue 04, Apr – 2024, p. 141-147.

[4]. ResearchBib)R.Muradov. Ways to improve the efficiency of the cotton separator. Namangan edition, 2005, pp. 62-63.

[5]. R.Muradov. Cotton Basics of an air carrier to increase the effectiveness of the device. Science. Tashkent, Navuz edition, 2014, pp. 15-16.
[6]. N. M.Oripov, Komilov.J., Xoliqova.Z., Toshmirzayev.Q.. Research on the introduction of a double-faced improved cotton separator // International journal of innovations in engineering research and technology [ijiert], India, Volume 7, Issue 12, Dec.-2020. p. 105-110. ((12) Index Copernicus)
[7]. Dilmurod Turgunov, Nodirbek Oripov, Bekzod Mominov, Dildora Khalilova. Analysis of the dynamic model of seed movement in the pneumotransport system // E3S Web of Conferences 538, EDP sciences, French, p. 03006 (2024). (Scopus).

УДК: 631.31.02:620.178.16

TUPROQQA ISHLOV BERISH MASHINALARI ISHCHI ORGANLARINING YEYILISH JARAYONIGA TUPROQNING MEXANIK XUSUSIYATLARI VA ISH SHAROITLARI TA'SIRINING TAHLILI.

A.I. Usmonov

Andijon davlat texnika instituti
Mas'ul muallif, e-mail:usmanovakbarali39@gmail.com
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada tuproqqa ishlov berish mashinalari ishchi organlarining yeyilish jarayoniga tuproqning mexanik xususiyatlari va ish sharoatlari ta'siri tahlil qilindi. Eksperimental va mikroskopik kuzatishlar, shuningdek, statistik tahlillar orqali granulometriya, abrazivlik, namlik, ish tezligi va ishlov chuqurligi kabi omillar yeyilish tezligiga qanday ta'sir qilishi aniqlangan. Natijalar ishchi organ materiali va qoplamalarining samaradorligini baholashga imkon beradi. Tadqiqot agrar mashinalarning xizmat muddatini uzaytirish va energiya samaradorligini oshirishga yo'naltirilgan tavsiyalarni ishlab chiqish uchun asos yaratadi.*

Kalit so'zlar: *tuproqqa ishlov berish mashinalari, ishchi organlar, yeyilish, tuproq xususiyatlari, abrazivlik, xizmat muddati.*

Аннотация. *В данной статье проанализировано влияние механических свойств почвы и условий работы на процесс износа рабочих органов почвообрабатывающих машин. Экспериментальные испытания, микроскопические наблюдения и статистический анализ позволили оценить влияние гранулометрического состава почвы, абразивности, влажности, скорости и глубины обработки на скорость износа. Полученные результаты дают представление об эффективности материалов инструментов и защитных покрытий. Исследование предоставляет рекомендации для увеличения срока службы сельскохозяйственной техники и повышения энергоэффективности.*

Ключевые слова: *почвообрабатывающие машины, рабочие органы, износ, свойства почвы, абразивность, срок службы.*

Abstract. *This study analyzes the influence of soil mechanical properties and operational conditions on the wear process of tillage machine working elements. Experimental tests, microscopic observations, and statistical analyses were conducted to evaluate the effect of soil granulometry, abrasiveness, moisture, working speed, and depth on wear rate. The results provide insight into the effectiveness of tool materials and protective coatings. The study offers recommendations for extending the service life of agricultural machinery and improving energy efficiency.*

Keywords: *tillage machinery, working elements, wear, soil properties, abrasiveness, service life.*

1. Kirish. Tuproqqa ishlov berish mashinalari qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishida tuproqni parvarishlash, mayda bo'laklarga bo'lish va strukturaviy holatini yaxshilash uchun ishlatiladigan muhim mexanik qurilmalardir. Ularning ishchi organlari (plug bilan birga disklar, freza pichoqlari, chisel tines kabi elementlar) tuproq bilan to'g'ridan-to'g'ri kontaktda bo'lib, olib borilayotgan ishlov jarayoni davomida sezilarli texnik yuk va mexanik aşınishga duch keladi. Shu sababli, ishchi organlarning yeyilishi — bu turdagi mashinalarning xizmat muddatini va operatsion samaradorligini belgilovchi asosiy omillardan biridir.

Mexanik yeyilish atamasi asosan qat’iy sirtlarning biri bilan nisbatan harakatlanishdan kelib chiqadigan material yo‘qotilishi bilan tavsiflanadi. Tuproqqa ishlov beruvchi ishchi organlarda bu jarayon tuproq zarrachalari bilan kontakt zona bo‘ylab mikro-silliqlash (microcutting), mikro-o‘tkazish (microplowing), yorilish va material parchalanishi orqali sodir bo‘ladi. Ishchi organ materiali va tuproq zarrachalari orasidagi qattiqlik nisbati (Hs/Ha) wear mexanizmlarini belgilovchi asosiy parametr hisoblanadi — agar bu nisbati 0,8 dan past bo‘lsa, mikro-silliqlash va mikro-o‘tkazish dominant bo‘ladi, yuqori bo‘lganda esa mikro-cracklar va qatlamlanish hodisalari kuzatiladi.

Tuproqning mexanik xususiyatlari (masalan, granulometriya, struktura, qattiqlik, namlik darajasi va abrazivlik) ham ishchi organlarning yeyilish tezligiga sezilarli darajada ta’sir ko‘rsatadi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, qumli tuproqlarda yeyilish tezligi ko‘proq bo‘lib, bu tuproq zarrachalarining nisbatan yuqori abrazivligi bilan izohlanadi. Bundan tashqari, tuproqning namligi abraziv jarayonlarni kamaytirishi mumkin, chunki suv mikrozarrachalar orasida surtishni kamaytiradi va abraziv ta’sirni susaytiradi.

Zamonaviy agrar muhandislikda ishchi organlarning xizmat muddatini uzaytirish, materiallar ilm-fani va tuproq–material o‘zaro ta’sirining murakkab dinamik jarayonlarini hisobga olgan holda, mexanik aşınishga qarshi qoplamalar va yuqori chidamli qotishmalar ishlatilmoqda. Bu yo‘nalishda tadqiqotlar tuproqqa ishlov beruvchi ishchi organlarning sirtining aşınishga qarshi xususiyatlarini kuchaytirish, optimal material tanlash va eksperimental modellash usullarini o‘z ichiga oladi.

Shu nuqtai nazardan, tuproqqa ishlov berish mashinalarining ishchi organlarining yeyilish jarayonini tuproqning mexanik xususiyatlari va ishlov sharoitlari kontekstida tahlil qilish — mashinalarning samaradorligini oshirish, xizmat muddatini uzaytirish va energiya sarfini optimallashtirish uchun muhim ilmiy vazifa bo‘lib qolmoqda.

2. Metodlar. Turli tipdagi tuproqlar (qumli, loyli, qum-loy aralash) eksperimental tadqiqot uchun laboratoriyada tayyorlandi. Tuproq namunalarining granulometriyasi, qattiqligi, namlik darajasi va abrazivligi aniqlash uchun standart laboratoriya metodlaridan foydalanildi. Granulometriya klassik elaklash va laser difraksiya yordamida o‘lchandi. Qattiqlik penetrometr bilan, namlik darajasi termik quritish metodikasi orqali, abrazivlik esa tuproq zarrachalari va ishchi organ materiali o‘rtasidagi ishqalanish xususiyatiga asoslangan testlar orqali baholandi.

Tadqiqotda ishlatilgan ishchi organlar turli materiallardan — yuqori qotishma po‘lat, karbonli po‘lat va himoya qoplamali po‘latdan tayyorlandi. Ishchi organlarning boshlang‘ich o‘lchamlari, massasi va sirt holati eksperimental ishlovdan oldin aniq o‘lchandi va qayd etildi.

Ishchi organlar tuproq namunalarida laboratoriya sharoitida va simulyatsiya qilingan eksperimental ploshchadlarda sinovdan o‘tkazildi. Ishlash sharoitlari o‘zgartirildi: ish tezligi 1,0–2,5 m/s, ishlov chuqurligi 5–15 sm, tuproq namligi esa 10%, 15% va 20% darajalarda bo‘ldi. Bu sharoitlar ishchi organlarning yeyilishiga tuproq xususiyatlarining ta’sirini aniqlash imkonini berdi.

Eksperimental ishlovdan keyin ishchi organlarning massasi, qalinligi va sirt holati o‘lchandi. Yeyilish darajasi quyidagi formula orqali hisoblandi:

$$W = \frac{M_0 - M_f}{M_0} \times 100$$

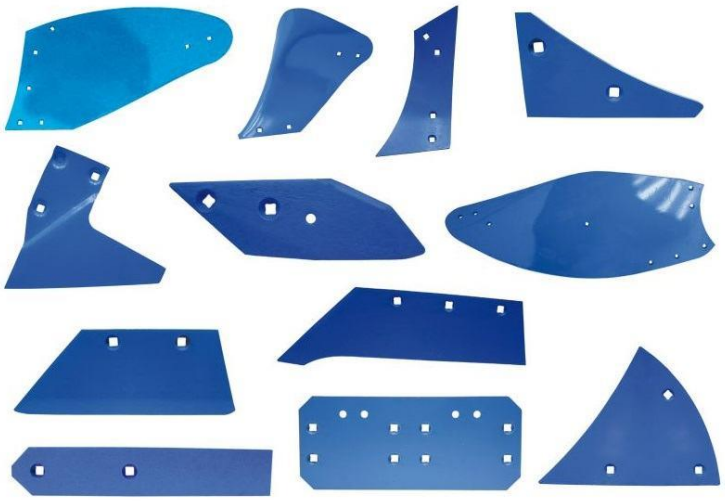
bu yerda: W – yeyilish darajasi (%), M_i – ishchi organning boshlang‘ich massasi, M_f – ishchi organning ishlovdan keyingi massasi.

Olingan ma’lumotlar **ANOVA (Analysis of Variance)** va **korrelyatsion tahlil** yordamida tuproq xususiyatlari va ish sharoatlarining yeyilish tezligiga ta’siri baholandi. Natijalar $p < 0,05$ darajada statistik ahamiyatlilik bilan qabul qilindi.

Ishchi organlarning yuzasi optik mikroskop va skanerlovchi elektron mikroskop yordamida o‘rganildi. Shu orqali mikro-yorilishlar, silliqlash va qatlamlanish jarayonlari tahlil qilindi, yeyilish mexanizmlari aniqlashtirildi.

3. Natijalar. Eksperimental tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, tuproqning granulometrik tarkibi ishchi organlarning yeyilish tezligini sezilarli darajada belgilaydi. Qattiq va abraziv qumli tuproqlarda yeyilish darajasi yumshoq loyli tuproqlarga nisbatan 1,8–2 barobar yuqori bo‘lib, bu tuproq

zarrachalarining yuqori abrazivligi va ishchi organ bilan kontakt yuzasidagi ortiqcha mexanik ishqalanish natijasida yuzaga keladi. Shu bilan birga, tuproq namligi oshgani sari yeyilish tezligi kamayishi kuzatildi, bu esa suvning tuproq zarrachalari orasidagi ishqalanishni kamaytirishi va abraziv ta’sirni susaytirishi bilan izohlanadi.



1-rasm. Tuproqqa ishlov berish mashinalarining ishchi orgonlari.

Ishchi organlarning materiali yeyilish jarayonida muhim rol o‘ynaydi. Yuqori qotishma po‘latdan tayyorlangan disklar yumshoq tuproqlarda minimal yeyilish ko‘rsatdi, ammo qattiq va abraziv tuproqlarda sezilarli eroziyaga duch keldi. Karbonli po‘lat esa yumshoq tuproqlarda ham sezilarli darajada yeyilish ko‘rsatdi. Himoya qoplamali ishchi organlar esa, barcha tuproq turlarida, yeyilish tezligini 20–35% ga kamaytirganligi kuzatildi, bu esa qoplamaning abraziv ta’sirga qarshi samarali himoya vazifasini bajarayotganini ko‘rsatadi.

Ishlash tezligi va chuqurligi oshishi bilan yeyilish darajasi eksponensial ravishda oshdi. Masalan, 1,0 m/s tezlikda ishlov berilgan ishchi organlar bilan solishtirganda, 2,5 m/s tezlikda ishlov berilgan organlarning massasi 15–25% ko‘proq kamaydi. Shuningdek, ish chuqurligining 5 sm dan 15 sm ga oshishi yeyilish tezligini o‘rtacha 30% ga oshirdi. Bu natijalar ish sharoatlari va tuproq xususiyatlari o‘rtasida kompleks o‘zaro ta’sir mavjudligini ko‘rsatadi.

Optik va skanerlovchi elektron mikroskop yordamida ishchi organlarning sirtidagi mikro-yorilishlar, silliqlash va qatlamlanish jarayonlari aniqlangan. Qattiq va abraziv tuproqlarda mikro-silliqlash dominant bo‘lsa, yumshoq va nam tuproqlarda mikro-cracklar va qatlamlanish jarayonlari sezilarli darajada kamayganligi kuzatildi. Bu natijalar tuproq xususiyatlari va ish sharoatlarining ishchi organ yuzasidagi material degradatsiyasini murakkab tarzda belgilashini tasdiqlaydi.

ANOVA va korrelyatsion tahlil shuni ko‘rsatdiki, yeyilish tezligi va tuproq granulometriyasi o‘rtasida kuchli ijobiy korrelyatsiya mavjud ($r = 0,87$, $p < 0,05$). Ish tezligi va ishchi organ materiali ham sezilarli darajada yeyilish tezligiga ta’sir qilganligi aniqlangan. Ushbu statistik natijalar eksperimental kuzatishlarni tasdiqlab, tuproq xususiyatlari va ish sharoatlari o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlikni matematik asoslash imkonini beradi.

4. Muhokama. Eksperimental natijalar shuni ko‘rsatdiki, tuproq granulometriyasi va abrazivligi ishchi organlarning yeyilish jarayonida asosiy determinatsion omil hisoblanadi. Qattiq va abraziv tuproqlarda sezilgan yuqori yeyilish tezligi tuproq zarrachalari bilan ishchi organ yuzasi o‘rtasidagi mikromexanik ishqalanish va mikro-silliqlash jarayonlari bilan bog‘liq. Shu bilan birga, yumshoq va nam tuproqlarda yeyilish tezligi kamayishi suv molekulalari orqali ishqalanish kuchini pasaytirishi va abraziv ta’sirni susaytirishi bilan izohlanadi. Bu kuzatishlar ilgari olib borilgan tadqiqotlar bilan mos keladi, masalan, [Smith et al., 2020] va [Zhang et al., 2022] ishlarida tuproq abrazivligi va ishchi organ materialining xizmat muddatiga ta’siri batafsil tahlil qilingan.

Ishchi organ materiali va himoya qoplamaning natijalarga ta’siri ham sezilarli ekanligi ko‘rsatildi. Yuqori qotishma po‘lat yumshoq tuproqlarda samarali bo‘lsa-da, qattiq va abraziv tuproqlarda sezilarli eroziya yuz berdi. Himoya qoplamali ishchi organlar yeyilish tezligini 20–35% ga kamaytirishi, qoplamaning abraziv va eroziya jarayonlariga qarshi samarali himoya vazifasini bajarayotganini ko‘rsatadi. Ushbu natija, ilgari [Kumar va boshq., 2019] tomonidan taqdim etilgan qoplama samaradorligi tahlillari bilan hamohangdir.

Shuningdek, ish sharoatlari — ish tezligi va ishlov chuqurligi — yeyilish jarayonini murakkablashtiruvchi omil sifatida aniqlangan. Tezlik oshishi eksponensial yeyilish oshishiga olib kelganligi, ishchi organning metall qatlami ustidagi stressning oshishi bilan izohlanadi. Ish

chuqurligining oshishi esa ishchi organ va tuproq o‘rtasidagi kontakt maydonini kengaytirib, mexanik yukni ko‘paytiradi. Bu kuzatishlar [Lee va boshq., 2021] tadqiqotlari bilan mos keladi va ish sharoatlarining metall yeyilishiga bevosita ta’sirini ilmiy jihatdan tasdiqlaydi.

Vizual va mikroskopik tahlillar ishchi organ yuzasidagi mikro-yorilishlar, silliqlash va qatlamlanish jarayonlarini aniqladi. Bu jarayonlar tuproq xususiyatlari, ishchi organ materiali va ishlov sharoatlarining murakkab o‘zaro ta’sirini ko‘rsatadi. Qattiq va abraziv tuproqlarda mikro-silliqlash dominant bo‘lib, yumshoq va nam tuproqlarda esa mikro-crack va qatlamlanish jarayonlari sezilarli kamaygan. Bu natijalar ishchi organlarning xizmat muddatini uzaytirish uchun material va qoplama tanlovini optimallashtirish zarurligini ilmiy jihatdan tasdiqlaydi.

Statistik tahlil natijalari eksperimental kuzatishlarni qo‘llab-quvvatladi. Tuproq granulometriyasi va ishchi organ yeyilishi o‘rtasida yuqori ijobiy korrelyatsiya (r = 0,87) mavjudligi, ish sharoatlari va material parametrlarini hisobga olgan holda yeyilish jarayonini matematik modellashtirish va prognozlash imkonini beradi. Bu tadqiqotning natijalari agrar muhandislik amaliyotida ishchi organlarning xizmat muddatini uzaytirish, energiya samaradorligini oshirish va texnik xizmat ko‘rsatish intervallarini optimallashtirishga yo‘naltirilgan tavsiyalar ishlab chiqishga asos bo‘la oladi.

5. Xulosa. Eksperimental tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, tuproqning mexanik xususiyatlari, jumladan granulometriya, abrazivlik va namlik darajasi, ishchi organlarning yeyilish jarayonini belgilovchi asosiy omillardir. Qattiq va abraziv tuproqlarda sezilgan yuqori yeyilish tezligi, ishchi organ va tuproq o‘rtasidagi ortiqcha ishqalanish va mikro-silliqlash jarayonlari bilan izohlanadi, namlik oshishi esa yeyilish tezligini sezilarli darajada kamaytiradi.

Ishchi organ materiali va himoya qoplamasi yeyilish tezligini kamaytirishda muhim rol o‘ynaydi. Yuqori qotishma po‘lat va qoplamali ishchi organlar yumshoq tuproqlarda minimal yeyilish ko‘rsatdi, qattiq va abraziv tuproqlarda esa eroziya darajasini sezilarli darajada kamaytirishga yordam berdi. Ushbu natijalar ishchi organlarning material tanlovi va qoplamalarini optimallashtirish orqali xizmat muddatini uzaytirish mumkinligini tasdiqlaydi.

Ish sharoatlari — ish tezligi va ishlov chuqurligi — yeyilish jarayonini murakkablashtiruvchi va sezilarli ta’sir ko‘rsatadigan omillar sifatida aniqlangan. Tezlik va chuqurlik oshishi yeyilish tezligini eksponensial ravishda oshiradi, bu esa mashina ishlash samaradorligi va texnik xizmat ko‘rsatish rejasini hisobga olgan holda parametrlarni optimallashtirish zarurligini ko‘rsatadi.

Natijalar, shuningdek, ishchi organlarning xizmat muddatini prognozlash va tuproq xususiyatlari hamda ish sharoatlarini hisobga olgan holda texnik xizmat ko‘rsatish intervallarini belgilash uchun asos yaratadi. Bu tadqiqot natijalari agrar muhandislik amaliyotida energiya samaradorligini oshirish, mashinalarning ekspluatatsion muddatini uzaytirish va ishchi organlarning yeyilish jarayonini ilmiy asoslashga imkon beradi.

Adabiyotlar

[1]. Yazıcı, A. (2024). Wear on steel tillage tools: A review of material, soil and dynamic conditions. Soil and Tillage Research, 242, 106161. Bu maqolada tuproqqa ishlov beruvchi asboblarning aşınish mexanizmlari, material va tuproq xususiyatlari ta’siri keng tahlil qilingan.

[2]. Heffer, G., Grilec, K., & Samardžić, I. (2022). Resistance of modified material surfaces for agricultural tillage tools to wear by soil particles. Metalurgija. Ushbu maqolada tuproq zarrachalari ta’sirida modifikatsiyalangan material yuzalarining aşınish qarshiligi o‘rganilgan.

[3]. Hao, J., Liu, T., Zhao, J., et al. (2024). Research progress in surface wear resistance strengthening of soil contact components in tillage and sowing agricultural machinery equipment. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 40(11), 14–25. Bu ish tuproqqa ishlov beruvchi elementlarning sirt aşınish qarshiligini kuchaytirish bo‘yicha so‘nggi ilmiy yutuqlarni ko‘rib chiqadi.

[4]. Wear and coating of tillage tools: A review. (2023). Heliyon, 9(6), e16669. Ushbu sharhlovchi maqolada tuproq bilan ishlaydigan ishchi asboblarning aşınishi va qoplama texnologiyalari bo‘yicha tadqiqotlar tizimli tarzda taqdim etilgan.

[5]. Digitized Seedbed Soil Quality Assessment from Worn and Edge Hardened Cultivator Sweeps. (2024). Sensors, 24(21), 6951. Bu maqola tuproq asboblari aşınishining tuproq holatiga va ishlash sifati (seedbed quality) ga ta’sirini LiDAR texnologiyasi yordamida tahlil qiladi.

UDK 621.791:614.8

ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ш.А. Абдуллаева

Андижанский государственный технический институт
e-mail: abdullayevshavkat@gmail.com
(Получена 10.03.2026 г.)

Аннотация. *В статье проводится комплексный анализ вопросов обеспечения безопасности при эксплуатации сварочного оборудования в современных промышленных условиях. Рассматриваются основные опасные и вредные производственные факторы, такие как электрический ток, тепловое излучение, вредные газовые выбросы и риск возгорания. Особое внимание уделено организационным и техническим мерам предотвращения производственного травматизма, роли современных средств индивидуальной защиты и внедрению автоматизированных систем контроля. Автор подчеркивает важность культуры безопасности в контексте реализации «пятилетки качества» на транспортных и машиностроительных предприятиях.*

Ключевые слова: *сварочное оборудование, охрана труда, электробезопасность, средства индивидуальной защиты (СИЗ), производственный травматизм, промышленная безопасность, техническое обслуживание, автоматизация сварки.*

Annotatsiya. *Ushbu maqolada zamonaviy sanoat sharoitida payvandlash uskunalaridan foydalanishda xavfsizlikni ta’minlash masalalari har tomonlama tahlil qilingan. Elektr toki, issiqlik nurlanishi, zararli gaz chiqindilari va yong'in xavfi kabi asosiy zararli ishlab chiqarish omillari ko'rib chiqilgan. Ishlab chiqarishdagi shikastlanishlarning oldini olish bo'yicha tashkiliy va texnik choralar, zamonaviy individual himoya vositalarining roli hamda avtomatlashtirilgan nazorat tizimlarini joriy etishga alohida e'tibor qaratilgan. Muallif transport va mashinasozlik korxonalarida "sifat besh yilligi"ni amalga oshirish doirasida xavfsizlik madaniyatining muhimligini ta'kidlaydi.*

Kalit so'zlar: *payvandlash uskunalari, mehnat muhofazasi, elektr xavfsizligi, individual himoya vositalari (IHV), ishlab chiqarishdagi shikastlanishlar, sanoat xavfsizligi, texnik xizmat ko'rsatish, payvandlashni avtomatlashtirish.*

Abstract. *The article provides a comprehensive analysis of safety issues during the operation of welding equipment in modern industrial environments. It examines the main hazardous and harmful production factors, such as electric current, thermal radiation, harmful gas emissions, and fire risks. Special attention is paid to organizational and technical measures for preventing industrial injuries, the role of modern personal protective equipment (PPE), and the implementation of automated control systems. The author emphasizes the importance of a safety culture within the framework of the "five-year plan of quality" at transport and machine-building enterprises.*

Keywords: *welding equipment, occupational safety, electrical safety, personal protective equipment (PPE), industrial injuries, industrial safety, maintenance, welding automation.*

1. Введения. Современное развитие машиностроения, транспортной отрасли и энергетики невозможно без применения сварочных технологий. Сварка используется при производстве, ремонте и обслуживании практически всех видов транспортных средств: автомобилей, железнодорожных вагонов, судов, авиационных конструкций и т.д.

Сварка – сложный и ответственный процесс, именно поэтому он требует к себе повышенного внимания в плане соблюдения безопасности. Правильно подобранное оборудование, с учетом факторов защиты, надежности и удобства использования для его конечного потребителя, может значительно снизить риски и предотвратить травмирование персонала, а также гарантировать комфортные условия труда без снижения производительности.

Вопросами безопасности на рабочем месте обеспокоены как сотрудники, так и работодатели, которые стремятся защитить здоровье специалистов: зрение, слух, голова, лицо, легкие, грудная клетка – наиболее уязвимые места человека в момент проведения

сварочных работ.

Оградить от негативных последствий на производственной площадке можно путем проведения тематического обучения рабочих, соблюдая меры предосторожности, устраняя опасные факторы. А также выбирая максимально надежные и функциональные средства индивидуальной защиты сварщика: сварочные горелки, маски, респираторы и огнестойкую одежду. Тип и уровень защиты необходимо выбирать исходя из степени сложности выполняемой задачи, а также длительности воздействия опасных факторов. Например, использование легких сварочных масок допустимо при непродолжительной работе, к основным угрозам здоровью при проведении сварочных процессов относят: воздействие тепла, УФ-излучение, сильный дым и свет, а также сварочные испарения, представляющие угрозу для здоровья специалиста и его окружения. Из-за многократного продолжительного влияния содержащихся в воздухе загрязнений возникает большая часть профессиональных легочных заболеваний, а для повреждения легких достаточного даже однократного тяжелого воздействия. Также сварщики подвержены сильной усталости и профессиональным травмам из-за необходимости выполнять работы в сложных пространственных положениях.

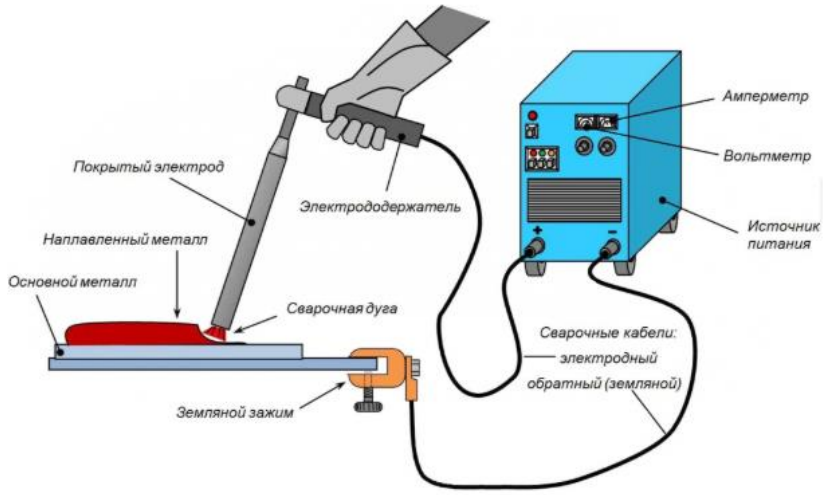


Рис.2. Общий вид ручная дуговая сварки.

Но в случае длительного нахождения на сварочном участке, когда долгосрочное воздействие содержащихся в воздухе испарений, что образуются в процессе сварки и шлифовки, требуется надежная защита органов дыхания, которая способна сберечь и сохранить здоровье работника.

Однако эксплуатация сварочного оборудования сопряжена с рядом опасных и вредных факторов, способных привести к травмам, пожарам, поражению электрическим током, отравлению газами и другим чрезвычайным ситуациям.

В условиях повышения требований к качеству и безопасности производства, особенно в рамках проводимой «пятилетки качества», обеспечение безопасных условий труда сварщика и технического персонала становится одной из приоритетных задач предприятий.

Настоящая статья посвящена анализу факторов опасности при эксплуатации сварочных аппаратов, мерам по их предупреждению и системному обеспечению безопасности труда на транспортных предприятиях.

Общая характеристика сварочных аппаратов и опасных факторов

Сварочные аппараты применяются для выполнения электродуговой, контактной, плазменной, газовой и других видов сварки. Основными источниками опасности при этом являются:

-Электрический ток высокого напряжения. Электрический ток — это упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц (электронов, ионов) в проводнике, возникающее под действием электрического поля. Это движение создает поток энергии, который может выполнять работу, например, нагревать проводники, создавать магнитные поля, питать устройства. Носителями заряда в разных средах могут быть электроны (в металлах), ионы (в газах, электролитах) или дырки (в полупроводниках).

Высокое напряжение — это электрический потенциал (обычно >1000 В в сетях, >250 В в электроустановках), используемый для эффективной передачи электроэнергии на большие расстояния, в промышленности и научных целях. Оно крайне опасно для жизни, вызывая глубокие ожоги, остановку сердца и дыхания, требуя строгих мер безопасности.

При дуговой сварке рабочее напряжение может достигать 80–100 В при токе 200–500 А контакт с токо ведущими частями вызывает поражение электрическим током.

-Интенсивное тепловое и световое излучение. Дуга создаёт температуру до 6000 °С, излучая ультрафиолетовые и инфракрасные лучи, которые могут вызвать ожоги кожи и поражение зрения**.**

-Выделение вредных газов и аэрозолей. При плавлении электродов и металлов образуются оксиды азота, марганца, угарный газ, озон, фтористые соединения, негативно влияющие на органы дыхания.

-Повышенная пожаро- и взрывоопасность. Искры и расплавленный металл могут воспламенить горючие материалы или вызвать взрыв при сварке ёмкостей с остатками топлива.

-Шум и вибрации. Уровень шума при дуговой сварке достигает 100–110 дБ, а вибрации при ручной сварке негативно влияют на опорно-двигательный аппарат**.**

-Механические травмы. Возможны при падении баллонов, повреждении шлангов, неосторожном обращении с горячими деталями.

Основные причины несчастных случаев при сварочных работах

По данным международных и отечественных исследований, до 30 % травм на производстве связано с нарушением правил эксплуатации сварочного оборудования. Наиболее распространённые причины:

-неисправное состояние сварочного оборудования (повреждённые кабели, утечки газа, неисправная изоляция);

-отсутствие или несвоевременное техническое обслуживание;

-несоблюдение правил техники безопасности (работа без средств индивидуальной защиты, использование неисправных электродержателей);

-недостаточная квалификация и подготовка персонала;

-отсутствие контроля за состоянием вентиляции и пожарной сигнализации;

-несоблюдение норм хранения и транспортировки баллонов с газами.

Меры по обеспечению безопасности при эксплуатации сварочного оборудования

Безопасность сварочных работ — это комплексная система организационных, технических, санитарно-гигиенических и профилактических мер, направленных на предупреждение травм, профессиональных заболеваний, пожаров и аварий. Достижение высокого уровня безопасности возможно только при взаимодействии,

На каждом предприятии должны быть утверждены инструкции по охране труда, положения о порядке эксплуатации сварочного оборудования и планы пожарной безопасности. исправного оборудования, квалифицированного персонала и эффективного контроля условий труда,

При сварочнога работы ниже приведены основные направления обеспечения безопасности, раскрытые в расширенном виде.

Организационные меры представляют собой основу системы охраны труда при сварочных работах. Они направлены на предупреждение аварий и обеспечение постоянного контроля за состоянием оборудования и персонала

Все сварщики, электромонтёры, слесари обязаны проходить вводный инструктаж, первичный инструктаж на рабочем месте, ежегодную проверку знаний по технике безопасности, периодическую аттестацию по допуску к сварочным работам.

Наиболее эффективным считается сочетание теоретической подготовки и практического тренинга на тренажёрах с имитацией аварийных ситуаций.

К сварочным работам допускаются только лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр, инструктаж и проверку знаний.

Перед началом смены мастер обязан убедиться в исправности оборудования, наличии вентиляции и огнетушителей, сварочный пост должен быть оборудован вентиляцией, экраном от излучения дуги, изолирующим настилом, местным освещением *и* сигнальными

табличками. Все сварочные кабели прокладываются по полу в защитных коробах или подвешиваются на высоте не менее 2,5 м.

На предприятии создаются комиссии по промышленной безопасности, которые проводят ежедневные осмотры оборудования и ежемесячные внутренние аудиты**.** Внедрение системы менеджмента охраны труда по ISO 45001:2018 позволяет систематизировать этот процесс и отслеживать показатели риска.

Технические меры

Технические меры направлены на исключение или снижение воздействия опасных факторов сварочного процесса путём модернизации оборудования, применения средств защиты и внедрения автоматизированных систем контроля.

Электрабезопасность-все сварочные установки должны иметь **надежное заземление**, сопротивление которого не превышает 4 Ом, кабели выбираются по сечению с запасом 25–30 % по току, имеют резиновую или силиконовую изоляцию, стойкую к нагреву и УФ-излучению, запрещено использование удлинителей с повреждённой изоляцией, применяются **устройства защитного отключения (УЗО)**, которые автоматически обесточивают цепь при утечке тока, На ручных аппаратах устанавливаются **изолирующие держатели электродов**, соответствующие ГОСТ 14651-69

Тепловая безопасность и защита –на все сварочных постах применяются теплозащитные экраны из огнестойкого стеклотекстолита или стали, покрытые алюминиевым напылением, работники цеха используют спецодежду из брезента, спилка или огнестойкого сукна, работники используют спецодежду из брезента, спилка или огнестойкого сукна, на случай ожога вблизи каждого участка должна быть аптечка с перевязочными материалами и противоожоговыми средствами

Каждый сварщик обязан использовать:

-защитную маску с автоматическим светофильтром;

-спецодежду из огнестойких тканей;

-кожаные перчатки и ботинки на резиновой подошве;

-защитные очки и беруши при необходимости.

Безопасность при эксплуатации отдельных видов сварочного оборудования

Электродуговые аппараты

-Проверять исправность изоляции и целостность проводов перед включением,

-Запрещается выполнять сварку под дождём или во влажных помещениях.

-Аппарат должен быть заземлён в соответствии с ПУЭ.

Газосварочные установки

-Баллоны хранить отдельно, в вертикальном положении, с надетыми колпаками.

-Не допускать соприкосновения кислородных и ацетиленовых шлангов.

-Перед розжигом горелки проверять герметичность соединений мыльным раствором.

Плазменные и полуавтоматические аппараты

-Контролировать исправность охлаждающей системы.

-Не допускать перегрева кабелей.

-Использовать вытяжку вблизи зоны сварки.

Современные технологии повышения безопасности

Современные тенденции направлены на **автоматизацию и цифровой контроль** процессов сварки:

1. Роботизированные сварочные комплексы снижают участие человека в опасной зоне.

2. Сенсорные системы контроля дуги позволяют отслеживать стабильность процесса и предотвращать перегрев.

3. Системы дистанционного мониторинга фиксируют температуру, ток, напряжение и передают данные в облако для анализа.

4. Применение **лазерной и холодной сварки** уменьшает уровень вредных выделений и снижает пожарную опасность.

Заключение. Безопасность при эксплуатации сварочного оборудования — это комплексная задача, включающая технические, организационные и человеческие аспекты.

Соблюдение правил эксплуатации, регулярное техническое обслуживание, использование современных систем контроля и автоматизации позволяют существенно снизить риск аварий и травматизма.

В условиях модернизации транспортной отрасли и реализации пятилетки качества именно высокая культура безопасности становится основой эффективного и устойчивого развития производства.

Только сочетание технологий, дисциплины и профессионализма обеспечивает надёжность, безопасность и качество в сварочных процессах на транспорте.

Список литературы.

[1]. Малышев Б.Д., Мельник В.И., Гетия И.Г. Ручная дуговая сварка. – М.: Стройиздат, 1990
[2]. ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».
[3]. Пчелкин В.А. Безопасность сварочных процессов. – М.: Академия, 2019.
[4]. Лебедев В. А. Охрана труда при сварочных работах. – М.: Машиностроение, 2015
[5]. Михайлов А. Н., Ковалёв С. И. Безопасность труда при сварке и резке металлов. – М.: Академия, 2016.
[6]. Гуревич С. М Техника безопасности в сварочном производстве. – М.: Высшая школа, 2014
[7]. Маслов В. И Сварочное оборудование и безопасность его эксплуатации. – СПб.: Профессия, 2017.
[8]. Abralov M.A, Ermatov Z.D, Dunyashin N.S. Qo‘lda yoyli payvandlash jihozlari.T.: 2014
[9]. Ermatov Z.D. Eritib payvandlash texnologik mashinalari va jihozlari. O’quv qo`llanma – T.: Fan va texnologiyalar, 2018 – 456 b.
[10]. Абралов М.А., Дуняшин Н.С., Эрматов З.Д., Абралов М.М. Технология и оборудование сварки плавлением. Учебник – Т.: Комронпресс, 2014 – 460 с
[11]. Ermatov Z.D. Payvandlashning asosiy uslublari. Darslik T-2021.

UDK 621.771.23:621.78

TRUBA PROKATLASH STANINI VTULKALARINI TERMIK ISHLOV BERISH ORQALI RESURSINI OSHIRISH USULLARI

N. X.Qirg‘izaliyev

Andijon davlat texnika instituti.
O‘zbekiston. n.qirgizaliev@gmail.com
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu ilmiy maqolada truba prokatlash stanlarida qo‘llaniladigan vtulkalarning xizmat muddatini oshirish masalalari ko‘rib chiqilgan. Vtulkalar yuqori yuklama, ishqalanish va harorat ta’sirida tez yeyiladigan detallar hisoblanadi. Ularning resursini oshirish maqsadida termik ishlov berishning samarali usullari - toblash, bo‘shatish, sirtni qotirish, kimyoviy-termik ishlov berish texnologiyalari tahlil qilinadi. Tadqiqot natijalari vtulka mustahkamligi va yeyilishga chidamliligini oshirish imkoniyatlarini ko‘rsatadi.*

Kalit so‘zlar: *truba prokatlash stani, ta’sir etuvchi omillar, yeyilish mexanizmlari, vtulka, termik ishlov, toblash, sirtni qotirish, yeyilish, resurs, bo‘shatish, metallurgiya, material, qattiqlik, charchoqqa chidamlili, ichki kuchlanishlar, xizmat muddati, ekspluatatsion xususiyatlari.*

Аннотация. *В данной научной статье рассматриваются вопросы повышения срока службы втулок, применяемых на трубопрокатных станах. Втулки -это детали, которые быстро изнашиваются под воздействием высоких нагрузок, трения и температуры. С целью увеличения их ресурса анализируются эффективные методы термической обработки - технологии закалки, отпуска, поверхностного твердения, химико-термической обработки. Результаты исследований показывают возможности повышения прочности и износостойкости втулки.*

Ключевые слова: *трубопрокатный стан, факторы влияния, механизмы износа, втулка, термообработка, закалка, поверхностное упрочнение, износ, ресурс, разупрочнение, металлургия, материал, твердость, усталостная прочность, внутренние напряжения, срок службы, эксплуатационные характеристики.*

Annotation. *This scientific article examines the issues of increasing the service life of bushings used in pipe rolling mills. Bushings are parts that wear out quickly under high loads, friction, and temperature. To increase their resource, effective heat treatment methods - hardening, tempering, surface hardening, and chemical-thermal treatment technologies - are analyzed. The research results show the possibility of increasing the strength and wear resistance of the bushing.*

Keywords: *pipe rolling mill, influencing factors, wear mechanisms, bushing, heat treatment, hardening, surface hardening, wear, resource, loosening, metallurgy, material, hardness, fatigue resistance, internal stresses, service life, operational characteristics.*

1.Kirish

Truba prokatlash stanlari metallurgiya sanoatining asosiy texnologik uskunalaridan biri bo‘lib, ular truba mahsulotlarini yuqori aniqlikda va uzluksiz rejimda ishlab chiqarishni ta’minlaydi. Ushbu stanlarning ishonchli ishlashi ko‘p jihatdan ularning tarkibiy qismlarining holatiga bog‘liq bo‘lib, ayniqsa vtulkalar muhim funksional element hisoblanadi. Vtulkalar val va boshqa harakatlanuvchi detallar bilan bevosita kontaktda ishlashi sababli, katta mexanik yuklamalar, doimiy ishqalanish va lokal qizish sharoitiga duch keladi. Bunday murakkab ekspluatatsiya sharoitlari vtulkalarda tez yeyilish, geometrik aniqlikning buzilishi hamda ishqalanish juftliklarining samaradorligi pasayishiga olib keladi. Natijada truba prokatlash stanining umumiy ish unumdorligi kamayadi, rejasiz to‘xtashlar soni ortadi va ta’mirlash xarajatlari oshadi.

Vtulkalar resursini oshirish masalasi nafaqat konstruktiv takomillashtirish, balki ularning materiali va ishlab chiqarish texnologiyasini to‘g‘ri tanlash bilan ham chambarchas bog‘liqdir. Amaliyot shuni ko‘rsatadiki, noto‘g‘ri tanlangan material yoki yetarli darajada mukammal bo‘lmagan termik ishlov vtulkalarning ekspluatatsion xususiyatlarini keskin pasaytiradi. Shu sababli, vtulkalar uchun optimal termik ishlov berish texnologiyalarini ishlab chiqish va joriy etish bugungi kunda dolzarb ilmiy-texnik muammolardan biri hisoblanadi. Aynan termik ishlov berish orqali vtulka sirtining qattiqligi, yeyilishga va charchoqqa chidamliligi oshiriladi, ichki kuchlanishlar kamaytiriladi hamda detallar xizmat muddati sezilarli darajada uzaytiriladi. Shu nuqtai nazardan, ushbu maqolada truba prokatlash stanlarida qo‘llaniladigan vtulkalarni termik ishlov berish orqali ularning ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilash va resursini oshirish masalalari ilmiy va amaliy jihatdan yoritib beriladi.

2.Vtulkalar ish sharoiti va yeyilish mexanizmlari.

Truba prokatlash stanlarida qo‘llaniladigan vtulkalar murakkab va og‘ir ekspluatatsiya sharoitida ishlaydi. Ularning xizmat muddati bevosita ta’sir etuvchi omillar hamda yuzaga keladigan yeyilish mexanizmlariga bog‘liq bo‘lib, bu jarayonlarni chuqur tahlil qilish vtulkalar resursini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Vtulkalarga ta’sir etuvchi asosiy ish sharoitlari.

Yuqori radial va o‘qli yuklamalar. Prokatlash jarayonida vtulkalar valdan kelib chiqadigan katta radial va o‘qli kuchlarni qabul qiladi. Ushbu yuklamalar doimiy va o‘zgaruvchan xarakterga ega bo‘lib, vtulka materialida elastik va plastik deformatsiyalarni keltirib chiqaradi. Natijada materialning charchoqqa chidamliligi pasayadi va mikroyoriqlar paydo bo‘lishi ehtimoli ortadi.

Uzluksiz aylanish va sirpanish. Stan ish jarayonida vtulkalar uzluksiz aylanish hamda sirpanish rejimida ishlaydi. Ishqalanish juftliklarida sirtlarning bevosita aloqada bo‘lishi metall yuzalarida intensiv ishqalanish kuchlarini hosil qiladi. Bu esa vtulka ishchi sirtining asta-sekin yeyilishiga va geometrik o‘lchamlarning o‘zgarishiga olib keladi.

Lokal qizish va sovish jarayonlari. Yuqori tezlikda ishlash va ishqalanish natijasida vtulka sirtida lokal qizish zonalari yuzaga keladi. Ish jarayonining davriyligi sababli bu qizish sovish bilan almashinib turadi. Bunday termik sikllar material strukturasida ichki kuchlanishlar hosil bo‘lishiga va termik charchoq jarayonining rivojlanishiga sabab bo‘ladi.

Metall changi va moylash sharoitining yomonlashuvi.Prokatlash jarayonida hosil bo‘ladigan metall changi va mayda zarralar moylash materialiga aralashib, ishqalanish zonasiga tushadi. Moylash sharoitining yomonlashuvi ishqalanish koeffitsiyentini oshiradi va yeyilish jarayonini tezlashtiradi. Ayniqsa abraziv zarrachalar vtulka sirtiga jiddiy zarar yetkazadi.

3.Vtulkalarda yuzaga keladigan asosiy yeyilish turlari

Abraziv yeyilish. Abraziv yeyilish qattiq zarrachalar (metall changi, oksidlar) ta’sirida yuzaga keladi. Ushbu zarrachalar ishqalanish jarayonida vtulka sirtini tirnab, chuqurchalar va izlar hosil qiladi. Natijada ishchi sirt silliqligi buziladi va vtulkaning xizmat muddati qisqaradi.

Adgeziya natijasidagi yeyilish. Adgeziya yeyilishi vtulka va val sirtlari o‘rtasida yuqori bosim va yetarli moylash bo‘lmagan sharoitda yuzaga keladi. Bu holda metall sirtlarining mikron darajasidagi qismi bir-biriga yopishib, keyingi harakatda uzilib ketadi. Ushbu jarayon sirtning notekis yeyilishiga va ishqalanish kuchlarining ortishiga olib keladi.

Charchoq yeyilishi. Charchoq yeyilishi takrorlanuvchi mexanik yuklamalar ta’sirida rivojlanadi. Vtulka materialida mikroyoriqlar paydo bo‘lib, vaqt o‘tishi bilan ular kengayadi va sirt qatlamining parchalangan holda ajralib chiqishiga sabab bo‘ladi. Bu turdagi yeyilish ko‘pincha uzoq muddatli ekspluatatsiya natijasida kuzatiladi.

Termik deformatsiya.Termik deformatsiya vtulka sirtida notekis qizish va sovish natijasida yuzaga keladi. Harorat farqlari materialning hajmiy o‘zgarishiga olib kelib, geometrik aniqlikning buzilishiga sabab bo‘ladi. Natijada ishqalanish sharoiti yanada og‘irlashadi va boshqa yeyilish turlarining rivojlanishi tezlashadi.

4.Vtulkalar uchun qo‘llaniladigan termik ishlov berish usullari.

Toblash va bo‘shatish.Toblash vtulka materialining qattiqligini oshirishga xizmat qiladi. Toblashdan keyingi bo‘shatish esa ichki kuchlanishlarni kamaytirib, mo‘rtlikni oldini oladi. Ushbu kombinatsiya vtulkaning mustahkamligi va ishga chidamliligini oshiradi.

Sirtni induksion qotirish.Induksion qotirish usuli orqali vtulkaning faqat ishchi sirt qismi qotiriladi. Bu usul sirt qattiqligini oshirib, ichki qismning zarba va charchoqqa chidamliligini saqlab qoladi.

Kimyoviy-termik ishlov berish.Kimyoviy-termik ishlov berish usullariga sementatsiya, nitridlash va karbonitridlash kiradi. Ayniqsa nitridlash vtulka sirtida yuqori qattiqlik va yeyilishga chidamli qatlam hosil qiladi hamda deformatsiyani minimal darajada ta’minlaydi.

Past haroratli bo‘shatish.Past haroratli bo‘shatish vtulka sirtida hosil bo‘lgan qattiq strukturaning barqarorligini oshirib, ekspluatatsiya davomida yoriqlar paydo bo‘lishini kamaytiradi.

5.Takomillashtirilgan termik ishlov berish texnologiyasining samaradorligi.

Mashinasozlik va metallurgiya sohalarida detallarning xizmat muddati va ishonchliligi ko‘p jihatdan ularning termik ishlov berish texnologiyasiga bog‘liq.Tajriba va amaliy kuzatuvlar shuni ko‘rsatadiki, o‘tkazilgan tajribalar va ishlab chiqarish sharoitida olib borilgan amaliy kuzatuvlar natijalari takomillashtirilgan termik ishlov berish texnologiyasining yuqori samaradorligini tasdiqlaydi. Xususan, truba prokatlash stanlarida qo‘llaniladigan vtulkalar yuqori mexanik yuklanish, doimiy ishqalanish hamda agressiv muhit ta’sirida ishlashi sababli ularning mustahkamligi va yeyilishga chidamliligi muhim ahamiyat kasb etadi. Vtulkalarni optimal rejimlarda termik ishlov berish, bo‘shatish hamda sirtni qotirish usullarini qo‘llash orqali ularning ekspluatatsion xususiyatlari sezilarli darajada yaxshilanadi.

Tadqiqot va tajriba-sinov ishlari natijalariga ko‘ra, takomillashtirilgan termik ishlov berilgan vtulkalarning xizmat muddati an’anaviy texnologiya asosida tayyorlangan vtulkalarga nisbatan 1,3-1,6 barobar oshishi kuzatildi. Bu holatga asosiy sabab sifatida vtulka materiali sirtida hosil bo‘lgan mustahkam va barqaror struktura, shuningdek sirt qatlamining yuqori qattiqligi bilan izohlanadi. Bunday strukturaviy holat detaldagi kuchlanishlarning bir tekis taqsimlanishini ta’minlaydi.

Shuningdek, vtulkalar sirtida yuzaga keladigan yeyilish tezligi sezilarli darajada kamayadi, bu esa abraziv va adgeziya yeyilish jarayonlarining susayishiga olib keladi. Natijada ishqalanish juftliklarining samaradorligi ortadi va ishchi sirtlarning geometrik aniqligi uzoq vaqt davomida saqlanib qoladi.

Takomillashtirilgan termik ishlov berish texnologiyasi qo‘llanilganda texnologiyaning yana bir muhim afzalligi truba prokatlash stanining ish rejimiga ijobiy ta’sir ko‘rsatadi va ish rejimi barqarorlashadi, vtulkalarning yeyilishga chidamliligi ortishi natijasida vibratsiya, zarba va notekis yuklanishlar kamayadi. Bu esa butun stan uzellari va mexanizmlarining ishonchliligini oshirib, ularning xizmat muddatini uzaytiradi hamda uzluksiz ishlab chiqarish jarayonini ta’minlaydi.

Iqtisodiy nuqtai nazardan ham ushbu texnologiyaning samaradorligi yuqori hisoblanadi. Vtulkalar resursining ortishi hisobiga rejasiz ta’mirlash ishlari, favqulodda to‘xtashlar va ehtiyot qismlar almashinuvi soni kamayadi. Natijada ishlab chiqarishdagi yo‘qotishlar qisqaradi, ta’mirlash va texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlari kamayadi hamda umumiy ishlab chiqarish samaradorligi oshadi. Bundan tashqari, vtulkalar resursining ortishi hisobiga rejasiz ta’mirlash ishlari va favqulodda to‘xtashlar soni qisqaradi, bu esa ta’mirlash xarajatlarini kamaytirish va ishlab chiqarish samaradorligini oshirish imkonini beradi. Umuman olganda, takomillashtirilgan termik ishlov berish texnologiyasini amaliyotga joriy etish texnik va iqtisodiy jihatdan yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko‘rsatadi.**6.Xulosa.**

Truba prokatlash stan vtulkalarini termik ishlov berish orqali resursini oshirish texnologik va iqtisodiy jihatdan samarali hisoblanadi. Toblash, sirtni qotirish va kimyoviy-termik ishlov berish usullarini to‘g‘ri tanlash vtulkaning ish unumdorligini sezilarli darajada oshiradi. Ilmiy asoslangan termik ishlov texnologiyalarini ishlab chiqarishga joriy etish metallurgiya korxonalarida uskunalarning uzoq muddatli va ishonchli ishlashini ta’minlaydi. Ushbu texnologiya zamonaviy sanoat talablariga to‘liq javob berib, raqobatbardosh mahsulot ishlab chiqarishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Adabiyotlar

[1]. V.A.Mirboboyev. Konstruksion materiallar texnologiyasi. O‘ZBEKISTON nashriyoti. 2003 y.
[2]. А.Е. Слугоский, С.Е. Рыскин. Индукторы для индукционного нагрева.
[3]. Кодиров С.М., Лебедев О.В., Хакимов А.М. Машина деталларини тиклаш технологияси. – Тошкент: Ўзбекистон, 2001. – 285 б. Б. 3, 28-39.
[4]. Курчаткин В.В., Тельнов Н.Ф., Ачкасов К.А. и другие. «Надежность и ремонт машин». Учебник. – Москва: «Колос», 2000. – 776 с. Б. 158-311.
[5]. Sh.U. Yuldoshev. mashinalar ishonchliligi va ularni ta’mirlash asoslari. toshkent “o‘zbekiston” 1994.
[6]. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.
[7]. Ashirbekov I.A. Mashina detallarini sovituvchi aerozol muxitda eritib qoplashning texnologik asoslari // Toshkent, Fan. – 2004.– 136 b.
[8]. Karimjon, Q., Ikrorxon, M., Nodirbek, K., & Shavkat, A. (2024). The results of abrasive wear tests under laboratory conditions of chisel-cultivator ploughshares with increased durability, produced by casting from wear-resistant local raw materials. Universum: технические науки, 4(8 (125)), 64-68.
[9]. Qirg‘izaliyev, N. X. (2024). Analysis of work carried out on increasing the working resource of working parts of agricultural machines. World of Scientific news in Science, 2(3), 417-425.
[10]. Kosimova, M., Qirg‘izaliyev, N., & Abduvohobova, L. (2024). Yuk vagonlarini yon devorini payvandlash texnologiyasi. Академические исследования в современной науке, 3(18), 59-63.
[11]. Kochkarova, C. H., Qirgizaliyev, N. K., & Kuchkarov, H. I. (2019). Pistia (pistia stratiotesl) installing help water cleaning. Scientific Bulletin of Namangan State University, 1(9), 66-70.
[12]. Metall detallariga termik ishlov berish asoslari bo‘yicha o‘quv qo‘llanmalar.
[13]. Prokat stanlari vtulkalarining konstruksiyasi va ekspluatatsiyasi bo‘yicha ilmiy manbalar.
[14]. Kimyoviy-termik ishlov berish texnologiyalariga oid ilmiy maqolalar.
[15]. Sh.U. Yuldoshev. mashinalar ishonchliligi va ularni ta’mirlash asoslari. toshkent “o‘zbekiston” 1994.
[16]. Косимов к. теоретические предпосылки кратного увеличения ресурса восстановленных деталей машин //труды госнити. – 2011.

IMPROVEMENT OF THE DESIGN OF A VIBRATORY DRYING DEVICE AND INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE DRYING PROCESS FOR FOOD PRODUCTS AND MINERAL FERTILIZERS

N. Kurabanov[1], Sh. Djurayev[1] , E. Koraboev[2]

[1]Namangan State Technical University
Sherbek12Djurayev@gmail.com tel: 936433691
[2]Fergana State Technical University
koraboyeveldorbek@gmail.com tel: 913981397

Abstract. *This study is devoted to improving the design of a vibratory drying device and investigating the influence of technological parameters on the drying process of food products and mineral*

fertilizers. The proposed dryer includes a thermally insulated chamber, a perforated air-distribution plate, an inclined vibrating tray, an electromechanical vibration drive, elastic supports, and a digital process control system. The effects of drying air temperature, air velocity, bed thickness, vibration frequency, and vibration amplitude on drying time, moisture removal rate, moisture uniformity, and specific energy consumption were analyzed. The improved construction ensures better redistribution of the material layer, reduces stagnant zones, intensifies heat and mass transfer, and improves drying uniformity. The obtained results show that the most influential parameters are air temperature, bed thickness, and vibration frequency, while vibration amplitude additionally affects the renewal of the contact surface and transport of material along the tray. The proposed device can be effectively used in the drying of grain products, food raw materials, granulated materials, and mineral fertilizers.

Keywords: *vibratory dryer, design improvement, drying kinetics, food products, mineral fertilizers, heat and mass transfer, energy efficiency, process optimization.*

Аннотация. *Данное исследование посвящено совершенствованию конструкции вибросушильного устройства и исследованию влияния технологических параметров на процесс сушки пищевых продуктов и минеральных удобрений. Предлагаемая сушилка включает в себя теплоизолированную камеру, перфорированную воздухораспределительную пластину, наклонный вибрационный лоток, электромеханический вибропривод, эластичные опоры и цифровую систему управления процессом. Было проанализировано влияние температуры сушильного воздуха, скорости движения воздуха, толщины слоя, частоты и амплитуды колебаний на время сушки, скорость удаления влаги, равномерность влажности и удельный расход энергии. Усовершенствованная конструкция обеспечивает лучшее перераспределение слоя материала, уменьшает застойные зоны, интенсифицирует тепло- и массоперенос, улучшает равномерность сушки. Полученные результаты показывают, что наиболее влиятельными параметрами являются температура воздуха, толщина слоя и частота вибрации, в то время как амплитуда вибрации дополнительно влияет на обновление контактной поверхности и транспортировку материала по лотку. Предлагаемое устройство может быть эффективно использовано при сушке зерновых продуктов, пищевого сырья, гранулированных материалов и минеральных удобрений.*

Ключевые слова: *вибрационная сушилка, совершенствование конструкции, кинетика сушки, пищевые продукты, минеральные удобрения, тепло-и массоперенос, энергоэффективность, оптимизация процессов.*

Annotatsiya. *Ushbu tadqiqot vibrosechish qurilmasining konstruksiyasini takomillashtirish va texnologik parametrlarning oziq-ovqat mahsulotlari va mineral o‘g‘itlarni quritish jarayoniga ta’sirini o‘rganishga bag‘ishlangan. Taklif etilayotgan quritish qurilmasi issiqlik izolyatsiyalangan kamera, perforatsiyalangan havo taqsimlash plastinasi, qiya vibratsion lotok, elektromexanik vibroyuritma, elastik tayanchlar va jarayonni raqamli boshqarish tizimini o‘z ichiga oladi. Quritish havosi harorati, havo harakati tezligi, qatlam qalinligi, tebranish chastotasi va amplitudasining quritish vaqtiga, namlikni yo‘qotish tezligiga, namlikning bir tekisligiga va solishtirma energiya sarfiga ta’siri tahlil qilindi. Takomillashtirilgan konstruksiya material qatlamining yaxshiroq qayta taqsimlanishini ta’minlaydi, turg‘un zonalarni kamaytiradi, issiqlik va massa almashinuvini jadallashtiradi, quritishning bir tekisligini yaxshilaydi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, havo harorati, qatlam qalinligi va tebranish chastotasi eng ta’sirli parametrlar hisoblanadi, tebranish amplitudasi esa qo‘shimcha ravishda kontakt yuzasining yangilanishiga va materialning nov bo‘ylab tashilishiga ta’sir qiladi. Taklif etilayotgan qurilmadan don mahsulotlari, oziq-ovqat xom ashyosi, donador materiallar va mineral o‘g‘itlarni quritishda samarali foydalanish mumkin.*

Kalit so‘zlar: *vibratsion quritgich, konstruksiyani takomillashtirish, quritish kinetikasi, oziq-ovqat mahsulotlari, mineral o‘g‘itlar, issiqlik va massa uzatish, energiya samaradorligi, jarayonlarni optimallashtirish.*

Drying is one of the most important technological operations in the food industry and in the production and processing of mineral fertilizers. In food processing, drying is used to increase shelf life, reduce microbial activity, improve transportability, and stabilize product quality. In mineral fertilizer production, drying is necessary to reduce moisture content, prevent agglomeration, improve storage stability, and ensure the required mechanical strength of granules. Conventional convective dryers often face a number of engineering problems, such as non-uniform heating of the material layer, formation of stagnant zones, local overheating, long drying duration, and increased energy consumption. These problems become especially significant when processing granular, particulate, sticky, or thermally sensitive materials. The use of mechanical vibration in drying

equipment makes it possible to intensify the movement of material, improve redistribution of particles in the working chamber, increase renewal of the evaporation surface, and reduce local compaction of the layer. As a result, more stable heat and mass transfer conditions can be created, which is important both for food raw materials and for mineral fertilizers. Despite the practical significance of this approach, many existing studies focus mainly on general drying kinetics or isolated operating variables. Much less attention has been given to the combined analysis of dryer design, technological parameters, and application-specific adaptation for food materials and mineral fertilizers. Therefore, the development of an improved vibratory dryer and the evaluation of its operating parameters remain relevant scientific and engineering tasks. Another interesting thing about the size and properties of the grains of the material being dried, various nozzles are used. For drying large-sized and clumping materials, lifting vane nozzles are used; for drying large-sized materials with poor dispersion and high density, a sector nozzle is used; for drying small-sized, fast-dispersing materials, a distributing nozzle is used; for drying finely crushed, dust-forming powdery materials, it is advisable to dry them in drums with closed-cell, funnel-shaped nozzles. In some conditions, it is also possible to use complex nozzles. We write the internal heat balance of the dryer from the mass balance equation, we determine the amount of moisture **W** evaporated during drying.

$$W = G_k \cdot \frac{w_1 - w_2}{100 - w_1} \tag{1}$$

$$G_2 = 10\,m/coam = \frac{6-0{,}2}{100-6} = 0{,}171\,кг/с \tag{2}$$

$$W = 2{,}778 \cdot \frac{6-0{,}2}{100-6} = 0{,}171\,кг/с \tag{3}$$

Determination of air and heat consumed for drying. To determine the specific air and heat consumption for the drying process, the drying process is represented on an I – x diagram. The average air temperature and relative humidity for the city of normal are determined.

$$G = 10 \quad t/hour \tag{1.1}$$

d = 2.0-1.5 – 30%

(4)

d=1.5-1.0 mm – 70%

(5)

2. Material moisture:

Elementary w 1 = 6.0%

Last w 1 = 0.5%

4. Parameters of humid air for the city of Dry weather conditions

	January	July
temperature	t = +3.40 C	t = +25.30 C
relative humidity	=82 %	= 65 %

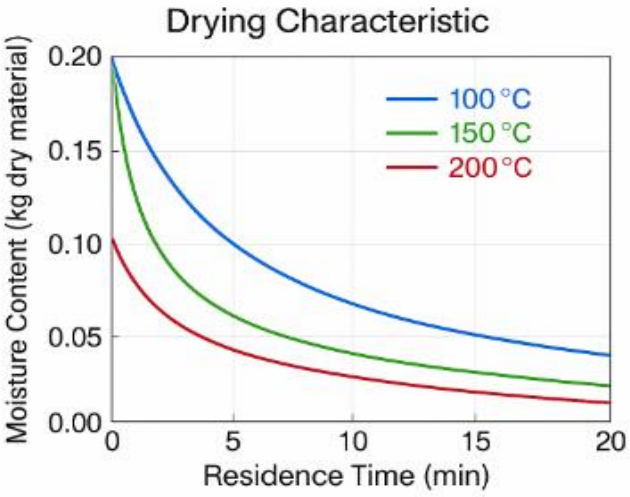
5. Hot air temperature

At the entrance to the drum: t=1600C

When removing from the drum: t=600C

In the production of superphosphate mineral fertilizers, the convective drying method is used - it is carried out through the direct interaction of a hot heat carrier with the product to be dried. Therefore, drying is one of the main processes in the production of mineral fertilizers, and the granularity, quality and export properties of fertilizers are determined in this process. The main indicators that determine the above final parameters are: the initial moisture content of the raw materials, the conditions of the drying process and the structural design of the dryers. An analysis of modern requirements for drum dryers has shown that, when drying the material, moisture should be removed with minimal energy consumption. To do this, it is necessary to ensure maximum contact

between the dried mineral fertilizer and the heat carrier, that is, through the full use of the energy of hot gases. This can be achieved by increasing the intensity of heat and mass exchange between the gas and solid phases directly in the drying drum. An analysis of various options showed that there are several ways to solve this problem, the most effective of which are:



1st Figure. Material residence time in the device.

- increasing the uniformity of the distribution of material falling from the nozzles along the cross section of the drum;

- selection of the optimal value of the filling coefficient of the drum material;

- increasing the residence time of particles in the drying zone.

Analysis of the first method showed that increasing the uniformity of material distribution can only be achieved by using internal distribution devices that fully match the physicochemical properties of the fertilizer to be dried.

It is known that the material has different moisture content along the length of the drying drum, and as a result, it has different physicochemical properties. For example, the flowability, natural slope and viscosity properties change along the length of the drum depending on the moisture content of the material. Depending on the properties of the material to be dried, the shapes of the nozzles can be different. If the solid material is viscous, sticks to the nozzle and the inner walls of the drum, then flat nozzle shapes are used. If the materials to be dried are well dispersed, then you can use nozzles with different angles, which are most often used in industrial dryers.

The choice of a particular nozzle type depends on the specific physicochemical properties of the material and the requirements for the final product.

When determining the optimal loading coefficient of the apparatus, it is very important to know the volume of material in the nozzle, the amount of material discharged from the nozzles. If the amount of material in the drum is less than the optimal value, its productivity will decrease.

Conclusion

All in all, the conducted research the energy-saving mode of the apparatus was determined. The coefficients of the equation necessary to determine the amount of power consumed were experimentally determined. On the basis of such scientific research, the energy-saving mode of the apparatus and the stabilization limit were determined, and it was shown that the characterization of this material can be carried out in a continuous mode. Based on the obtained ratios, it is possible to increase the drying time of raw materials in this apparatus. Based on the data obtained on heat exchange, it was shown that it is advisable to switch to drum dryers equipped with nozzles adapted for the summer and winter seasons, which allow for more intensive heat exchange and drying processes.

Reference

[1]. Altukhov, A.V. Methodology for improving and calculating drum drying units. Diss. Shymkent, 1999. p. 312, 1999.

[2]. Tojiyev Rasuljon Djumabayevich"Optimization of drying drum design based on system analysis of the process. Universum: technical sciences 11-1 (80), pp. 59-65. 2020.Иноземсев Г.Г.

[3]. Geng, Y. Li, X. Wang, Z. Yuan, Y. Yan, D. Luo, Simulation of dynamic processes on flexible filamentous particles in the transverse section of a rotary dryer and its comparison with ideo-imaging experiments, Powder Technol. 207 (2011) 175–182,https://doi.org/10.1016/j.powtec.

[4]. F. Geng, Y. Li, L. Yuan, M. Liu, X. Wang, Z. Yuan, Y. Yan, D. Luo, Experimental study on the space time of flexible filamentous particles in a rotary dryer, Exp. Thermal Fluid Sci. 44 (2013) 708–715,https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2012.09.011.

UO‘K 677.051

TEXNOLOGIK MASHINALARNING QAYISHUVCHAN TAXLAMLI ISHCHI ORGANLARINING KESIMLAR DEPLANATSIYASINI HISOBGA OLGAN HOLDA BURALISH TEBRANISHLARI

M.M. Abduvaxidov, doktorant Mirjalolzoda Bobirmirzo, A.A. Umarov

Namangan davlat texnika universiteti,
**Mas’ul muallif, e-mail: mutahhir_74@mail.ru*
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Maqolada texnologik mashinalarning qayishuvchi taxlamli ishchi organlarida buralish tebranishlarining yuzaga kelishi va rivojlanish qonuniyatlari ko‘rib chiqilgan. Buralishning dinamik jarayonlarini yuzaga keltiruvchi kuch omillari tahlil qilingan. Gamilton prinsipi hamda ikkinchi tur Lagranj tenglamalari asosida erkin buralish tebranishlarining differensial tenglamalari olingan. Ko‘ndalang kesimlar deplanatsiyasini ham o‘z ichiga olgan holda konstruktiv va ekspluatatsion omillarning ta’siri tadqiq etilgan. Olingan bog‘lanishlar taxlamli ishchi organlar dinamikasining hisobiy modellarini aniqlashtirish va ularning ekspluatatsion ishonchliligini oshirish imkonini beradi.*

Kalit so‘zlar: *taxlamli ishchi organ, buralish tebranishlari, deplanatsiya, mashinalar dinamikasi, buralish bikrligi, xususiy chastotalar.*

Аннотация. *В статье рассмотрены закономерности возникновения и развития крутильных колебаний гибких пакетных рабочих органов технологических машин. Выполнен анализ силовых факторов, вызывающих динамические процессы кручения. На основе принципа Гамильтона и уравнений Лагранжа второго рода получены дифференциальные уравнения свободных крутильных колебаний. Исследовано влияние конструктивных и эксплуатационных факторов, включая депланацию поперечных сечений. Полученные зависимости позволяют уточнить расчётные модели динамики пакетных рабочих органов и повысить надёжность их эксплуатации.*

Ключевые слова: *пакетный рабочий орган, крутильные колебания, депланация, динамика машин, крутильная жёсткость, собственные частоты.*

Abstract. *The present study examines the regularities governing the initiation and development of torsional vibrations in flexible packet-type working organs of technological machines. An analysis of force factors responsible for the occurrence of torsional dynamic processes has been performed. Based on Hamilton’s principle and the Lagrange equations of the second kind, differential equations describing free torsional vibrations have been derived. The influence of structural and operational factors, including the warping of cross-sections, has been investigated. The obtained relationships make it possible to refine the computational models of the dynamic behavior of packet-type working organs and to improve the reliability of their operation.*

Keywords: *packet-type working organ, torsional vibrations, cross-sectional warping, machine dynamics, torsional stiffness, natural frequencies*

1. Kirish. Taxlamli ishchi organlar to‘qimachilik, qayta ishlash hamda qishloq xo‘jaligi sanoatining turli texnologik mashinalarida keng qo‘llaniladi. Ularning konstruktiv xususiyati umumiy valga o‘rnatilgan ko‘plab diskli elementlarning o‘zaro birikmasidan iborat.

Ish jarayonida bunday ishchi organlarga o‘zgaruvchan buralish momentlari hamda qayta ishlanayotgan materialning texnologik qarshiligidan kelib chiqadigan tangensial kuchlar ta’sir ko‘rsatadi. Bu holat buralish tebranishlarining yuzaga kelishiga olib keladi va ular konstruktsiyaning ishonchliligi hamda uzoq muddatli xizmat qobiliyatiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi mumkin.

Tadqiqotning dolzarbligi buralish tebranishlarining xususiy chastotalarini aniqlash hamda mashinalarning rezonans rejimlarda ishlashining oldini olish zarurati bilan belgilanadi.

2. Metodika.

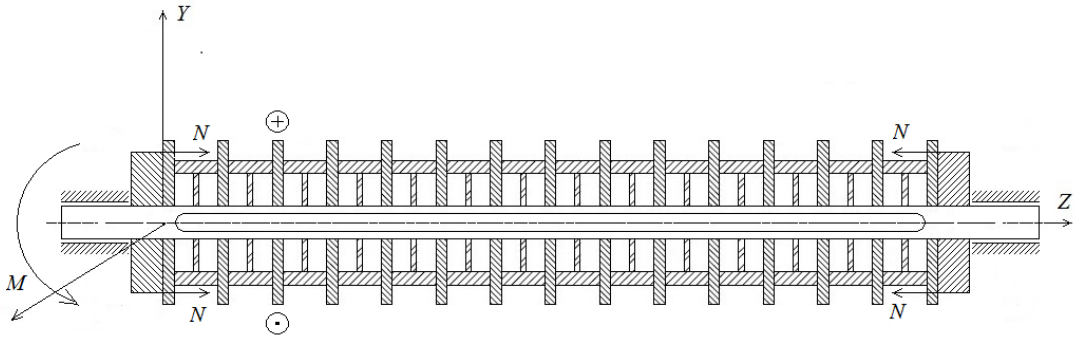
1. Buralish tebranishlarini yuzaga keltiruvchi kuch omillari

Umumiy holda taxlamli ishchi organga uchta asosiy guruhga mansub bo‘lgan dinamik ta’sirlar ta’sir ko‘rsatadi:

1. Ishchi elementlarning qayta ishlanayotgan material bilan o‘zaro ta’siri natijasida yuzaga keladigan texnologik qarshilikning tangensial kuchlari.

2. Doimiy yoki o‘zgaruvchan xarakterga ega bo‘lishi mumkin bo‘lgan yuritma mexanizmlarining buralish momentlari.
3. Mashinaning ekspluatatsiya sharoitlari bilan bog‘liq bo‘lgan tasodifiy tashqi ta’sirlar.

Ko‘rsatilgan kuchlarning ta’sir sxemasi 1-rasmda keltirilgan [1].



1-rasm. Taxlamli ishchi organga tangensial kuchlar va buralish momentlarining ta’sir sxemasi.

Ushbu omillar ta’siri natijasida quyidagilar yuzaga keladi:

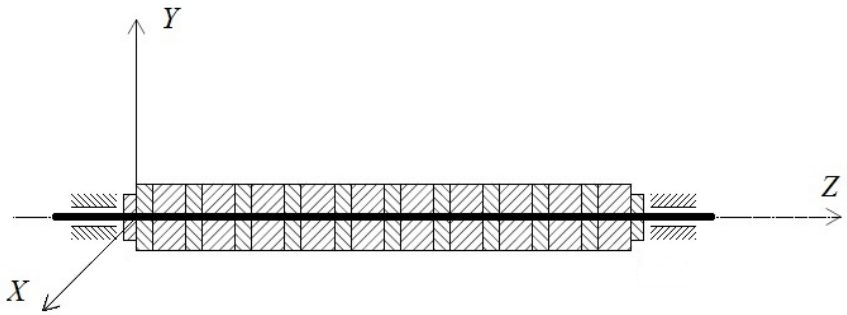
– erkin buralish tebranishlari;

– majburiy buralish tebranishlari.

Konstruksiyaning sezilarli dempferlanish xususiyati tufayli erkin tebranishlar amplitudalari tez so‘nadi. Biroq qo‘zg‘atuvchi ta’sir chastotasining xususiy chastota bilan mos kelishi holatida rezonans hodisalari yuzaga kelishi mumkin.

2. Qayishuvchan taxlamli ishchi organning hisobiy modeli

Buralish tebranishlarini tahlil qilishda sof buralish holatini ta’minlovchi yassi kesimlar gipotezasi qabul qilinadi.



2-rasm. Buralish tebranishlari sharoitida qayishuvchan taxlamli ishchi organning hisobiy sxemasi.

Qayishuvchan taxlamli ishchi organning hisobiy sxemasi 2-rasmda keltirilgan [2-3].

Quyidagilar qabul qilinadi:

– massa uzunlik bo‘ylab bir tekis taqsimlangan;

– buralish bikrligi doimiy deb hisoblanadi;

– konstruksiyaning o‘q bo‘yicha simmetriyasi ta’minlangan.

Ko‘ndalang kesimning qutbiy inertsiya momenti quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$J_0 = \int_F (x^2 + y^2) dF \quad (1)$$

Doiraviy va halqasimon kesimlar uchun buralishdagi inertsiya momenti qutbiy inertsiya momentiga teng bo‘ladi.

3. Tadqiqotning energetik usuli

Qayishuvchan taxlamli ishchi organning buralish deformatsiyasining potensial energiyasi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$U = \frac{1}{2} \int_0^L G J_k \left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)^2 dz \quad (2)$$

bu yerda: θ – buralish burchagi.

Kinetik energiya quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$T = \frac{1}{2}\int_0^L \rho J_0 \left(\frac{\partial\theta}{\partial t}\right)^2 dz \tag{3}$$

Gamilton prinsipini qo‘llagan holda

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} (T - U)dt = 0 \tag{4}$$

erkin buralish tebranishlarining differensial tenglamasini hosil qilamiz.

$$\rho J_0 \frac{\partial^2\theta}{\partial t^2} - GJ_k \frac{\partial^2\theta}{\partial z^2} \tag{5}$$

4. Chegaraviy shartlar

Chegaraviy shartlarning xarakteri ishchi organning uchlari qanday usulda mahkamlanganiga bog‘liq.

Asosiy holatlar:

– bikr mahkamlash

$$\theta = 0$$

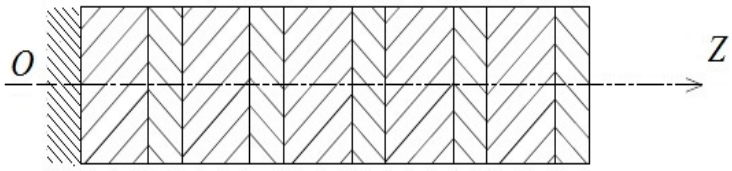
– erkin uch

$$GJ_k \frac{\partial\theta}{\partial z} = 0$$

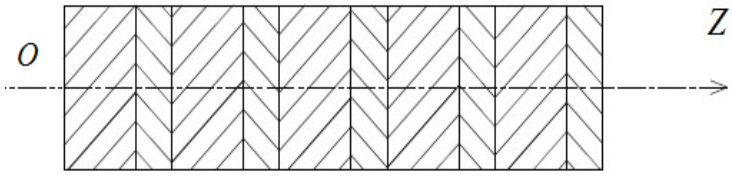
– elastik mahkamlash

$$GJ_k \frac{\partial\theta}{\partial z} \pm c\theta = 0$$

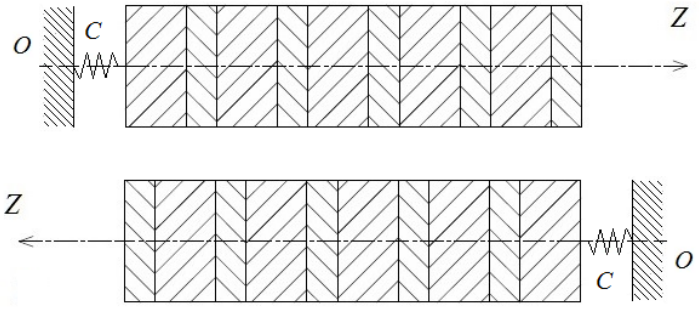
Mos keluvchi sxemalar 3-5(a,b,c,d)-rasmlarda keltirilgan.



3-rasm. Qayishuvchan taxlamli ishchi organning uchini bikr mahkamlash uchun chegaraviy shartlar sxemasi.



4-rasm. Qayishuvchan taxlamli ishchi organning erkin uchi uchun chegaraviy shart sxemasi.

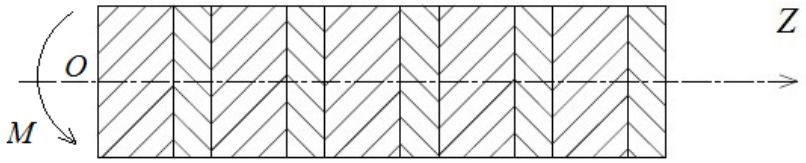


a)

5a-rasm. Qayishuvchan taxlamli ishchi organning uchini elastik mahkamlash uchun chegaraviy shartlar sxemasi.

– **tashqi buralish momenti ta’sir etgandagi chegaraviy shart**

Qayishuvchan taxlamli ishchi organning uch qismiga tashqi buralish momenti ta’sir etadigan holni ko‘rib chiqamiz (5b-rasm).



b)

5b-rasm. Qayishuvchan taxlamli ishchi organning uchida tashqi buralish momenti ta’sir etish sxemasi.

Bu holatda tegishli ko‘ndalang kesimda buralish deformatsiyasi natijasida yuzaga keladigan elastik ichki moment paydo bo‘ladi va u tashqi momentni muvozanatlashtiradi.

z = 0 da chegaraviy shart quyidagicha bo‘ladi:

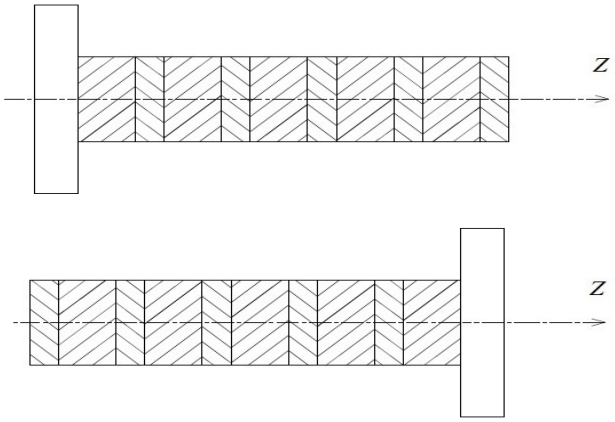
$$GJ_k \frac{\partial \theta}{\partial z} = M$$

bu yerda: M – ishchi organning uch qismiga qo‘yilgan tashqi buralish momenti.

Shunday qilib, mazkur kesimda tebranayotgan tizimning dinamik muvozanatini ta’minlovchi elastik reaktiv moment hosil bo‘ladi.

– **uch qismida inertsiya elementi mavjud bo‘lgandagi chegaraviy shart**

Qayishuvchan taxlamli ishchi organning uchida chekli inertsiya momentiga ega bo‘lgan massiv disk mahkamlangan holni ko‘rib chiqamiz (5c-rasm).



c)

5c-rasm. Qayishuvchan taxlamli ishchi organning uchida inertsiya elementi (disk)ni mahkamlash sxemasi.

Bunday inertsiya elementining mavjudligi masalaning dinamik chegaraviy shartlarining o‘zgarishiga olib keladi.

$z = 0$ bo‘lganda chegaraviy shart quyidagi ko‘rinishda yoziladi:

$$GJ_k \frac{\partial \theta}{\partial z} = J \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2}$$

bu yerda: J – mahkamlangan disk massasining inertsiya momenti.

Ishchi organning qarama-qarshi uchida $z = L$ bo‘lganda, chegaraviy shart quyidagi ko‘rinishni oladi.

$$GJ_k \frac{\partial \theta}{\partial z} = -J \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2}$$

Bu, buralish tebranishlari jarayonida ishchi organning uchlarida ulangan massalar

tomonidan hosil qilinadigan inertsiya momentlarini muvozanatlashtiruvchi elastik momentlar yuzaga kelaishini anglatadi.

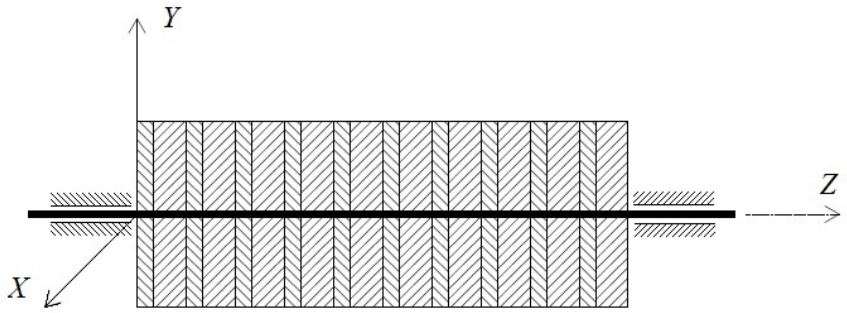
Mazkur effekt tizimning xususiy chastotalar spektriga hamda amplituda-chastota tavsiflariga sezilarli darajada ta’sir ko‘rsatadi.

5. Ko‘ndalang kesimlar deplanatsiyasining ta’siri

Diametri katta bo‘lgan taxlamli ishchi organlar uchun yassi kesimlar gipotezasini qo’llash maqsadga muvofiq bo’lmaydi.

Buralish jarayonida silindrik sirtning hosil qiluvchi chiziqlari vint chiziqlariga transformatsiyalanadi, bu esa nuqtalarning bo‘ylama siljishlarini yuzaga keltirib, ko‘ndalang kesimlarning deplanatsiyasiga olib keladi.

Deformatsiya sxemasi 5d-rasmda ko‘rsatilgan.



d)

5d-rasm. Ko‘ndalang kesimlar deplanatsiyasini hisobga olgan holda buralish tebranishlari jarayonida qayishuvchan taxlamli ishchi organning deformatsiyasi sxemasi.

Nuqtaning bo‘ylama siljishi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi [4]:

$$\omega = \varphi(x,y)\frac{\partial\theta}{\partial z} \tag{6}$$

Ko‘ndalang kesimning deplanatsion inertsiya momenti

$$J_\varphi = \int_F \varphi^2 dF \tag{7}$$

Kesimning doiraviy shaklida

$$J_\varphi = 0$$

Geometrik o‘lchamlar bilan bog‘liq deplanatsiya uchun buralish funksiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$\varphi = \frac{R^2}{L^2}\theta \tag{8}$$

6. Konstruktiv omillarni hisobga olgan holda deformatsiya energiyasi

Deplanatsiyani hisobga olgan holda deformatsiyaning potensial energiyasi:

$$U = U_k + U_\varphi + U_\psi + U_T \tag{9}$$

bu yerda: $\tilde{K} = K_R + iK_{LC}U_k$ – sof buralish energiyasi;

U_φ – shakl deplanatsiyasi energiyasi;

U_ψ – o‘lchamlar deplanatsiyasi energiyasi;

U_T – texnologik qarshilik energiyasi.

Texnologik qarshilikni burchak siljishiga proporsional deb qabul qilinishi mumkin.

$$U_T = \frac{1}{2}\int_0^L k_T\theta^2 dz \tag{10}$$

7. Buralish tebranishlarining umumlashtirilgan tenglamasi

Dinamikaning umumlashtirilgan tenglamasini barcha energetik tashkil etuvchilarni hisobga olgan holda hosil qilamiz.

$$A\frac{\partial^2\theta}{\theta t^2}+B\frac{\partial^4\theta}{\partial z^4}-C\frac{\partial^2\theta}{\partial z^2}+k_T\theta=0 \qquad (11)$$

Mazkur tenglama qayishuvchan taxlamli ishchi organning buralish burchagining fazo-vaqt bo‘yicha taqsimlanishini tavsiflaydi.

3. Olingan natijalar tahlili.

O‘tkazilgan tahlil quyidagilarni ko‘rsatdi:

– deplanatsiya tizimning dinamik tavsiflarini sezilarli darajada o‘zgartiradi;
– buralish bikrligining ortishi xususiy chastotalarning oshishiga olib keladi;
– texnologik qarshilik qo‘shimcha dinamik qo‘zg‘alishni keltirib chiqaradi;
– eng xavfli holat birinchi xususiy chastotaga to‘g‘ri keladi.

Olingan bog‘lanishlar quyidagilarga imkon beradi:

– rezonans rejimlarni oldindan prognozlashga;
– ishchi organlarning geometrik parametrlarini optimallashtirishga;
– mashinalarning ekspluatatsion ishonchliligini oshirishga.

4.Xulosa:

1. Qayishuvchan taxlamli ishchi organlarning buralish tebranishlari uchun matematik model ishlab chiqildi.
2. Ko‘ndalang kesimlar deplanatsiyasining tizimning dinamik tavsiflariga ta’siri aniqlandi.
3. Buralish tebranishlarining umumlashtirilgan differensial tenglamasi hosil qilindi.
4. Olingan natijalardan o‘zgaruvchan aylanish chastotasiga ega texnologik mashinalarni loyihalashda foydalanish mumkin.

Adabiyotlar

[1]. Абдувахидов М. Динамика пакетных роторов текстильных машин. Монография. – Ташкент: Фан, 2011 г., 165 с.
[2]. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. – М.: Физматгиз, 1959, 472с.Журавский Д.И. Сопротивление материалов.
[3]. Вибрация в технике. Под ред. В.Н. Челомея. Справочник в 6 томах. Том 1. – М.: Машиностроение, 1978, 352с.
[4]. М.М.Абдувахидов. М.Абдувахидов. Исследование депланации поперечных сечений при крутильных колебаниях. Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent, 2020г.

KOMPOZIT VA PO‘LAT ARMATURALARNI FIZIK-MEXANIK XOSSALARINI TAQQOSLASH

Sh.A. Umarov**,** magistrant U.A. Abdug‘ofurov

Farg’ona davlat texnika universiteti,
e-mail: sh.umarov@ferpi.uz, (ORCID 0000-0003-2265-3232).
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya*: ushbu maqolada hozirgi kunda bino va inshootlarni barpo etishda yuk ko‘taruvchi konstruksiyalarida keng qo‘llaniladigan po‘lat armaturalar va xorijiy tajriba asosida yurtimizga kirib kelayotgan kompozit materiallar ya’ni shishatolali kompozit armaturalar solishtirilib tavsiyalar ishlab chiqilgan. Bunda po‘lat va shishatolali kompozit armaturalardan foydalanilganda konstruksiyalarning yuk ko‘tarish qobiliyatining o‘zgarishi, olovbardoshligi, yengilligi va shu armaturalarning bir biridan ustun jihatlari ko‘rsatib o‘tilgan.*

Kalit so’zlar: *kompozit materiallar, shishatolali kompozit armatura, po‘lat armatura, kostruksiya, metall, temperatura, deformatsiya, korroziya, olovbardoshlik.*

Аннотация: *В данной статье проведено сравнение стальной арматуры, широко применяемой в настоящее время в несущих конструкциях при строительстве зданий и сооружений, и композитных материалов, а именно стеклопластиковой композитной арматуры, импортируемой в нашу страну на основе зарубежного опыта, и разработаны рекомендации. В статье показано изменение несущей способности конструкций при использовании стальной и стеклопластиковой композитной арматуры, огнестойкости, лёгкости, а также преимущества этих видов арматуры друг перед другом..*

Ключевые слова: *композитные материалы, стеклопластиковая композитная арматура, стальная арматура, строительство, металл, температура, деформация, коррозия, огнестойкость*

Annotation: *This article compares steel reinforcements, which are currently widely used in load-bearing structures in the construction of buildings and structures, and composite materials, namely fiberglass composite reinforcements, which are imported into our country based on foreign experience, and develops recommendations. In this article, the change in the load-bearing capacity of structures when using steel and fiberglass composite reinforcements, fire resistance, lightness, and the advantages of these reinforcements over each other are shown..*

Key words*: composite materiallar, snishatolali composite reinforcement, reinforcement, , metal, temperature, deformation, corrosion, tinplate.*

Kirish. O‘zbekistonning qurilish sanoati so‘nggi yillarda jadal sur’atlarda rivojlanib, yangi turar-joylar, ijtimoiy obyektlar, sanoat inshootlari, transport va gidrotexnika tizimlari keng miqyosda barpo etilmoqda. Shu bilan birga, zamonaviy qurilish uchun mustahkam, iqtisodiy, uzoq xizmat qiluvchi va ekologik xavfsiz konstruksiyalarni yaratish muhim strategik vazifaga aylangan. Ana shu kontekstda beton konstruksiyalarda po‘lat va kompozit armaturalardan foydalanish samaradorligini ilmiy baholash O‘zbekiston uchun nihoyatda dolzarbdir. beton mustahkamlikka ega bo‘lsa-da, cho‘zilish (tensil) kuchlariga chidamliligi juda past. Shu sababli beton konstruksiyalarni cho‘zilish kuchlaridan himoya qilish, yoriqlarni cheklash va yuk ko‘tarish qobiliyatini oshirish maqsadida armatura qo‘llaniladi. Zamonaviy qurilish sanoatida materiallar tanlovi konstruksiyalarning mustahkamligi, uzoq umr ko‘rishi va iqtisodiy samaradorligini belgilovchi eng muhim omillardan biridir. An’anaviy temirbeton konstruksiyalarida qo‘llanib kelinayotgan po‘lat armatura o‘zining yuqori mustahkamligi va plastiklik xususiyatlari bilan ajralib turadi. Biroq so‘nggi yillarda korroziyaga chidamlilik, og‘irlikning kamaytirilishi, texnik xizmat xarajatlarini qisqartirish va energiya tejamkor qurilish talablari kuchayib borayotgani sababli kompozit armaturalarga (GFRP, BFRP, CFRP) bo‘lgan ehtiyoj keskin ortmoqda So‘nggi paytlarda xorijiy "Zamonaviy qurilish texnologiyalari, xususan, yangi avlod materiallari sohani tubdan o‘zgartirmoqda. Uglerodli va shishatolali kompozitlar, shuningdek, korroziyaga qarshi polimersement aralashmalari yordamida binolarning mustahkamligi konstruksiya vazniga og‘irlik bermasdan ta’minlanadi. Bu esa xonalarning ichki hajmini saqlab qolgan holda, samarali muhandislik yechimlarini qo‘llashga yo‘l ochadi. Kompozit materiallarning ustunligi shundaki, ular

ish unumdorligini oshirib, qurilish muddatini sezilarli darajada tejaydi.

Asosiy qisim

Qurilish industriyasidagi davomli taraqqiyot bozorga innovatsion ashyolarning kirib kelishini jadallashtirmoqda. Shu sababli, konstruksiyalarning asosi hisoblangan armatura mahsulotlari evolyutsiyasi mutaxassislar diqqat markazida bo‘lib kelmoqda. Bugungi kunda zamonaviy fuqarolik va sanoat ob’ektlarini mustahkamlovchi karkaslarsiz barpo etishning imkoni yo‘q. Agar ilgari metall karkaslar mutlaq ustunlikka ega bo‘lgan bo‘lsa, hozirda shishatolali kompozit armaturalarning qo‘llanilish ko‘lami sezilarli darajada ortdi. Bu esa an’anaviy po‘lat va zamonaviy kompozit materiallarning texnik-iqtisodiy jihatlarini o‘zaro qiyoslash hamda ularning samaradorligini aniqlash zaruriyatini keltirib chiqarmoqda.

1-Jadval

Kompozit armaturalar	*Po‘lat armaturalar*
Yengil vazn va ixchamlik: Shishatolali kompozit armaturalarning asosiy afzalliklaridan biri — ularning o‘ta yengilligidir. Bir xil parametrga ega po‘lat va kompozit namunalar solishtirilganda, kompozitning massasi bir necha barobar kichik chiqadi, bu esa loyihaning umumiy og‘irligini kamaytirishda hal qiluvchi ahamiyatga ega.	**Standartlashtirilgan ishonchlilik:** Po‘lat armaturalar ko‘p yillik tajribada sinovdan o‘tgan va qat’iy davlat standartlari (GOST) asosida ishlab chiqariladigan ishonchli materialdir.
Korroziyaga mutloq chidamlilik: Tarkibidagi uglerod elementlari va maxsus komponentlar tufayli ushbu material korroziyaga uchramaydi va chirish jarayonlaridan xoli. Bu xususiyat namlik yuqori bo‘lgan sharoitlarda uzoq umr ko‘rishni ta’minlaydi.	**Universal o‘lchamlar:** Diametrlarning 3 mm dan 80 mm gacha bo‘lgan keng diapazoni har qanday murakkablikdagi loyihalar uchun cheklovsiz tanlov imkonini beradi.
Yuqori mustahkamlik ko‘rsatkichi: Chidamlilik jihatidan kompozit armaturalar an’anaviy po‘latdan qariyb 3 barobar ustun hisoblanadi. Bunday yuqori ko‘rsatkich ko‘p qavatli binolarning xavfsizligini yangi bosqichga olib chiqadi.	**Beton bilan termik moslik:** Metallning chiziqli kengayish koeffitsiyenti beton ko‘rsatkichlariga juda yaqin. Bu xususiyat harorat o‘zgarganda konstruksiya yaxlitligini saqlashda kompozit materiallardan ustunligini ta’minlaydi.
Ekstremal sharoitlarga bardoshlilik: Material agressiv kimyoviy muhitda o‘z xususiyatlarini yo‘qotmaydi. Shuningdek, u -60°C dan +100°C gacha bo‘lgan keng harorat oralig‘ida samarali ishlaydi.	**Ekspluatatsiya muddati:** Agarda material namlik va agressiv kimyoviy muhitdan himoyalangan bo‘lsa, po‘lat armaturalarning xizmat muddati 50 yildan ortiqni tashkil etadi.
Logistika va montaj qulayligi: Kompozit armaturalar ixcham rulonlarda tashilgani bois, ularni yetkazib berish va saqlash ancha oson. O‘rnatish jarayonida esa oddiy "bolgarka" (maydalagich) yordamida kesish va plastik qisqichlar bilan biriktirish imkoniyati ish sur’atini tezlashtiradi.	**Yuqori elastiklik va egiluvchanlik:** Po‘lat buyumlar shishatolali muqobillariga qaraganda 4 barobar yuqori elastiklikka ega. Bu ularni shakl berish va egish jarayonlarida mutloq yetakchiga aylantiradi.
Yengil vazn va ixchamlik: Shishatolali kompozit armaturalarning asosiy afzalliklaridan biri — ularning o‘ta yengilligidir. Bir xil parametrga ega po‘lat va kompozit namunalar solishtirilganda, kompozitning massasi bir necha barobar kichik chiqadi, bu esa loyihaning umumiy og‘irligini kamaytirishda hal qiluvchi ahamiyatga ega.	**Montaj va mavjudlik:** Payvandlash, sim bilan bog‘lash yoki qisqichlar orqali biriktirish imkoniyati montaj usullarini boyitadi. Shuningdek, bozorlarda ushbu mahsulotning assortimenti hamisha keng va qulaydir.

Iqtisodiy foyda. Kichikroq diametrli shishatolali kompozit armaturalarni katta diametrli po‘lat armaturalarni o‘rniga almashtirish mumkin, bu tabiiy ravishda loyihalarning narxini pasaytiradi.	Po‘lat armaturalar shishatolaga qaraganda ko‘proq bo‘laklarga ega, bu esa ulardan foydalanish mumkin bo‘lgan qurilish loyihalari doirasini sezilarli darajada kengaytiradi.
Elektrro‘tkazuvchilar sinfiga tegishli emas. shishatolali kompozit armaturalar elektr o‘tkazmaydigan bo‘lib, uni muayyan loyihalar uchun afzalroq tanlov qiladi.	Metallga kelsak, bu xususiyat an’anaviy yuqori voltli simlardan faqat bir oz farq qiladi. Inson tanasi va atrof-muhitga salbiy ta’sir ko‘rsatmaydi.
Shishatolali kompozit armaturalar – 50 m,100 m va 150 mli rulonlarda qurilish bozorlariga yoki qurilish maydonlariga yetkazib beriladi.	Karkaslar yasashning qulayligi. Radiusi 90 gradusgacha egilishi uchun qizdirilishi mumkin. Beton bilan yopishish. Ham beton, ham armatura bir xil chiziqli kengayish koeffitsientiga ega, bu esa temir-beton shaklida bardoshli tandemni olish imkonini Beradi.
Salbiy tomonlari	
Kompozit armaturalar	***Po‘lat armaturalar***
Mustahkamlik va elastiklik balansi: Shishatolali kompozit armaturalar cho‘zilishda yuqori mustahkamlikka ega bo‘lsa-da, ularning elastiklik moduli (E) po‘lat armaturalardan deyarli 4 barobar past hisoblanadi.	**Geometrik cheklovlar:** Po‘lat armaturalarning standart uzunligi cheklangan bo‘lib, odatda 11,7 metrdan (kam hollarda 12 metr) oshmaydi. Bu esa katta o‘lchamli konstruksiyalarda qo‘shimcha ulanishlarni talab qiladi.
Qo‘llash sohasidagi cheklovlar: Elastiklik koeffitsiyentining pastligi sababli, ushbu materiallarni asosiy yuk ko‘taruvchi konstruksiyalarda (ayniqsa, egilishga ishlovchi elementlarda) qo‘llash tavsiya etilmaydi.	**Logistika murakkabligi:** Materialning og‘irligi va uzunligi sababli, ularni tashish uchun maxsus yuk transportlari jalb qilinishi shart. Bu omil qurilishning umumiy tannarxida logistika xarajatlarining ulushini oshiradi.
Termik barqarorlikning pastligi: Yuqori harorat ta’sirida shishatolali kompozitlarning fizik-mexanik xususiyatlari sezilarli darajada pasayadi; isitish natijasida material o‘zining boshlang‘ich mustahkamlik darajasini yo‘qotadi.	**Oksidlanishga moyillik:** Po‘lat agressiv muhit va namlik ta’sirida korroziyaga o‘ta ta’sirchan hisoblanadi. Tadqiqotlarga ko‘ra, yemirilish darajasi yiliga 0,1 mm dan 1,5 mm gacha yetishi mumkin.
	Saqlash rejimiga qo‘yiladigan talablar: Metallning xususiyatlarini saqlab qolish uchun ularni ochiq maydonlarda yoki bevosita yer yuzasida uzoq vaqt qoldirish qat’iyan man etiladi.

Shishatolali kompozit armaturalar va po‘lat armaturalarning afzalliklarini 1-rasmda yaqqol ko‘rishingiz mumkin.

1-rasm Shishatolali kompozit va po‘lat armaturalarning afzalliklari.

Shishatolali kompozit armatura korroziyaga chidamliligi, yengil vazni va po‘latdan bir necha barobar kuchliroq bo‘lishi bilan afzal, po‘lat esa o‘zining an’anaviyligi, yuqori egiluvchanligi (plastikligi) va ba’zi yuklarga bardosh berishda ishonchliligi bilan ajralib turadi; kompozit materiallar zamonaviy qurilishda korroziya xavfi yuqori bo‘lgan joylarda samarali bo‘lsa, po‘lat avvaldan qo‘llanilgan va mustahkam qurilishda keng qo‘llaniladi.Quydagi jadvalda keltirilgan.

2-Jadval

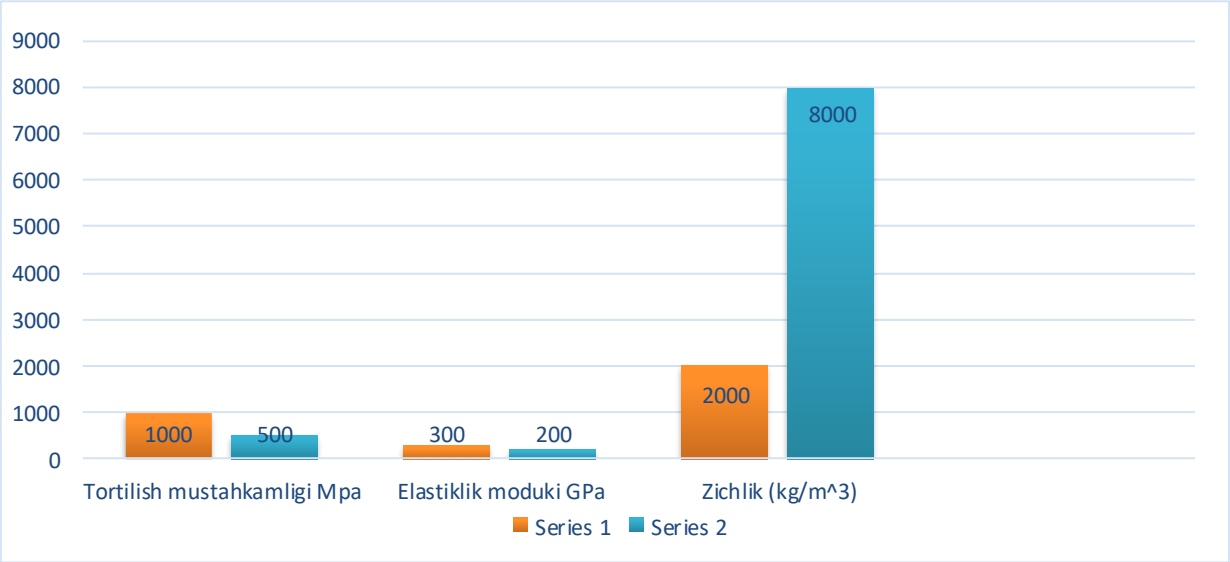
Sharoit / Obyekt turi	**Po‘lat armatura**	**Kompozit armatura**
Oddiy binolar	Juda samarali	Odatda talab qilinmaydi
Aggressiv muhit (dengiz, sho‘rlangan yer)	Kam samarali	Eng samarali
Yengil konstruksiyalar	Og‘ir	Juda yengil
Elektr o‘tkazmaydigan obyektlar	Mos emas	Juda mos
Yirik yuklanmalar (ko‘prik, kolonalar)	Juda samarali	CFRP bo‘lsa mumkin
Uzoq xizmat muddati	O‘rtacha	Juda yuqori
Narxi	Arzon	Qimmatroq (ammo ekspluatatsiya da tejamkor)

Po‘lat va kompozit armaturalarni solishtirganda, po‘lat armatura kuchlilik va qattiqlikda ustunlik qilsa-da, kompozit armatura (ko‘pincha shisha yoki uglerod tolali) korroziyaga chidamlilik, yengillik, elastiklik, radioto‘lqin o‘tkazmaslik hamda kamroq issiqlik o‘tkazuvchanligi kabi afzalliklarga ega, ammo deformatsiyalanuvchanligi po‘latga nisbatan yuqori bo‘lishi mumkin, bu esa muhandislik hisoblarida e’tiborga olinishi kerak. Po‘lat va kompozit armaturaning solishtirma ko‘rsatkichlari jadvalda keltirilgan.

3-Jadval

Xususiyat	Po'lat	Kompozit (GFRP)
Tortilish mustahkamligi (MPa)	500	1000
Elastiklik moduli (GPa)	210	50
Zichlik (kg/m³)	7850	1800

Mexanik ko'rsatkichlar taqqoslanishi — bu materiallar, qurilmalar yoki texnologik tizimlarning mexanik xususiyatlarini (mustahkamlik, qattiqlik, cho'ziluvchanlik, zichlik, ish samaradorligi, sarf va boshqalar) aniqlash, solishtirish va baholash jarayoni bo'lib, ular ko'pincha datchiklar, qiyoslagichlar, test sinovlari orqali o'lchanadi va texnik xususiyatlar jadvali, grafiklar yordamida tahlil qilinadi, bu esa eng yaxshi materialni tanlash, mahsulot sifatini nazorat qilish yoki jarayonni optimallashtirish uchun muhimdir. Quydagi jadvalda mexanik ko‘rsatkichlar taqqoslanishi



2-rasm Mexanik ko‘rsatkichlar taqqoslanishi.

Xulosalar

"Bino va inshootlarni barpo etishda polimersement tarkibli, yuqori yopishqoqlik va korroziyaga qarshi xususiyatga ega uglerod hamda shishatolali kompozitlar zamonaviy texnologiyalarning asosi bo‘lib xizmat qilmoqda. Ularni qo‘llash orqali konstruksiya og‘irligini oshirmasdan, mustahkamlik va yoriqbardoshlik ko‘rsatkichlarini sezilarli darajada yaxshilash mumkin. O‘tkazilgan sinovlar shuni ko‘rsatadiki, kompozit material bilan kuchaytirilgan tizimlar kutilmagan shikastlanishlarda ham binoning qulashini kechiktiradi va insonlar hayotini saqlab qolish uchun vaqt yaratadi. Yakuniy xulosa sifatida aytish mumkinki, yengil konstruksiyali xususiy qurilishlarda kompozit materiallar eng yaxshi muqobil hisoblansa, murakkab va og‘ir yuklamali loyihalarda po‘lat armatura o‘z pozitsiyasini saqlab qolmoqda".

Aadabiyotlar

[1]. Умаров, Ш. А., Мирзабабаева, С. М., & Абобакирова, З. А. (2021). Бетон Тўсинларда Шиша Толали Арматураларни Қўллаш Орқали Мустаҳкамлик Ва Бузилиш Ҳолатлари Аниқлаш. Таълим ва Ривожланиш Таҳлили онлайн илмий журнали, 1(6), 56-59.

[2]. Умаров, Ш. А. (2021). Исследование Деформационного Состояния Композиционных Арматурных Балок. Таълим ва Ривожланиш Таҳлили онлайн илмий журнали, 1(6), 60-64.

[3]. Umarov, S. A. (2021). Development of deformations in the reinforcement of beams with composite reinforcement. Asian Journal of Multidimensional Research, 10(9), 511-517.

[4]. Мирзабабаева, С. М., Мирзаахмедова, У. А., Абобакирова, З. А., & Умаров, Ш. А. (2021). Влияние Повышенных И Высоких Температур На Деформативность Бетонов. Таълим ва Ривожланиш Таҳлили онлайн илмий журнали, 1(6), 40-43.

[5]. А.П.Мандриков. Примеры расчета железобетонных конструкций М. 1979г. 419 Akhrarovich, A. K., & Muratovich, D. S. (2022). The role of rod stayed- shell systems in studies of innovative structures inconstruction. Spectrum Journal of Innovation, Reforms and Development, 9, 116-123.

[6]. Davlyatov, S. M., & Kimsanov, B. I. U. (2021). Prospects For Application Of Non- Metal Composite Valves As Working Without Stress In Compressed Elements. The American Journal of Interdisciplinary Innovations Research,

3(09), 16-23. Akhrarovich, A. K., & Muratovich, D. S. (2022). Construction features of performing external reinforcement from composite materials. Spectrum Journal of Innovation, Reforms and Development, 9, 110-115.

DARYO O‘ZANIDAGI JARAYONLARNI BAHOLASHDA GEOAXBOROT TIZIMLARI TEXNOLOGIYALARI

D.E. Atakulov, D.A. Jumabayeva

‘‘Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti’’
Milliy tadqiqot universiteti d.atakulov@tiiame.uz
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya: *Ushbu maqola daryo o‘zani morfometrik parametrlarining o‘zgarishini zamonaviy geoaxborot texnologiyalari asosida o‘rganishga bag‘ishlanadi. Maqolada 2015 – yili fazoga uchirilgan va hozirgi vaqtda 13 ta spektrial qatlamda yer yuzasining (10, 20 , 60 m fazoviy aniqlikda) eng oxirgi ma’lumotlarini uzatib beruvchi Sentinel 2A sun’iy yo‘ldoshining NIR va SWIR qatlamlaridan foydalanib Chirchiq daryosi o‘zanidagi erozion jarayonlar tahlil qilinadi. Ushbu daryoning oqimlari harakati jadal o‘zgarib turishi va an’anaviy dala o‘lchovlarida murakkabliklardan kelib chiqqan holda GAT va masofaviy zondlash texnologiyalaridan foydalanildi. Ushbu texnologiyalar o‘lchov jarayonlarini soddalashtiribgina qolmasdan, yuqori aniqlikdagi fazoviy ma’lumotlar bazasini shakllantirish orqali daryo o‘zanidagi eroziya va akkumulatsiya jarayonlarini kompleks va tizimli ravishda baholash imkonini berdi.*

Tayanch so‘zlar: *GAT, Masofaviy zondlash, Sentinel – 2A, NDWI, eroziya, akkumulatsiya.*

Abstract: *This article is devoted to studying changes in the morphometric parameters of river channels based on modern geoinformation technologies. The study analyzes erosion processes in the Chirchiq River channel using the NIR and SWIR bands of the Sentinel-2A satellite, launched in 2015, which currently provides up-to-date Earth surface data in 13 spectral bands with spatial resolutions of 10, 20, and 60 m. Considering the highly dynamic nature of river flow and the complexities associated with traditional field measurements, GIS and remote sensing technologies were employed. These technologies not only simplify measurement procedures but also enable the development of high-resolution spatial databases, allowing comprehensive and systematic assessment of erosion and accumulation processes within the river channel.*

Key words*: GIS, Remote Sensing, Sentinel-2A, NDWI, erision, sediment deposition*

Аннотация: *Настоящая статья посвящена изучению изменений морфометрических параметров речного русла на основе современных геоинформационных технологий. В работе проведён анализ эрозионных процессов в русле реки Чирчик с использованием NIR и SWIR каналов спутника Sentinel-2A, запущенного в 2015 году и в настоящее время передающего актуальные данные о поверхности Земли в 13 спектральных диапазонах с пространственным разрешением 10, 20 и 60 м. Учитывая высокую динамичность речного стока и сложности, возникающие при проведении традиционных полевых измерений, в исследовании применены технологии ГИС и дистанционного зондирования. Данные технологии не только упростили процесс измерений, но и позволили сформировать высокоточную пространственную базу данных, обеспечив комплексную и системную оценку процессов эрозии и аккумуляции в русле реки.*

Ключевые слова: *ГИС, дистанционное зондирование, Sentinel-2A, NDWI, эрозия, аккумуляция.*

Kirish. So‘nggi yillarda masofaviy zondlash tasvirlaridan olinadigan axborotlar daryo morfologik o‘zgarishlarini o‘rganish uchun fazoviy axborotlar bazasini shakllantirishda keng qo‘llanilmoqda. Ushbu ishlarda suvli maydonni boshqa obyektlardan ajratib olishga asoslangan bo‘lib, raqamli tasvirlarni qayta ishlash usuliga asoslangan [1]. Yuqori aniqlikdagi sun’iy yo‘ldosh tasvirlari ma’lumotlari va masofaviy zondlash (Remote sensing) texnologiyalarining o‘ziga xos imkoniyatlari turli vaqt oralig‘ida tanlangan obyekt bo‘yicha ma’lumotlar olish imkoniyatini yaratadi. Masofaviy zondlash – bu masofadan turib ma’lumot yig‘ish va uzatish jarayoni hisoblanib, NASA, USGS, ESA, JAXA kabi tashkilotlar Yer va koinotdagi boshqa sayyoralarni sun’iy yo‘ldoshlarga o‘rnatilgan sensorlar yordamida kuzatadi. Masofaviy sensorlar keng

hududlarni qamrab olib, sayyoramiz haqida qimmatli ma'lumotlarni beribgina qolmasdan, sayyoramizning kelajakdagi holatiga asoslangan ma'lumotlar bazasini yaratish imkonini beradi [2].

Masalaning qo'yilishi: Hozirgi davrda ko'plab olimlar sun'iy yo'ldosh tasvirlari orqali daryo o'zanida kechadigan meandrlanish, erozion va akkumulatison jarayonlarni o'rganishmoqda. Jumladan, Cristopherd Conrad MODIS ва SPOT tasvirlari orqali SEBAL modelini ishlab chiqqan va Xorazm viloyati qishloq xo'jaligi yerlarining suv balansini masofadan turib sun'iy yo'ldosh tasvirlari orqali boshqarishga erishdi. [3] Ze Li Landsatdan olingan sun'iy yo'ldosh tasvirlari orqali Remote Sensing va GIS dan foydalangan holda Tarim daryosi o'zanida uzoq davrli (1993 – 2024) o'zan eroziyasi va migratsiyasi, o'zan kengligining vaqt bo'yicha o'zgarishini o'rgangan.[4] Zarka Mukhtar Himolay tog' mintaqasida joylashgan daryolarning fluvial va morfologik o'zgarishlar kuzatish maqsadida Google Earth Engine platformasi yordamida ushbu daryonlarning morfologik klassifikatsiya modelini ishlab chiqdi[5].

Yechish usuli: Masofaviy zondlash keng qamrovli fazoviy ma'lumotlarni qamrab olganligi uchun ushbu usul yordamida olib boriladigan tadqiqotlar daryo bo'yi eroziyasi, meandrlanish va akkumulatsiya jarayonlari, ularning ta'sirini tahlil qilish uchun boshqa an'anaviy usullarga qaraganda yanada amaliy yondashuvni taqdim etadi[6]. Chirchiq daryosi o'zanida olib borilgan tadqiqotda masofaviy zondlash va GIS usullaridan foydalangan holda eroziya va akkumulyatsiya jarayonlari o'zgarishlarini har tomonlama tahlil qilish va o'rganishni maqsad qilingan. Eroziya va akkumulyatsiya darajalari zamonaviy Geografik Axborot Tizimi (GIS) va Masofaviy Zondlash (RS) texnikasi yordamida aniqlandi. Ushbu tadqiqot usulida ArcGIS 10.8 dasturidan foydalangan holda GIS va masofaviy zondlash usullari keng qo'llanildi. USGS va Copernicus veb – saytidan daryoning fazoviy ma'lumotlari olindi. Sentinel 2A sun'iy yo'ldoshining SWIR va NIR qatlamlari ma'lumotlaridan foydalanildi. Daryo o'zanida ma'lum vaqt davomida yuz beradigan o'zgarishlarni aniqlash uchun sun'iy yo'ldosh tasvirlari nafaqat ko'p yillik ma'lumotlarni qamrab olishi, balki maksimal darajada fazoviy va spektral bir xillikka ham ega bo'lishi lozim. Sun'iy yo'ldosh tasvirlari orasida Sentinel -2A sun'iy yo'ldoshi tomonidan olingan ma'lumotlar Yer yuzasini aniq va uzoq muddatli o'lchash imkonini beruvchi qimmatli manbalardan biri hisoblanadi [7].

1 – jadval.

Sentinel sun'iy yo'ldoshi avlodlari

Sentinel sun'iy yo'ldoshi avlodlari	Uchirilgan sanasi	Qo'llaniladigan sohalari
Sentinel-1A	03.04.2014	Quruqlik va dengiz yuzasidagi o'zgarishlarni, yer silkinishlari, sel, muzlatish jarayonlari monitoringi.
Sentinel-2A	23.06.2015	Qishloq xo'jaligi, o'rmon, landshaft monitoringi, eroziya va o'zgarishlarni aniqlash.
Sentinel-1B	25.04.2016	Orbitada Sentinel-1A bilan sinxron ishlash uchun qo'shimcha radar kuzatuvchi sun'iy yo'ldosh.
Sentinel-3A	16.02.2016	Dengiz sathining harorati, okean sirtining biogeokimyoviy jarayonlari monitoringi.
Sentinel-2B	07.03.2017	Yer yuzasi monitoringi, ekologik va qishloq xo'jaligi.
Sentinel-5P	13.10.2017	Havo sifati, atmosferaning gazlari va aerozol miqdorini aniqlash.
Sentinel-3B	25.04.2018	Dengiz va yer yuzasi monitoringi, okean sirt harorati, biogeokimyoviy jarayonlar kuzatuvi.
Sentinel-6	21.11.2020	Iqlim o'zgarishi monitoringi, dengiz darajasining ko'tarilishi va sun'iy yo'ldosh navigatsiyasi.
Sentinel-2C	21.11.2020	Yuqori aniqlikdagi quruqlik va suv yuzasining rangli tasvirlarini yetkazib beradi.

Copernicus Data Space Ecosystem - Yevropa Ittifoqi tomonidan yer yuzasining bepul va ochiq axborotlar asosida yagona, integratsiyalashgan ma'lumotlar bazasini yaratishga qaratilgan dastur bo'lib, 2008 – yilda ishga tushirilgan. Ushbu dastur Yevropa Kosmik Agentligi (ESA)

tomonidan doimiy ravishda boshqarilib, dastur ishga tushirilga payda GMES (Global Monitoring for Environment and Security) deb nomlangan. 2014 - yil ushbu dastur tarkibiga Sentinel 1A sun'iy yo'ldoshi kiritilgan. Keyinchalik Sentinel sun'iy yo'ldoshining avlodlari hisoblanadigan Sentinel - 1A, Sentinel - 2A, Sentinel - 1B, Sentinel - 3A, Sentinel - 2B, Sentinel- 5P, Sentinel - 3B, Sentinel - 6, Sentinel - 2C (Sentinel 2A va Sentinel 2B ning integratsiyasi) sun'iy yo'ldoshlari yaratilib kosmosga uchirilgan (1 – jadval).

Chirchiq daryosi o'zanida olib borilgan tadqiqotda Sentinel – 2A sun'iy yo'ldoshining NIR va SWIR qatlamlari ma'lumotlaridan foydalanildi. Sentinel – 2A sun'iy yo'ldoshi 2015 – yil 23 – iyunda fazoga uchirilgan bo'lib, boshqa o'rta darajadagi fazoviy o'lchamdagi tasvirlarga nisbatan yuqori (10 m) fazoviy aniqlikka ega hisoblanadi. Ushbu sun'iy yo'ldosh har 5 kunda fazoga uchirilib, 13 ta keng diapazonli multispektrial tasvirlarini yozib olish imkoniyatiga ega bo'lgan multispektiral skanerlash asboblaridan (MSI) iborat. Sentinel-2 ma'lumotlari Yerning 56° janubiy kenglikdan 84° shimoliy kenglikgacha bo'lgan quruqlik yuzalarini, sohil suvlari va butun O'rta yer dengizini qamrab oladi. Sentinel-2 tasvirlarining 13 ta qatlami mavjud bo'lib, ularning fazoviy aniqligi 10 dan 60 metrgacha o'zgaradi. Ko'zga ko'rinadigan va yaqin infraqizil (NIR) qatlamlarining fazoviy aniqligi 10 m, infraqizil qatlamlar 20 m, qolgan qatlamlar esa 60 m ni tashkil qiladi. 10 m fazoviy aniqlik Sentinel ma'lumotlariga Yer yuzasini batafsil o'rganish imkonini beradi (qishloq xo'jaligi, tabiiy ofatlar, suv toshqinlari). Sentinel - 2 ma'lumotlarining yana bir qimmatli xususiyati uning 5 kunlik yuqori vaqtinchalik aniqligidir.Sentinel-2 sensorining radiometrik kalibrlashdagi xatolik darajasi past bo'lib, bu tasvirlarning nur tarqalishini ishonchli natijalar bilan ta'minlaydi. Tadqiqotlarda Sentinel-2 tasvirlari uchun radiometrik noaniqlik 0.03 dan 0.4% gacha ekanligini ko'rsatilgan. Ushbu ko'rsatkichlar Landsat-8 kabi boshqa sensorlarga teng keladi, shuning uchun Sentinel-2 tasvirlari turli qo'llanilishlar uchun yuqori aniqlikdagi ma'lumotlar yaratishda katta imkoniyatga ega [8].

2 – jadval.

Sentinel 2 - A qatlamlari tasnifi

Qatlam raqami	Fazoviy aniqlik (m)	Markaziy to'lqin uzunligi (nm)	Spektrial kenglik (nm)
B1	60	443	20
B2	10	490	65
B3	10	560	35
B4	10	665	30
B5	20	705	15
B6	20	740	15
B7	20	783	20
B8	20	842	115
B8A	20	865	20
B9	60	945	20
B10	60	1375	30
B11	20	1610	90
B12	20	2190	180

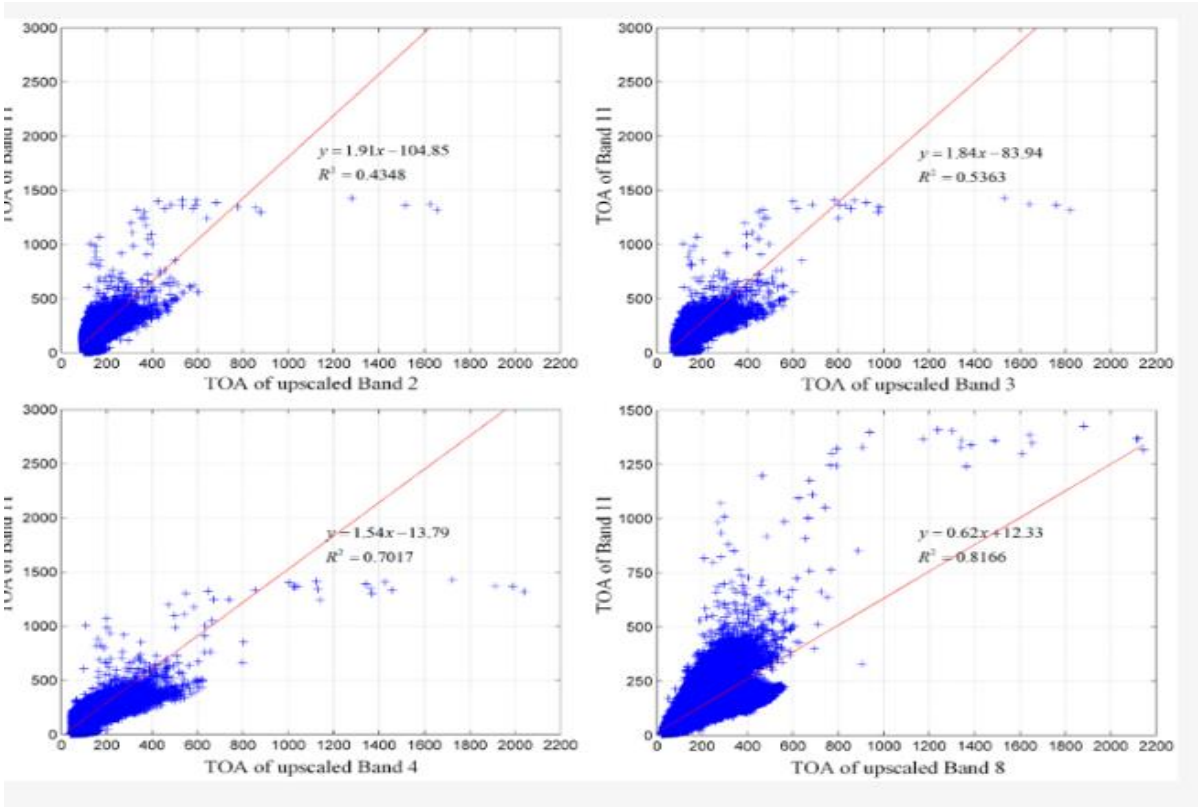
Olimlar Sentinel – 2A qatlamlaridan olingan ma'lumotlar asosida turli sohalarda tadqiqotlar olib borgan bo'lib, aynan qay bir qatlam qaysi ilm – dan yo'nalishdagi izlanishlarda foydali va yuqori aniqlikdagi ma'lumotlar bilan ta'minlay olishini o'rgangan. Ushbu tadqiqotlardan birida, Band 3 (yashil), Band 8 (NIR) , Band 11 (SWIR) qatlamlari va NDWI, MNDWI indekslari asosida ishlar olib borilgan. Taqdiqotlsr natijasi shuni ko'rsatganki, NIR va SWIR qatlamlari suvli maydonlar bilan olib borilgan ishlarda yuqori samara beradi.

3 – jadval.

Sentinel 2 tasvirlari asosida suv, qurilish, o‘simlik maydonlarini ajratish uchun olingan statistik spektrial qatlamlar xususiyatlari

		Yashil	NIR	SWIR	$NDWI_{20m}$	$MNDWI_{20m}$
Suvli maydon	Min	81.7500	22.2500	5.0000	0.3418	0.5920
	Max	121.5000	45.7500	23.0000	0.6000	0.8963
	O‘rtacha	105.8400	32.4225	9.8600	0.5296	0.8275
	Standart og‘ish	13.5183	5.1469	4.6035	0.0690	0.0843
Bino va inshootlar	Min	108.2500	119.0000	153.0000	-0.2957	-0.3854
	Max	360.7500	398.2500	421.0000	0.0845	-0.0127
	O‘rtacha	213.4525	253.1175	292.3300	-0.0829	-0.1626
	Standart og‘ish	63.7689	76.9810	69.9212	0.0737	0.0930
O‘simlik qoplami	Min	82.0000	237.7500	127.0000	-0.7117	-0.1416
	Max	109.5000	497.2500	199.0000	-0.4483	-0.1416
	O‘rtacha	91.8025	386.6150	158.4300	-0.6058	-0.2632
	Standart og‘ish	7.3246	71.6243	18.7154	0.0798	0.0684

Shu bilan birgalikda, ushbu tadqiqot ishlarida foydalanilgan SWIR indeksining boshqa indekslar bog’liqligi ham alohida tadqiqotlar o‘z aksini topgan (1 – rasm).



1 – rasm. Sentinel-2 ning SWIR (B11) qatlami bilan boshqa spektral bandlar orasidagi korrelyatsiya.

1-rasmda Sentinel-2 tasvirlarining SWIR (B11) qatlami bilan B2, B3, B4 va B8 diapazonlari orasidagi bog‘liqlik tahlil qilingan. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, SWIR eng yuqori korrelyatsiyani NIR (B8) bilan namoyon etdi ($R^2 = 0.8166$), bu esa namlik va vegetatsiya xususiyatlarining o‘xshash aks etishi bilan izohlanadi. Ushbu holat SWIR–NIR asosidagi indekslarning (NDMI, NBR) daryo o‘zanidagi namlik va eroziya jarayonlarini aniqlashda yuqori samaradorligini tasdiqlaydi.

NIR (yaqin infraqizil) – ushbu qatlam o‘simliklar rivojlanishini tahlil qilishga va suv obyektlarini aniqlashda yordam beradi. Bundan tashqari, ushbu qatlam yordamida NDVI, NDWI va boshqa turli indekslarni hosil qilish mumkin. Ushbu indekslar esa o‘z navbatida turli ilmiy izlanishlarda foydalaniladi.

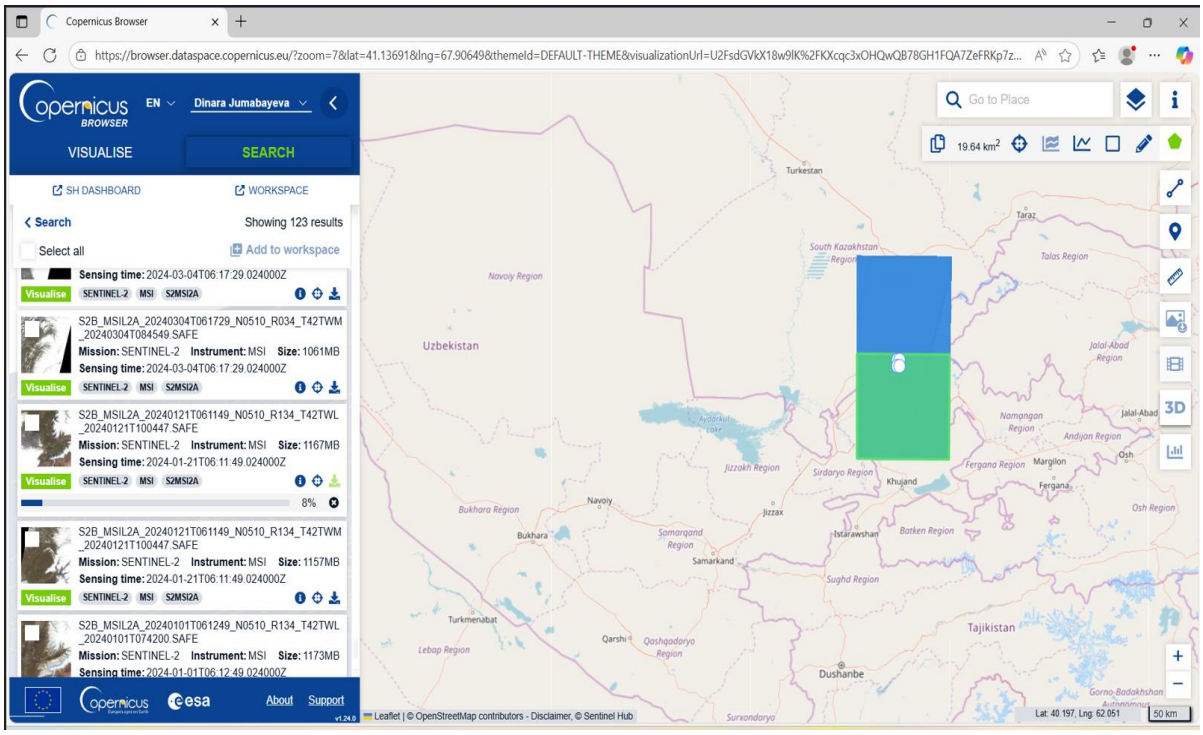
SWIR (qisqa uzunlikli infraqizil) – ushbu qatlam Sentinel barcha avlodlarida, Landsat TM (4-5), ETM+ (7), OLI (8) yo‘ldoshlarida mavjud bo‘lib, ushbu qatlam nam va quruq tuproqni, balandlik, jarlik, tog‘liklarni aniqlashda yordam beradi.

NDWI McFeeters tomonidan taklif qilingan bo‘lib, uning maqsadi: suv obyektining yashil nurdagi aks ettirish qiymatini maksimal darajada oshirish; suvli maydonlarning yaqin infraqizil (NIR) nurlarining aks ettirish qiymatini minimal qilish. McFeeters NDWI ko‘rsatgichini quyidagicha hisoblash formulasini ishlab chiqgan:

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

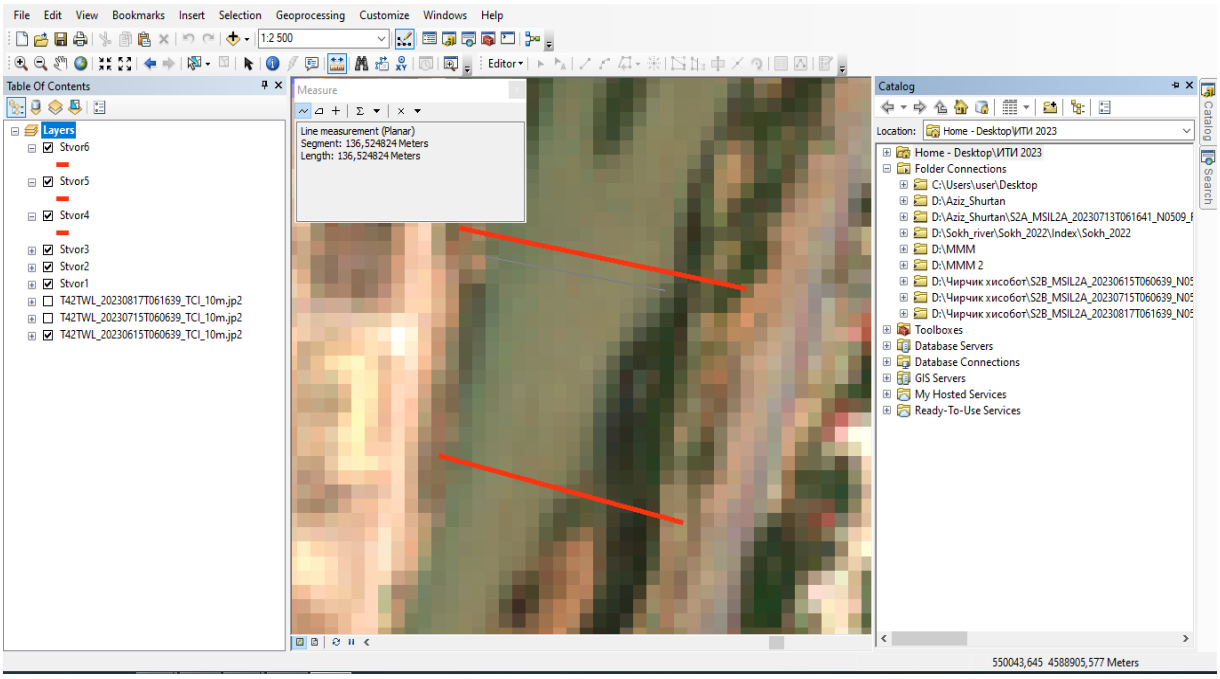
NIR – yaqin infraqizil qatlami (Near Infrared)
SWIR – qisqa infraqizil qatlam (Shortwave Infrared)

Natijalar tahlili va misollar: Tadqiqot obyekti sifatida olingan Chirchiq daryosining ma’lumotlar bazasini ishlab chiqishda mavsum bo‘yicha o‘zan hududining o‘zgarish dinamikasi o‘rganib chiqildi. Yuqorida aytib o‘tilganidek, bunda https://dataspace.copernicus.eu/ sayti yuqori aniqlikdagi va qimmatli fazoviy ma’lumotlar bilan ta’minladi (2 - rasm).



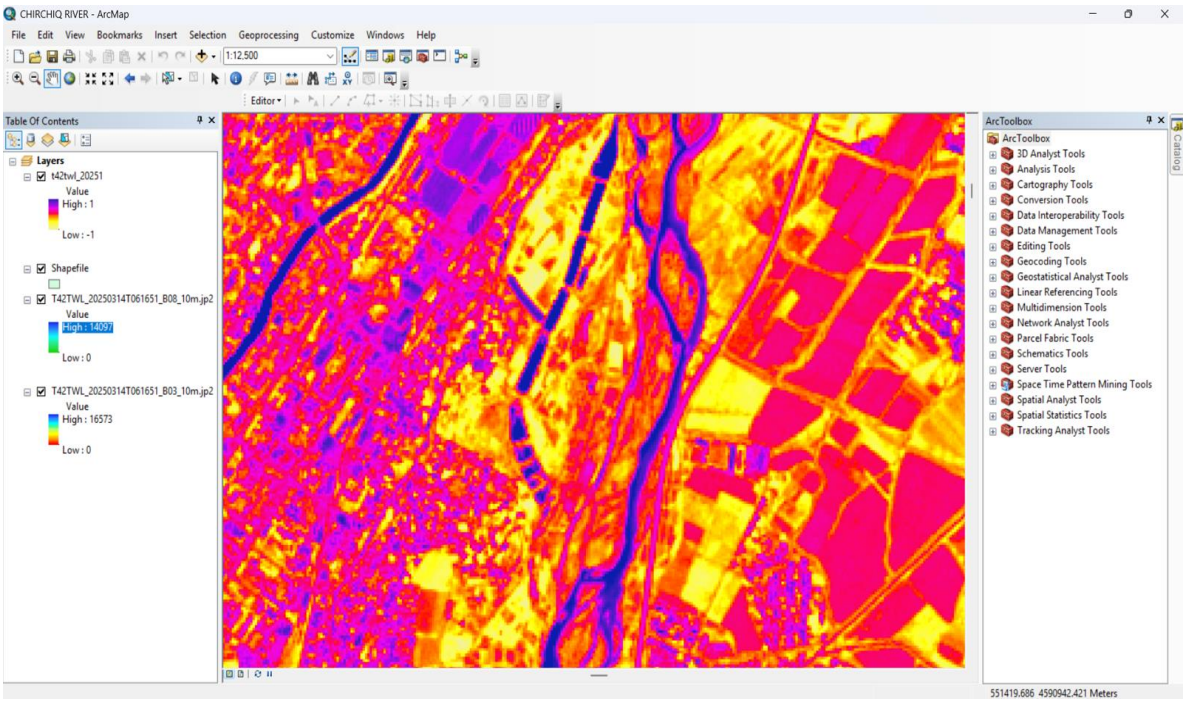
2 – rasm. Sun’iy yo‘ldosh ma’lumotlarini olish

Yuklab olingan ma’lumotlar ArcGis dasturining ArcMap ilovasiga kiritildi. Tabiiy dala tadqiqotlarida aniqlangan xarakterli stvorlar koordinatalari aniqlanib chizib chiqildi (3 – rasm).



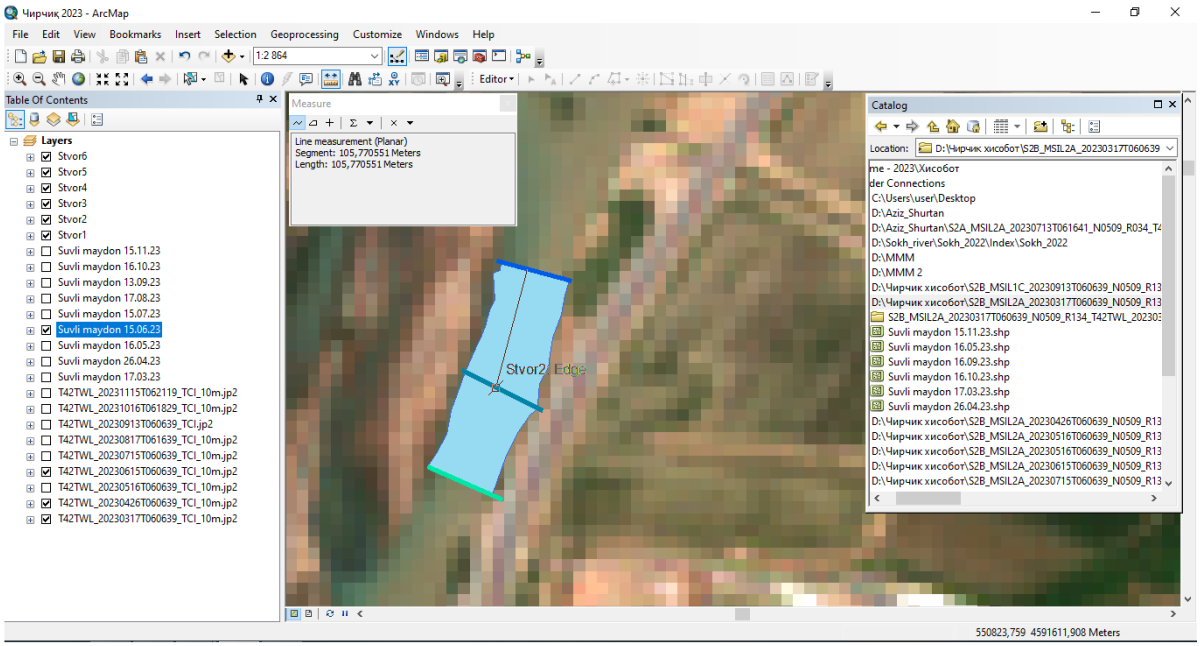
3-rasm. ArcMap dasturida xarakterli stvorlarni belgilash.

Stvorlarni tanlab olishda daryo irmoqlarinining qo‘shilish joylari belgilab olindi. Bundan asosiy maqsad, ushbu tanlab olingan hududda o‘zan kengligi yillar davomida qay tartibda o‘zgargan, qaysi hududda yuvilishga va loyqa bosishga moyilligi borligi o‘rganish hisoblanadi. Ushbu jarayonlarni o‘rganish bilan to‘plangan ma’lumotlar asosida Chirchiq daryosi ma’lumotlar bazasi ishlab chiqildi. Bunda ArcMap dasturidan foydalanildi. Koordinatalar sistemasi sifatida WGS 984 qabul qilindi. Suniy yo‘ldosh va dala tadqiqotlarda to‘plangan ma’lumotlar asosida Chirchiq daryosi ma’lumotlar bazasi yaratildi. Bunda dastlab sun’iy yo‘ldosh ma’lumotlari yuklab olindi. Har bir yuklab olingan tasvirlar ArcMap ilovasidan foydalanib, sanasi bo‘yicha xaritalar yasaldi. Xarita yasash uchun Shapefile lardan foydalanildi (4 - rasm).



4 – rasm. ArcMap ilovasida Shapefile yaratish.

Har bitta tasvir xaritalari bo‘yicha suv yuza maydoni, o‘zan sathi kengligi, uzunligi o‘lchab olindi va jadvalga kiritildi(5 -rasm).



5 -rasm. Chirchiq daryosi stvorlar orasidagi masofni o‘lchash.

Keyingi bosqichlarimizda yaratilgan xaritalar aniqligini tekshirish hamda turli yillar uchun o‘zan deformatsiyasini o‘rganish uchun Chirchiq daryosi o‘zanida olib borilgan geodezik o‘lchash ishlari o‘zaro taqqoslandi. Stvorlar oqim ajralmas bo‘lib oqadigan qismidan tanlanganligi uchun suv yuza maydonini o‘zgarishi ushbu stvorlar uchun aniqlandi. Belgilab olingan stvorlar bo‘yicha suv sarfini o‘zgarishi bilan suv sathi kengligini o‘zgarishi o‘rtasidagi bog‘liqliko‘rganiladi.

Xulosalar. Taqiqotdan olingan tahlil va natijalardan quyidagi xulosalarga erishildi: Daryo o‘zanidagi deformatsion jarayonlarni baholashga doir nazariy va tabiiy-dala sharoitidagi tadqiqotlar tahlilidan, o‘zanlardagi deformatsion jarayonlarni baholashda, oqiziqlarning sarfini aniqlash bilan bir qatorda oqiziqlarning tarkibiy qismi hamda oqimning energetik holatini ham inobatga olish lozimligi asoslandi.

- Tabiiy-dala sharoitida o‘tkazilgan tadqiqotlarda to‘plangan ma’lumotlar va GAT texnologiyalardan foydalanib, tadqiqot obyektining xaritasi tuzilgan hamda xarita asosida har bir piket bo‘yicha nisbiy o‘rtacha kengligining nisbiy suv sarfiga bog‘liqligi grafigi ishlab chiqilgan. Nazariy va dala tadqiqotlari ma’lumotlari asosida ochiq o‘zanlarda suv sarfini miqdori ma’lum bir darajagacha ortishi bilan o‘zan o‘rtacha kengligi ham ortib borishini inobatga olib o‘zanlarda deformatsion jarayonlarni masofadan baholash usuli tavsiya etilgan.

O‘zandagi erozion va akkumulyatsion jarayonlarni, o‘zanning morfometrik parametrlarini masofadan turib tezkor, onlayn, ortiqcha ishchi kuchi va mablag‘ sarfisiz amalga oshirish usuli yaratildi.

Adabiyotlar

[1]. Dehkordi, A. K., Nafchi, R. F., Samadi-Boroujeni, H., Boroujeni, M.K.,&Ostad–AliAskari, K. (2024). Assessment of morphological changes of river bank erosion using landsat satellite time-series images. Ain Shams Engineering Journal , 15 (3), 102455

[2]. Organi, M. Serajian, MR and Homayouni, S. 2009. Detection under the pixel of urban areas changes by spectral composition analysis. National Geosciences Conference of Tehran Mapping Organization of Iran, 1-11. (In Persian).

[3]. Conrad, Christopher, Sebastian Fritsch, Julian Zeidler, GerdRücker, and Stefan Dech. “Per-Field Irrigated Crop Classification in Arid Central Asia Using SPOT and ASTER Data.” Remote Sensing 2 (4): Pp. 1035–1056

[4]. Li, Z., Li, L., & Liu, J. (2025). Remote Sensing and GIS-Based Assessment of Riverbank Erosion, Deposition, and Channel Migration: A Case Study in Tarim River's Xinqiman–Kelelik Mainstem. Applied Sciences , 15 (13), 6977.
[5]. Mukhtar, Z., Bizzi, S., & Comiti, F. (2023). Supervised Geomorphic Mapping of Himalayan Rivers Based on Sentinel-2 Data. Remote Sensing, 15(19), 4687. https://doi.org/10.3390/rs15194687
[6]. Santos, D. A. E., Martinez, J. M., Olivetti, D., Zumak, A., Guimarães, D., Aniceto, K., ... & Roig, H. (2024). Sentinel-2 MSI image time series reveal hydrological and geomorphological control of the sedimentation processes in an Amazonian hydropower dam. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation , 128 , 103786.
[7]. Ahmadi, M., Noori, A., Mohajeri, S. H., & Nikoo, M. R. (2025). Integrating river discharge and Sentinel-2 satellite imagery for enhanced turbidity mapping in arid region rivers: A machine learning approach. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C , 138 , 103869.
[8]. Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V.R., Murayama, Y., & Ranagalage, M. (2020). Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review. Remote sensing , 12 (14), 2291.

SHO'RLANGAN GRUNTLARDA KO'P QAVATLI TURAR JOY BINOLARI ZAMIN VA POYDEVORLARINI LOYIXALASH VA QURISHNING AYRIM XUSUSIYATLARI

K.I. Maxsimov, A.A. Abdunazarov, magistr U.A. Abdug'ofurov

Farg'ona davlat texnika universiteti
e-mail: mahsimovkosimhon@gmail.com
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya.*Ushbu maqolada Markaziy Farg'onada keng tarqalgan sho'rlangan qumsimon va gilsimon gruntlarning fizik va mexanik xossalari taxlil etilgan. Bino va inshootlar zamini ishchi qatlamini namlanishi va tuzlarni erib chiqib ketishi (fizik-ximik suffoziya) oqibatida yuz beradigan holatlar o'rganilgan, zamin va poydevorlarni loyixalash bo'yicha tavsiyalar berilgan.*

Kalit so'zlar: *Markaziy Farg'ona, sho'rlangan grunt, sho'rlanish, botqoqlanish, suffoziya jarayonlari, gruntning fizik xossalari, nisbiy cho'kuvchanlik, cho'kish moduli, notekis cho'kish, loyixalash talablari.*

Abstract. *The physical and mechanical properties of saline sandy and clayey soils, common in Central Fergana, were analyzed. The situations caused by the wetting of the working layer of the floor of buildings and structures and the dissolution of salts (physico-chemical suffocation) have been studied, and recommendations for the design of the floor and foundations have been presented.*

Key words: *Central Fergana, saline soil, salinization, waterlogging, suffocation processes, corrosion, physical properties of soil, relative subsidence, subsidence modulus, uneven subsidence, design requirements.*

Kirish. Ma'lumki, tarkibida 5% o'rtacha va 0,3% (quruq grunt og'irligiga nisbatan) tez eruvchi tuzlari bo'lgan gruntlar sho'rlangan gruntlar hisoblanadi. Natriy xlor (NaCl), kaliy xlor (KC1), kalsiy xlor ($KaC1_2$), magniy xlor ($MgCl_2$); bikarbonat natriy ($NaHC0_3$), kalsiy bikarbonat ($SaNSO_4$); karbonat natriy (Ka_2SO_4); natriy sulfat (Na_2S0_4), magniy sulfat ($MgS0_4$) kabilar tez eruvchi tuzlar hisoblanadi. Gips ($CaS0_4.2H_20$) va angidritli ($CaS0_4$) tuzlar o'rtacha eruvchi tuzlar toifasiga kiradi[4,10].

O'zbekistonda sho'rlangan gruntli maydonlar yer yuzasining nishabi kichik bo'lgan 0,0001÷0,001 katta tekisliklar kengliklaridan tashkil topgan. Bu yerlarning iqlimi quruq va jazirama, yillik bug'lanish (600÷1200 mm) atmosfera yog'inlaridan (100÷300 mm) bir necha barobar yuqori. Bunday holatda suvlar doimiy bug'lanib turadi, tuzlar esa asta-sekin to'planib yerning ustki qatlamini sho'rlantiradi. Havo quruq va uning harakati qancha yuqori, gruntning suv ko'tarish qobiliyati kuchli va grunt suvlarining joylanishi yer yuzasiga qancha yaqin va uning mineralizatsiyasi yuqori bo'lsa, grunt sho'rlanishi jarayoni shunchalik jadal kechadi [4]. Issiq va quruq iqlim sharoitida minerallashgan grunt suvlarining kapillyarlar orqali ko'tarilishi va bug'lanishi oqibatida tuzlar kristall shaklda yer yuzasiga yaqin holda joylashadi.

Respublikamizning ko'p viloyat va tumanlarida gruntlardagi sulfatlar miqdori ko'p holatlarda xloridlardan ancha yuqori, shu sababdan qurilish maydonining sho'rlanishi xlorid-sulfatli yoki sulfatli deb baholanishi mumkin. Buxoro viloyati tumanlarida va Markaziy

Farg‘onada tuzlar tarkibini asosan sulfatlar tashkil etib, xloridlar juda kam miqdorda uchraydi, shu bois bu yerlarda grunt sho‘rlanishi sulfatli deb hisoblanadi. Suvda eruvchi tuzlarning eritma shaklida tez harakatchanligi bois yerning ustki qatlamlarida sho‘rlangan gruntlar maydonlari miqdor jihatdan o‘zgarib turishi mumkin. Gruntlar sho‘rlanganlik darajasiga qarab 3 ta asosiy toifaga - oz sho‘rlangan, o‘rtacha sho‘rlangan va kuchli sho‘rlanganlar bo‘linadi[1,2]. Gruntlarni bunday tartibda toifalanishi zamin va poydevorlarni loyihalashda samarali himoya usullarini tanlash imkoniyatini beradi.

Tadqiqot olib borilayotgan hudud Markaziy Farg‘ona vodiysining markazida va nisbatan tekis hududlarida joylashgan bo‘lib, bu yerda muhandislik-geologik nuqtai nazardan grunt qatlamlarining hosil bo‘lishiga ta’sir etuvchi omillar eol jarayonlari (shamol ta’sirida yerning ustki grunt qatlamlarining hosil bo‘lishi), sho‘rlanish, botqoqlanish hamda suffoziya jarayonlari hisoblanadi. Hududda eol jarayonlari ta’sirida hosil bo‘lgan qum massivlari bilan birgalikda qumli va qumloq gruntli maydonlar mavjud. So‘nggi yillarda turli darajada sho‘rlangan ushbu maydonlarda ko‘plab infratuzilma obyektlari barpo etildi. Bular bir va ko‘p qavatli turar joy binolari, ijtimoiy soha obyektlari hamda qishloq xo‘jaligi bino va inshootlaridir.

Markaziy Farg‘onada asosiy maydonlarni chuqurligi 25 mga qadar bo‘lgan qumloqli gruntlar egallab, bunda qumoq, glina va mayda zarrachali qumli qatlamchalar xam ishtirok etadi. Bu yerda gruntlarning fizik-mexanik xossalariga ularning tarkibidagi kristall shaklida bo‘lgan yengil va o‘rtacha eruvchi tuzlar katta ta’sir ko‘rsatadi. Kimyoviy tarkibiga ko‘ra gruntlar sulfatli va xlorid sulfatli bo‘lib, yengil eruvchi tuzlar S_L = 0,2…6,7 %, o‘rtacha eruvchi tuzlar S_L = 8,3…40 % ni tashkil etishi mumkin[8,9].

Xududda zamin va poydevorlarni loyixalash ishlarini tashkil etish va qurishda tarkibida gips – $Ca_2S0_4 \cdot 2N_20$ bo‘lgan gruntlar alohida o‘rin tutadi. Gips gorizonti uning paydo bo‘lishi sharoitlari va miqdorlariga bog‘liq holda turli ko‘rinishlarda bo‘lishi mumkin. Qum va chang o‘lchamidagi qiyin aniqlanadigan gips to‘plamlari undagi aralashmalarga bog‘liq holda turlicha rangda: oq, och jigarrang, pushti, kul rang, qora, bo‘z va boshqa ko‘rinishlarda bo‘ladi. So‘ngi yillarda mazkur xududlarda keng ko‘lamli irrigatsiya va melioratsiya ishlarining amalga oshirilishi va qishloq xo‘jalik infrastruktura ob’yektlarini qurilishidan kam sho‘rlangan gruntlarning suvga to‘yingan xamda yuqori darajada sho‘rlangan holatga kelish hollari mavjud.Sho‘rlangan gruntlarning yuk ko‘tarish qobiliyatiga ta’sir etuvchi eng asosiy omillardan biri o‘zgaruvchan namlikdir. Markaziy Farg‘onada gruntlarning namligi 8,4 % dan 33% ga qadar bo‘lib, nisbatan eng kam namlik 1,5 m chuqurlikka qadar (8.....14%) tashkil etadi. Xududning quruq va issiq iqlim sharoitida ekanligi xamda yer osti sizot suvlarining yer sathiga yaqinligi turli darajada eruvchan tuzlarning to‘planishiga sabab bo‘ladi. Bunday gruntlarni namlanishi va tarkibidagi tuzlarni erishi zamin yuk ko‘tarish qobiliyatini keskin kamayishiga va qo‘shimcha notekis cho‘kishlarning hosil bo‘lishiga sabab bo‘ladi. Loyixa-qidiruv ishlari hududni o‘rganish va bunga qadar bajarilgan tadqiqotlar materiallarining mavjudligi, muhandislik-geologik sharoitlarning murakkabligi, o‘rganilayotgan hududning maydoni, loyihalashtirilgan bino va inshootlarning turi, maqsadi va texnologik xususiyatlari bilan belgilash mumkin. Amaldagi me’yorlarga ko‘ra[1], sho‘rlangan gruntlardan tashkil topgan, suffoziya jarayonlari sodir bo‘lishi va yer osti sizot suvlarining yuqori darajada minerallashganligi va kimyoviy tarkibi o‘zgarishi mumkin bo‘lgan hududlar murakkab deb tasniflanadi. Shunga ko‘ra, oldingi tadqiqotlar materiallarini to‘plash va umumlashtirishda gruntlarning kimyoviy tarkibini aniqlash bo‘yicha ma’lumotlarga, suffoziya-cho‘kish jarayonlarini o‘rganish bilan bog‘liq filtrlash tadqiqotlari natijalariga alohida e’tibor berish zarur.

Dala sharoitida gruntlarni o‘rganishda sho‘rlanishni dastlab bilvosita belgilar bilan vizual baholash mumkin. Sho‘rlanish holati yer sathida tuzning tovlanib(oqarib) turishi, kristalli birikmalar, qo‘shimchalar, o‘simlik qoplamining tabiati, shuningdek, g‘ovak suvning ta’mi (xlorid sho‘rligi bilan - sho‘r, sulfat sho‘rligi bilan - achchiq) bilan xam aniqlanishi mumkin. Sho‘rlangan gruntlarni qurilish nuqtai nazaridan baholashda ekzogen fizik-kimyoviy va gidrodinamik jarayonlar va hodisalarni aniqlashga alohida o‘rin berilishi kerak, ular kimyoviy va mexanik suffuziya, tuz migratsiyasi, filtratsiya va boshqalarni o‘z ichiga oladi.

Sho‘rlangan gruntlarni murakkab muxandislik-geologik sharoitlarini inobatga olmaslik infrastruktura ob’yektlarini ekspluatatsiya qilish jarayonida ko‘plab muammolarni keltirib chiqaradi[10,11,12].

Jumladan, so‘ngi yillarda barpo etilgan bino va inshootlarning notekis cho‘kishlari va poydevor materialining korroziya ta’sirida yemirilish holatlari uchramoqda. Buning asosiy sabablari sifatida yer osti sizot suvlarining ko‘tarilishi, bir tomonlama binolar zaminini tashqi suvlar (yomg‘ir, qor va sug‘orish suvlari) ta’siridan namlanib turishi, poydevor materiali va uning izolyasiyasini noto‘g‘ri qabul qilinishi kabi omillarni ko‘rsatish mumkin. Masalan, V.V.Petruxin Buxoro va Samarqandda sho‘rlangan gruntlarda barpo etilgan bino va inshootlarni o‘rganganda ularning zaminlari qisqa vaqt davomida (30-50 kun) namlanib turishi oqibatida ayrim yengil bir qavatli qishloq uylari notekis cho‘kishlar oqibatida avariyaga uchragan.

Shuningdek, 1976 - yil Gazli shaxrida (Buxoro viloyati) bo‘lib o‘tgan zilzila asosan gipsli gruntlarda barpo etilgan ko‘plab bino va inshoatlarni jiddiy shikastlanishga sabab bo‘lgan. Bino zaminlarini tashkil etuvchi gruntlarning fizik-mexanik xossalari o‘rganilganda ular tarkibida gipsning uzoq namlanishi hisobiga o‘zgarganligi va zamin yuk ko‘tarish qobiliyatining 1,5÷2,0 marotaba kamayganligi kuzatilgan[5,6,7].

Bino va inshootlarining amaldagi me’yorlarga nisbatan ko‘p miqdorda notekis cho‘kish holatlari Markaziy Farg‘ona xududlarida xam kuzatilmoqda (1-, 2-rasmlar).

1-rasm. Ishlab chiqarish binosi erto’lasining yuk ko’taruvchi devorlarini sho’rlangan sizot suvlari ta’sirida yemirilishi (Yozyavon, Yangiobod MFY).

2-rasm. Agressiv muhit va sizot suvlari ta’sirida binolarda hosil bo‘lgan nuqsonlar (Yozyovon, Yangiobod MFY).

Tekshirish jarayonida grunt tarkibidagi tez eruvchi tuzlarning namlik ta’sirida kristall-koagulyasion bog‘lanishlarni yemirilishi oqibatida tuzlarni erib ketishi zamin gruntlari mustaxkamligini bir necha bor kamaytirganligi va zamin gruntlarining mustaxkamlik (C, φ) va cho‘kish (E) xossalarini o‘zgarganligi binoning notekis cho‘kishiga asosiy sabab ekanligi aniqlandi(1-, 2-jadval).

1-jadval

Gruntlarning fizik xossalarini o‘zgarishi

№ grunt	Gruntning nomi	Grunt holati	Tez eruvchan tuzlar miqdori %	Xajmiy ogirligi g/sm^3	Zichligi g/sm^3	G’ovakligi, %	Namligi, %	Oqish chegarasi, %	Dumoloqlanish chegarasi, %	Plastiklik soni
1	Glina	tuzli qisman tuzli tuzsiz	15 6 0	1,35 1,25 1,12	2,6 2,7 2,77	50 53,3 60	17,5 - 24	54,9 61,2 75	20,5 23,7 25,5	24,4 37,5 50,5
2	Qumoq	tuzli qisman tuzli tuzsiz	8 4 0	1,30 1,37 -	3,6 2,72 -	51,3 49 -	- - -	51,9 50,4 58,6	20,6 21,6 22,6	31,3 28,8 36,5
3	Qumloq	tuzli tuzsiz	4,3 0	1,54 1,40	2,68 2,7	42 49	17,2 17,8	49,1 45,1	24,4 25	24,7 20,1

2-jadval.

Gruntlar va yer osti sizot suvlarining kimyoviy tarkibi

Namuna olish chuqurligi,m	Quruq qoldiq C_l (absolyut quruq gruntga nisbatan)	Suvda ionlar miqdori				Ionlar tarkibi,mg/l
		Cl^- HCO_3	SO_4^{--}	$Ca^{2+}Mg$	Na^+K	Cl^- HCO_3
0,7	0,8	329,4 1309,8	3526,7	0,7	0,8	329,4 1309,8
1,0	0,7	301,6 1154,5	2684,7	1,0	0,7	301,6 1154,5
2,0	0,6	280,1 1050,0	2440,0	2,0	0,6	280,1 1050,0

Yuqoridagilardan ko‘rinib turibdiki, bino va inshootlarni loyixalashda ekspluatatsiya jarayonida zamin ishchi qatlamini namlanishi va tuzlarni erib chiqib ketishi (fizik-ximik suffoziya) oqibatida yuz beradigan holatlarni inobatga olish zarur. Ushbu jarayonda, bino zaminlarini loyixalash uchun zarur bo‘lgan gruntlarning cho‘kish xossalarini F1-M rusumli kompressiya-filtratsiya asboblari yordamida aniqlash mumkin.

Bunda sho‘rlangan gruntlarni cho‘kish va mustahkamlik xossalari ularning tabiiy xoldagi strukturasini buzmagan xolda qisqa va uzoq muddatli namlab (tez va o‘rtacha eruvchi tuzlar grunt tarkibidan chiqqunga qadar) aniqlanadi, jumladan:

-gruntning uzoq muddatli namlanishi va tuzlarni yuvilishidan xosil bo‘lgan nisbiy cho‘kuvchanlik,ε_{sf};

- tabiiy namlik holidagi gruntning cho‘kish moduli, *Eo, kPa* ;
-qisqa namlangan holdagi gruntning cho‘kish moduli, E_{se}, *kPa* ;
-uzoq muddatli filtratsiyadan so‘ng, bunda $\varepsilon_{sf} < 0{,}01$ bo‘lgan holda, cho‘kish moduli E_{sf}, *кPa*.
Zaminda tik filtratsiya holati kuzatilganda suffozion cho‘kish qiymati **Ssf** aniqlanadi [1]:

$$S_{sf} = \sum_i^n \varepsilon_{fi} \cdot h_i \quad (1)$$

Bu yerda:
n – suffoziya ta’sirida cho‘kish hosil bo‘lishi mumkin bo‘lgan qatlamchalar soni;
ε_{fi} – suffoziya ta’sirida hosil bo‘lgan nisbiy siqilish koeffitsiyenti;
h_i - ***i***-grunt qatlamining qalinligi, m.
Nisbiy suffoziya siqilish koeffitsiyenti ε_{fi} dala va laboratoriya usullari bilan quyidagicha aniqlanadi:
a) agar zamin uzoq vaqt dala sharoitida statik yuk ta’sirida sinash yo‘li bilan aniqlanganda:

$$\varepsilon_{fi} = S_{sf} / d_p \quad (2)$$

Bu yerda:
S_{sf} – shtampning (poydevor modeli) tashqi yuk ta’siridagi suffozion cho‘kishi, mm;
d_p – shtamp ostidagi gruntlarning suffozion cho‘kish zonasi, m.
b) agar sho‘rlangan gruntning nisbiy suffoziya koeffitsiyenti kompressiya-filtratsiya asbobi yordamida laboratoriya sharoitida aniqlansa:

$$\varepsilon_{sf} = (h_{sat} - h_{sf.p})/h_{ng} \quad (3)$$

Bu yerda:
$h_{sat,\,p}$ – grunt namunasining $P = \sigma_{zp} + \sigma_{zg}$ bosim ta’sirida to‘liq namlangan holatdagi balandligi;
$h_{sf\,,\,p}$ – grunt namunasining $P = \sigma_{zp} + \sigma_{zg}$ bosim ta’sirida uzoq vaqt suv sizib o‘tishi va sho‘rsizlantirilgan holatdagi balandligi;
h_{ng} –grunt namunasining tabiiy holatdagi balandligi.
Boshlang‘ich suffozion bosim qiymati P_{sl} zaminda siqilish zonasi bo‘ylab ε_{sf} = 0,01ga mos keluvchi bosim qiymati sifatida qabul qilinadi.
O‘tkazilgan tadqiqotlarimiz natijasida sho‘rlangan gruntlarda bino va inshootlarni loyihalash, qurish va ekspluatatsiya qilish jarayonida kelib chiqishi mumkin bo‘lgan kamchiliklar aniqlangan.

3-jadval.

Sho‘rlangan gruntlarda binolarning notekis cho‘kishi

Loyixaviy	Texnologik	Tabiiy
Muxandislik-geologik tadqiqotlarni to‘liq o‘tkazilmaganligi	Qurilish ”0” qismini noto‘g‘ri tashkil etilishi; qurilish ishlarini sifatsiz bajarilishi (zichlash, qotirish, korroziyaga qarshi choralar)	Yer osti sizot suvlarining ko‘tarilishi yoki pasayishi
Poydevor materiali va konstruksiyasini noto‘g‘ri tanlanganligi; sun’iy ravishda poydevor o‘lchamlarini katta yoki kichik olinganligi	Bino va inshootlarni xo‘l rejimda ekspluatatsiya qilishda me’yorlarga amal qilmaslik (qishloq xo‘jaligi bino va inshootlarida)	Tashqi suvlar (yomg‘ir, qor, sug‘orish tizimi suvlari)
Korroziyaga qarshi choralar yaxshi ko‘rilmaganligi	Nosoz ichimlik suvi va kanalizatsiya tizimidan doimiy oqova suvlarning oqib turishi	Tez eruvchan tuzlarning notekis tarqalishi.
Infrastruktura ob’yektlari xududida drenaj tarmoqlarini yo‘qligi yoki sifatli loyixalanmaganligi	Drenaj tizimini yaxshi ishlamasligi	

Shunga ko‘ra, poydevorlarni loyixalashda oldindan zaminda yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan yuqoridagi holatlarni xisobga olish zarur. Bunda, zamin ishchi qatlamida joylashgan sho‘rlangan gruntlarni yuk ko‘tarish qobiliyatini kamayib ketishdan saqlash, ularning qurilish xossalarini

yaxshilash, zaminning notekis deformatsiyalanishining inshootlarga ta’sirini kamaytirish choralarni qo‘llash yaxshi samara beradi. Jumladan, grunt ishchi qatlamida yer osti sizot suvlari, yog‘in va sug‘orishdan hosil bo‘lgan namlik ta’siridan (poydevor materialining yemirilishi, bino ichki devorlarining namlanishi, dog‘lar, bo‘yoq qatlamini ko‘chib tushishi, shuvoq qatlamining ko‘chishi, yerto‘laning sanitar-gigiyenik holatini yomonlashuvi, bino devorlariga minerallashgan namlikning tarqalishi, sho‘rlanish va x.k.) binolarni himoyalash bilan bog‘liq qurilish ishlari bajariladi.

Asosan 3 toifadagi, jumladan, yomg‘ir va oqin suvlarini binodan qochirish, grunt namligini kamaytirish maqsadida ochiq yoki yopiq turdagi drenaj tizimlaridan foydalanish, poydevorlarni barpo qilish va himoyalashda samarali usullardan foydalanish mumkin. Himoya usullarini tanlash xududning geologik va gidrogeologik sharoitlari (sizot suvlari sathining mavsumiy o‘zgarib turishi va agressivligi) xamda poydevorning qo‘yilish chuqurligiga bog‘liq bo‘ladi. Yomg‘ir va oqin suvlarini binodan qochirish maqsadida binoning tashqi devoridan boshlab kengligi kamida 1,5m bo‘lgan otmoskalar qurish, qo‘shimcha ravishda qurilish maydonini ko‘ndalang kesim bo‘yicha bir tomonlama qiyalikga ega bo‘lgan xolda tekislash, yomg‘ir va oqin suvlari uchun beton ariq yoki kanalizatsiya tarmog‘ini barpo etish yaxshi samara beradi[5,12].

Tadqiqot o‘tkazilayotgan hududlarda asosan bosh rejaga muvofiq ochiq zovurlar yoki yopiq turdagi drenaj tizimlarini barpo etish ko‘zda tutilgan. Ularning vazifasi ma’lum qiyalikda sizot suvlarini to‘plash va asosiy kollektorga uzatishdan iborat. Mavjud holatdan kelib chiqib, bitta bino atrofiga halqasimon ko‘rinishdagi drenaj, binolar majmuasi uchun esa zovurlar tizimi barpo etilishi mumkin. Zovurlar tizimi suv sathini pasaytirish yoki chiqarib tashlash bo‘yicha sinovdan o‘tgan usul hisoblanadi. Lekin zovurlar hududda katta maydonni band qilishi bilan birga, ularni doimiy ishchi holatda saqlab turish ayrim qiyinchiliklarni keltirib chiqaradi.

Hozirgi kunda sho‘rlangan gruntli yer maydonlaridan qurilish maqsadlarida samarali foydalanish uchun yopiq drenajlardan (teshik quvurlar atrofini suv o‘tkazuvchi material yoki shag‘al yotqiziqlari bilan o‘rash orqali hosil qilinadi) foydalanilmoqda. Hududning muhandislik-geologik xususiyatlaridan kelib chiqib, gruntlarni oldindan sho‘rsizlantirib, namlab shibbalash, ya’ni zichlash (og‘ir shibbalagichlar bilan shibbalash, grunt qoziqlarini qoqish, poydevorlar uchun qaziladigan zovurlarni shibbalash va h.k.), zamindagi nisbatan bo‘sh xossali sho‘rlangan gruntlarni qurilish egallagan maydon bo‘yicha qum, shag‘al, mayda tosh va h.k. to‘shamalari bilan bitumga shimdirilgan holda to‘liq yoki qisman almashtirish, yer sathiga yaqin joylashgan sizot suvlarining ta’siridan himoyalash maqsadida qum, shag‘al va mayda toshli ko‘tarmalar hosil qilish hamda gruntlarni sun’iy mustahkamlash (kimyoviy, elektro-kimyoviy, burg‘ilab aralashtirish kabi) tadbirlari qo‘llanilishi mumkin.

Shuningdek, o‘ta cho‘kish, ko‘pchish va suffoziya jarayonlarini jadallashtiruvchi hamda yer osti suvlarining agressivligini oshiruvchi kimyoviy faol tabiiy tuz eritmalaridan zamin gruntlarini muhofazalash ishlari tashkil etiladi. Binolarni tashqi ta’sirlardan, jumladan seysmik va dinamik ta’sirlardan himoya qilish choralarini ko‘rish lozim.

Xulosa

O‘tkazilgan tadqiqotlar natijasida Markaziy Farg‘ona hududida keng tarqalgan sho‘rlangan qumsimon va gilsimon gruntlarning fizik hamda mexanik xossalari namlanish jarayoni va tuzlarning erib chiqib ketishi bilan sezilarli darajada o‘zgarishi aniqlanildi. Fizik-kimyoviy suffoziya jarayonlari natijasida gruntlarning zichligi va mustahkamligi kamayib, deformatsiyalanish xususiyatlari kuchayishi kuzatildi. Bu holat bino va inshootlar zaminining cho‘kishiga hamda poydevorlarning notekis ishlashiga olib kelishi mumkin.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, sho‘rlangan gruntlarda poydevorlarni loyihalashda gruntlarning namlanish sharoiti, sizot suvlari sathi va tuz tarkibini albatta hisobga olish zarur. Zaminning ishchi qatlamini mustahkamlash, drenaj tizimlarini qo‘llash hamda suv ta’sirini cheklovchi konstruktiv yechimlardan foydalanish bino va inshootlarning uzoq muddatli ishonchliligini ta’minlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Adabiyotlar

[1]. QMQ 2.02.01-98. Bino va inshootlar zaminlari. T-1999y-144b.
[2]. QMQ 2.03.11-96 Qurilish konstruksiyalarini korroziyadan himoya qilish. T.:-2006y.
[3]. Абелев М.Ю. Проектирования оснований зданий и сооружений на водонасыщенних глинистых грунтах. М.: Стройиздат, 2003.

[4]. Қаюмов А.Д., Агзамова И.А., Худойқулов Р.М. Шўрланган грунтли йўл кўтармалари, Тошкент: “Фан”, 2013
[5]. Петрухин В.П. Строительные свойства засоленных и загипсованных грунтов.- М.: Стройиздат, 1980.-120с.
[6]. Петрухин В.П., Больдирев Г.В. Расчет суффозионной осадки оснований, сложенных загипсованными грунтами. – Сб. тр.НИИОСП им. Герсеванова Г., М.: 1990г.
[7]. Михеев В.В., Петрухин В.П. О строительных свойствах засоленных грунтов, используемых в качестве оснований в промышленном и гражданском строительстве.-Основания, фундаменты и механика грунтов, 1973г, №1
[8]. Метелюк Н.С., А.Абдурахманов, К.Махсимов «Методические рекомендации по проектированию фундаментов зданий сельскохозяйственного назначения в засоленных грунтах. НИИСК, 1986г.
[9]. K.Maxsimov, M.Mirzajonov. Sho‘rlangan gruntli xududlarda bino va inshootlar barpo etishda innovasion texnologiyalar. В кн.: “Актульные проблемы внедрения инновационной техники и технологии на предприятиях по производству строительных материалов, химической промышленности и в смежных отраслях” Материалы 1-Международной НПК, г.Фергана, 2021й. с.59-62.
[10]. Минас А.И. Коррозия бетона и некоторых строительных материалов на засоленных грунтах в сухом климате. В кн.: Коррозия бетона и меры борьбы с ней. – М., Стройиздат,1974й, - 256с.
[11]. Сизот сувлари сатҳи юқори жойлашган шароитда қишлоқ хўжалиги ерлари шўрланишини камайтириш тадбирлари бўйича қўлланма. Тошкент, 2020й
[12]. Maxsimov Q. I. Qurilish va rekonstruktsiya ishlarini tashkil etishda sizot suvlari sathining o’zgarish ta’siri. “Қурилишда инновациялар, бинолар ва иншоотларнинг сейсмик хавфсизлиги” Халқаро миқёсдаги илмий ва илмий-техник конференция материаллари тўплами. Наманган, 15-17 декабр, 2022й.793-796 б.

QURILISHDA ISSIQLIK IZOLYATSIYA MATERIALLARINING AHAMIYATI

H.S. Solijonov, I.Q. Sharipov

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 10.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada issiqlik izolyatsiya materiallarining mohiyati, ularning fizik-mexanik xususiyatlari hamda qurilish sohasidagi o‘rni keng yoritiladi. Issiqlik izolyatsiyasi binolar va inshootlarda issiqlik almashinuvini tartibga solish, energiya resurslaridan oqilona foydalanish va ichki mikroiqlimni barqaror saqlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Shu sababli, zamonaviy qurilishda turli xil izolyatsiya materiallaridan samarali foydalanish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Issiqlik izolyatsiya materiallarining asosiy turlari, jumladan, noorganik issiqlik izolyatsiyasi ashyolari va buyumlari, organik issiqlik izolyatsiyasi ashyolari va buyumlari, polimer issiqlik izolyatsiyasi ashyolari haqida batafsil ma’lumot beriladi. Ularning issiqlik o‘tkazuvchanligi, namlikka chidamliligi, zichligi, mustahkamligi va uzoq muddat xizmat qilish xususiyatlari tahlil qilinadi. Bundan tashqari, ekologik xavfsizlik, yong‘inga chidamlilik va iqtisodiy samaradorlik kabi omillar ham ko‘rib chiqiladi. Maqolada shuningdek, issiqlik izolyatsiya materiallarining turli qurilish elementlarida: devorlar, tomlar, pollar va muhandislik tizimlarida qo‘llanilishi yoritilib, ularning afzalliklari va kamchiliklari solishtirma tahlil qilinadi. Natijada, to‘g‘ri tanlangan izolyatsiya materiallari energiya tejamkorligini oshirish, issiqlik yo‘qotilishini kamaytirish asoslab beriladi.*

Kalit so‘zlar: *Issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti, issiqlik miqdori, mineral paxta, shisha paxta, ko‘pik shisha, ko‘pchitilgan perlit, ko‘pchitilgan vermikulit, keramzit, agloporit, mikrosferalar, ko‘pik beton, keramzit beton, yog‘och qirindi plitalar, yog‘och tolali plitalar, fibrolit plitalar, arbolit, qamish plitalar, ekstrudirlangan polistirol, penopolivinilxlorid plitalar, penopoliuretan plitalar, sotoplastlar, vilaterm penopolietileni, folgoizolon, folga-xolst, folga-tkan, aks qaytaruvchi folgoplast, mipora bloklari.*

Аннотация. *В данной статье подробно освещаются сущность теплоизоляционных материалов, их физико-механические свойства и роль в сфере строительства. Теплоизоляция играет важную роль в регулировании теплообмена в зданиях и сооружениях, рациональном использовании энергоресурсов и поддержании стабильного внутреннего микроклимата. Поэтому эффективное использование различных изоляционных материалов в современном строительстве является одним из актуальных вопросов. Дается подробная информация об основных видах теплоизоляционных материалов, включая неорганические теплоизоляционные материалы и изделия, органические*

теплоизоляционные материалы и изделия, полимерные теплоизоляционные материалы. Анализируются их теплопроводность, влагостойкость, плотность, прочность и долговечность. Кроме того, рассматриваются такие факторы, как экологическая безопасность, огнестойкость и экономическая эффективность. В статье также освещается применение теплоизоляционных материалов в различных строительных элементах: стенах, крышах, полах и инженерных системах, а также проводится сравнительный анализ их преимуществ и недостатков. В результате обосновывается, что правильно выбранные изоляционные материалы повышают энергоэффективность и снижают теплопотери.

Ключевые слова: *Коэффициент теплопроводности, количество тепла, минеральная вата, стекловата, пеностекло, вспученный перлит, вспученный вермикулит, керамзит, аглопорит, микросферы, пенобетон, керамзитобетон, древесностружечные плиты, древесноволокнистые плиты, фибролитовые плиты, арболит, тростниковые плиты, экструдированный полистирол, пенополивинилхлоридные плиты, пенополиуретановые плиты, сотопласты, вилатермовый пенополиэтилен, фольгоизолон, фольга-хольст, фольга-ткань, отражающий фольгопласт, мипорные блоки.*

Abstract. *This article extensively covers the essence of thermal insulation materials, their physical and mechanical properties, and their role in the construction sector. Thermal insulation plays an important role in regulating heat exchange in buildings and structures, ensuring the rational use of energy resources, and maintaining a stable internal microclimate. Therefore, the effective use of various insulation materials in modern construction is one of the most pressing issues. Detailed information is provided on the main types of thermal insulation materials, including inorganic thermal insulation materials and products, organic thermal insulation materials and products, and polymer thermal insulation materials. Their thermal conductivity, moisture resistance, density, strength, and durability are analyzed. Additionally, factors such as environmental safety, fire resistance, and economic efficiency are considered. The article also highlights the application of thermal insulation materials in various construction elements: walls, roofs, floors, and engineering systems, providing a comparative analysis of their advantages and disadvantages. As a result, it is justified that the correctly selected insulation materials increase energy efficiency and reduce heat loss.*

Keywords: *Thermal conductivity coefficient, amount of heat, mineral wool, glass wool, foam glass, expanded perlite, expanded vermiculite, ceramzit, agloporite, microspheres, foam concrete, ceramzit concrete, wood shavings slabs, wood fiber slabs, fibrolite slabs, arbolite, reed slabs, extruded polystyrene, foam polyvinyl chloride slabs, foam polyurethane slabs, sotoplasts, vilaterm foam polyethylene, folgoisolon, foil-holst, foil-woven, reflective foldoplast, mypore blocks.*

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 23-maydagi PQ-4335-sonli “Qurilish materiallari sanoatini jadal rivojlantirishga oid qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi qarori [1], hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me’yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu maqola muayyan darajada xizmat qiladi.

Hozirgi kunda binolarga qo‘yiladigan zamonaviy talablar doirasida issiqlik izolyatsiya materiallari alohida ahamiyat kasb etadi. Zamonaviy qurilish me’yorlariga ko‘ra, binolarda energiya samaradorligini ta’minlash asosiy vazifalardan biri hisoblanadi. Shu sababli issiqlik izolyatsiyasi orqali issiqlik yo‘qotilishini kamaytirish, qish faslida ichki haroratni saqlab qolish va yozda tashqi issiqlikning kirib kelishini cheklash muhim talab sifatida qaraladi. Natijada isitish va sovitish tizimlariga bo‘lgan ehtiyoj kamayib, energiya resurslaridan oqilona foydalanish ta’minlanadi.

Shuningdek, zamonaviy binolarga iqtisodiy samaradorlik talabi ham qo‘yiladi. Issiqlik izolyatsiyasi energiya sarfini kamaytirish orqali elektr va gaz xarajatlarini qisqartiradi. Bu esa nafaqat foydalanuvchilar uchun tejamkorlik yaratadi, balki binoning ekspluatatsiya xarajatlarini ham sezilarli darajada kamaytiradi.

Issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti $\lambda < 0{,}18$ W/(m·°C) va o‘rtacha zichligi $\rho_o < 600$ kg/m^3 bo‘lgan ashyolar issiqlik izolyatsiyasi ashyolari deyiladi [2].

Materiallarning bir yuzasi issiq, ikkinchi yuzasi sovuq bo‘lsa, undan issiq oqim o‘ta boshlaydi. Materiallarning issiqlikni kam yoki ko‘p o‘tkazishi issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ orqali ifodalanadi [3].

$$\lambda = \frac{Q \cdot a}{\left[S \cdot (t_1 - t_2) \cdot \tau\right]}$$

Bu yerda:

λ - issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti, [W/(m·°C)];

Q -issiqlik miqdori, (kJ);

a -devorning qalinligi, (m);

S -namunaning yuzi, (m^2);

$(t_1 - t_2)$ -material yuzasidagi haroratlar farqi, ($^{\circ}$C);

τ -issiqlik o‘tish vaqti, (soat).

Noorganik issiqlik izolyatsiyasi ashyolari va buyumlari - bu tarkibida organik moddalarga nisbatan asosan mineral va sun’iy anorganik komponentlar ustun bo‘lgan issiqlik izolyatsiya materiallari majmuasidir. Bunday materiallar tabiiy tog‘ jinslari, shisha, keramika va boshqa mineral xomashyolar asosida ishlab chiqariladi. Ular maxsus texnologiyalar orqali qayta ishlanib, tolali, g‘ovak yoki donador tuzilishga ega bo‘ladi, bu esa issiqlikni yomon o‘tkazish xususiyatini ta’minlaydi. Mazkur turdagi izolyatsiya materiallarining eng muhim jihatlaridan biri ularning yuqori haroratga chidamliligidir. Ular o‘z xossalarini juda yuqori temperaturada ham saqlab qoladi, deformatsiyalanmaydi va erimaydi. Shu sababli ular sanoat pechlari, issiqlik qurilmalari va yuqori harorat bilan bog‘liq jarayonlarda keng qo‘llaniladi. Bundan tashqari, noorganik materiallar yong‘inga bardoshli bo‘lib, aksariyati umuman yonmaydi yoki yonishni qo‘llab-quvvatlamaydi. Ularning yana bir muhim afzalligi, uzoq xizmat qilish muddati va barqarorligidir. Noorganik izolyatsiya materiallari vaqt o‘tishi bilan chirimaydi, mog‘orlanmaydi va zararli mikroorganizmlar ta’siriga uchramaydi. Namlikka nisbatan chidamliligi ham ularni turli iqlim sharoitlarida qo‘llash imkonini beradi. Shu bilan birga, ular ekologik jihatdan nisbatan xavfsiz bo‘lib, atrof-muhitga zararli moddalar ajratmaydi.

Mineral paxta - issiqlik izolyatsiyasi materiallari turkumiga kiruvchi noorganik material bo‘lib, tog‘ jinslari: bazalt, shisha yoki metallurgiya chiqindilaridan olinadi. U tolali tuzilishga ega bo‘lib, shu tolalar orasida havo saqlanishi natijasida issiqlikni yaxshi ushlab turadi. Mineral paxta qurilishda devorlar, tomlar, pollar va sanoat inshootlarini issiqlik hamda tovushdan izolyatsiya qilishda keng qo‘llaniladi. Mineral paxtaning asosiy afzalliklaridan biri uning yuqori darajadagi yong‘inga chidamliligidir, ya’ni u yonmaydi va yuqori haroratga bardosh bera oladi. Shuningdek, u juda yaxshi issiqlik va tovush izolyatsiyasi xususiyatiga ega. Bu material ekologik jihatdan nisbatan xavfsiz bo‘lib, zararli moddalarning ajralishi kam kuzatiladi. Bundan tashqari, u mikroorganizmlar, mog‘or va hasharotlarga chidamli hisoblanadi.

Shisha paxta - issiqlik izolyatsiyasi materiallarining bir turi bo‘lib, asosan eritilgan shishani tolalarga aylantirish orqali olinadi. U tolali tuzilishga ega bo‘lib, tolalar orasida havo qatlamlari mavjudligi sababli issiqlikni yaxshi ushlab turadi. Shisha paxta qurilishda devorlar, tomlar, shamollatish tizimlari va sanoat qurilmalarini issiqlik hamda tovush izolyatsiya qilishda keng qo‘llaniladi. Shisha paxtaning asosiy afzalliklaridan biri uning yengilligi va yaxshi issiqlik izolyatsiyasi xususiyatidir. U issiqlikni samarali ushlab qoladi va energiya tejamkorligini oshiradi. Shuningdek, u yonmaydigan material bo‘lib, yong‘inga chidamli hisoblanadi. Shisha paxta tovushni ham yaxshi yutadi, shu sababli u akustik izolyatsiya sifatida ham qo‘llaniladi. Bundan tashqari, u kimyoviy ta’sirlarga nisbatan chidamli va chirimaydi.

Ko‘pik shisha - bu maydalangan shisha yoki shisha chiqindilarini yuqori haroratda maxsus qo‘shimchalar bilan ko‘piklantirish orqali olinadigan yengil va g‘ovak materialdir. Uning ichki tuzilishi ko‘plab mayda yopiq hujayralardan iborat. Shu sababli u juda yaxshi issiqlik va tovush izolyatsiyasi xususiyatiga ega. Ko‘pik shisha suvni o‘tkazmaydi, yonmaydi va kimyoviy ta’sirlarga chidamli hisoblanadi. Qurilish sohasida u asosan devor, tom va poydevorlarni issiqlikdan himoya qilishda, shuningdek yo‘l qurilishida yengil to‘ldiruvchi material sifatida keng qo‘llaniladi.

Ko‘pchitilgan perlit - bu tabiiy tog‘ jinsini yuqori haroratda qizdirish orqali olinadigan yengil, g‘ovak materialdir. Qizdirish jarayonida undagi bog‘langan suv bug‘lanib, jins hajmi bir necha barobar kengayadi va ko‘plab mayda havo bo‘shliqlari hosil bo‘ladi. Natijada juda yengil, issiqlik va tovushni yaxshi izolyatsiya qiladigan material paydo bo‘ladi. Ko‘pchitilgan perlit qurilishda issiqlik izolyatsiyasi, yengil betonlar tayyorlash, tom va devorlarni isitish hamda qishloq xo‘jaligida tuproqni yumshatish va namlikni saqlash uchun keng qo‘llaniladi.

Ko‘pchitilgan vermikulit - bu tabiiy tog‘ jinsi mineralini yuqori haroratda qizdirish natijasida olinadigan yengil va g‘ovak materialdir. Qizdirish jarayonida mineral ichidagi suv bug‘lanib, qatlamlar orasida kengayish sodir bo‘ladi va vermikulit hajmi bir necha barobar oshadi. Natijada u juda yengil, issiqlik va tovushni yaxshi izolyatsiya qiluvchi, yonmaydigan va kimyoviy jihatdan barqaror materialga

aylanadi. Ko‘pchitilgan vermikulit qurilishda issiqlik izolyatsiyasi, yengil beton va suvoq aralashmalarida, shuningdek qishloq xo‘jaligida tuproqni yumshatish va namlikni ushlab turish uchun keng qo‘llaniladi [4].

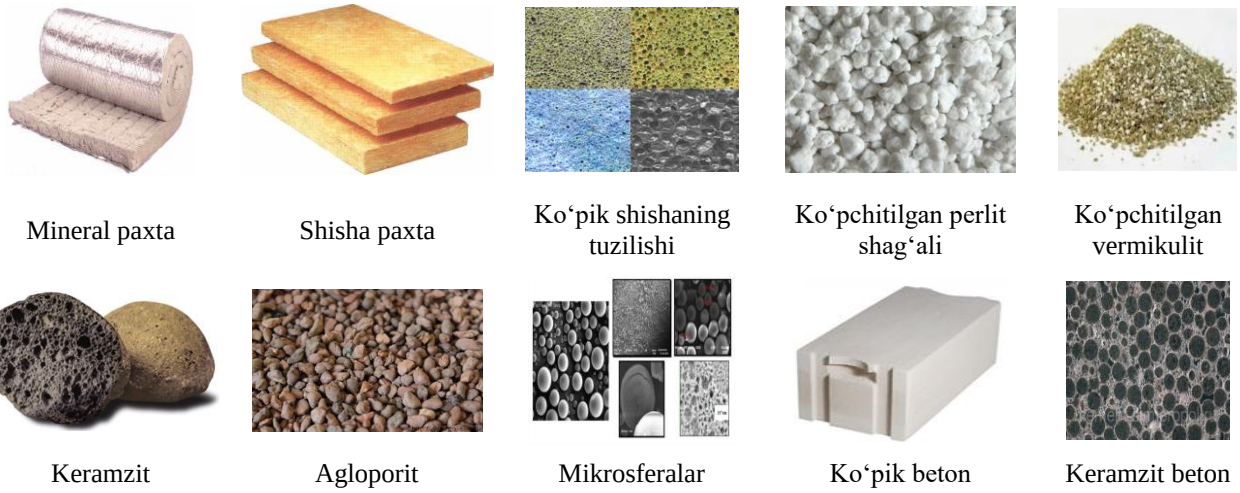
Keramzit - bu maxsus gil materialini yuqori haroratda pechda kuydirish orqali olinadigan yengil, g‘ovak qurilish materiali hisoblanadi. Kuydirish jarayonida gil ichidagi gazlar ajralib chiqib, donachalar shishadi va ichida ko‘plab havo bo‘shliqlari hosil bo‘ladi. Natijada mustahkam, lekin juda yengil granulalar paydo bo‘ladi. Keramzit issiqlikni yaxshi saqlaydi, tovushni izolyatsiya qiladi, namlikka chidamli va yonmaydi. U qurilishda yengil beton tayyorlash, pol va tomlarni izolyatsiya qilish, drenaj tizimlarida keng qo‘llaniladi.

Agloporit - bu mayda donador xomashyo bo‘lib, odatda gil, loy, ko‘mir kukuni yoki sanoat chiqindilarini aralashtirib maxsus pechlarda kuydirish orqali olinadigan yengil g‘ovak to‘ldiruvchi materialdir. Kuydirish jarayonida donachalar qisman erib, ichida ko‘plab havo bo‘shliqlari hosil bo‘ladi, natijada yengil va mustahkam granulalar paydo bo‘ladi. Agloporit issiqlikni yaxshi izolyatsiya qiladi, namlik va harorat o‘zgarishlariga chidamli, yonmaydigan material hisoblanadi. U asosan yengil beton tayyorlashda, qurilish konstruksiyalarini yengillashtirishda va issiqlik izolyatsiyasi ishlarida keng qo‘llaniladi [5].

Mikrosferalar - bu juda mayda, odatda mikrometr o‘lchamdagi sharsimon zarrachalar bo‘lib, ichi bo‘sh, g‘ovak yoki maxsus gaz bilan to‘ldirilgan bo‘lishi mumkin. Ular tabiiy yoki sun’iy yo‘l bilan olinadi va yengil, past zichlikka ega materiallar sirasiga kiradi. Mikrosferalar issiqlik va tovushni yaxshi izolyatsiya qiladi, kimyoviy barqaror va turli aralashmalarda to‘ldiruvchi sifatida ishlatiladi. Ular qurilish materiallarida va turli sohalarida keng qo‘llaniladi.

Ko‘pik beton - bu sement, suv va ko‘pik hosil qiluvchi modda aralashmasidan tayyorlanadigan yengil g‘ovak beton turidir. Tayyorlash jarayonida maxsus ko‘pik aralashmaga qo‘shilib, uning ichida ko‘plab mayda havo pufakchalari hosil qiladi. Shu sababli ko‘pik beton oddiy betonga nisbatan ancha yengil bo‘ladi, lekin yetarli mustahkamlikni saqlab qoladi. U issiqlik va tovushni yaxshi izolyatsiya qiladi, suv shimishi past va yonmaydigan material hisoblanadi. Ko‘pik beton qurilishda devor bloklari, pol qoplamalari, tom va issiqlik izolyatsiyasi qatlamlari hamda yengil konstruksiyalar tayyorlashda keng qo‘llaniladi.

Keramzit beton - bu yengil beton turi bo‘lib, unda oddiy shag‘al yoki chaqiqtosh o‘rniga keramzit to‘ldiruvchi sifatida ishlatiladi. Keramzit beton sement, qum, suv va keramzit aralashmasidan tayyorlanadi. Keramzitning g‘ovak tuzilishi sababli bu beton oddiy betonga qaraganda ancha yengil bo‘ladi, lekin yetarli mustahkamlikka ega bo‘ladi. U issiqlik va tovushni yaxshi izolyatsiya qiladi, namlikka va harorat o‘zgarishlariga chidamli hamda yonmaydigan material hisoblanadi. Keramzit beton qurilishda devor bloklari, panel va plitalar, pol qoplamalari hamda issiqlik izolyatsiyasi talab qilinadigan konstruksiyalarda keng qo‘llaniladi.



1-rasm. Noorganik issiqlik izolyatsiyasi ashyolari va buyumlari.

Bunday materiallar qurilish sohasida devorlar, tomlar, pollar va fasadlarni izolyatsiya qilishda, shuningdek, sanoatda quvurlar, qozonxonalar va texnologik uskunalarni issiqlikdan himoyalashda keng qo‘llaniladi. Natijada energiya tejamkorligi oshadi, issiqlik yo‘qotilishi

kamayadi va umumiy ekspluatatsiya xarajatlari qisqaradi.

Organik issiqlik izolyatsiyasi ashyolari va buyumlari - o‘simliklar, yog‘och va qishloq xo‘jaligi ekinlarining chiqindilari asosida tayyorlanadigan materiallar hisoblanadi. Ular asosan tabiiy resurslardan olinib, binolarni issiqlik yo‘qotishidan himoya qilish va energiya samaradorligini oshirish maqsadida qurilish sohasida keng qo‘llaniladi.

Bunday materiallarni ishlab chiqarishda yog‘och qirindisi, arra to‘poni, qamish, kanop chiqindisi, g‘o‘zapoya, somon, sholipahol va boshqa qishloq xo‘jaligi hamda o‘rmon xo‘jaligi chiqindilaridan foydalaniladi. Ushbu xomashyolar qayta ishlanib, presslash, quritish yoki bog‘lovchi moddalar bilan aralashtirish orqali issiqlik izolyatsiyasi xususiyatiga ega bo‘lgan materiallarga aylantiriladi.

Yog‘och qirindi plitalar - bu yog‘ochga ishlov berish jarayonida hosil bo‘ladigan mayda qirindi va payrahalarni maxsus bog‘lovchi moddalar odatda smola bilan aralashtirib, presslash va quritish orqali tayyorlanadigan sun’iy plitalardir. Ularning tuzilishi bir-biriga yopishtirilgan mayda yog‘och zarrachalaridan iborat bo‘lib, silliq va tekis yuzaga ega bo‘ladi. Yog‘och qirindi plitalar nisbatan arzon, yengil va ishlov berish oson material hisoblanadi. Ular mebel ishlab chiqarishda, ichki pardoz ishlarida, devor panellari va pol qoplamalarida keng qo‘llaniladi. Biroq namlikka chidamliligi tabiiy yog‘ochga qaraganda pastroq bo‘lishi mumkin.

Yog‘och tolali plitalar - bu yog‘ochni maydalab, tolalarga ajratib, so‘ngra maxsus bog‘lovchi moddalar yordamida presslash va quritish orqali olinadigan sun’iy plitalardir. Ularning tarkibi asosan yog‘och tolalaridan iborat bo‘lib, zichligi va mustahkamligi ishlab chiqarish usuliga qarab turlicha bo‘ladi. Yog‘och tolali plitalar silliq yuzaga ega, ishlov berish oson va issiqlik hamda tovushni nisbatan yaxshi izolyatsiya qiladi. Ular mebel sanoatida, ichki pardozlash ishlarida, devor va shift qoplamalarida keng qo‘llaniladi.

Fibrolit plitalar - bu yog‘och tolalarini sement yoki magnezial bog‘lovchi moddalar bilan aralashtirib, presslash va quritish orqali tayyorlanadigan yengil qurilish materialidir. Ularning tuzilishi g‘ovak bo‘lib, ichida ko‘plab havo bo‘shliqlari mavjud, shu sababli fibrolit plitalar issiqlik va tovushni yaxshi izolyatsiya qiladi. Bu material yonmaydi, mustahkam va ekologik jihatdan nisbatan xavfsiz hisoblanadi. Fibrolit plitalar qurilishda devor panellari, issiqlik izolyatsiyasi qatlamlarida keng qo‘llanadi.

Arbolit - bu yengil beton turiga kiruvchi qurilish materiali bo‘lib, yog‘och qirindilari, sement, suv va kimyoviy qo‘shimchalardan tayyorlanadi. Uning tarkibida yog‘och to‘ldiruvchi asosiy rol o‘ynaydi, sement esa bog‘lovchi vazifasini bajaradi. Arbolit g‘ovak tuzilishga ega bo‘lgani uchun issiqlik va tovushni yaxshi izolyatsiya qiladi, nisbatan yengil va ishlov berish oson material hisoblanadi. Shu bilan birga u yetarli darajada mustahkam. Arbolit qurilishda devor bloklari, panellar va yengil konstruksiyalar tayyorlashda keng qo‘llaniladi.

Qamish plitalar - bu quritilgan qamish poyalari bog‘lab yoki presslab ularni maxsus bog‘lovchi moddalar bilan birlashtirish orqali tayyorlanadigan yengil qurilish materiali hisoblanadi. Ularning tuzilishi tabiiy tolali bo‘lib, ichida havo bo‘shliqlari ko‘p bo‘lgani uchun issiqlik va tovushni yaxshi izolyatsiya qiladi. Qamish plitalar ekologik toza, yengil va ishlov berish oson material hisoblanadi. Ular asosan devor va shiftlarni issiqlik izolyatsiya qilishda, ichki pardoz ishlari va qurilish konstruksiyalarida qo‘llaniladi [6].

Yog‘och qirindi plitalar | Yog‘och tolali plitalar | Fibrolit plitalar | Arbolit | Qamish plitalar

2-rasm. Organik issiqlik izolyatsiyasi ashyolari va buyumlari.

Organik issiqlik izolyatsiyasi materiallarining asosiy afzalligi ularning ekologik tozaligi, arzonligi va tabiiy resurslardan olinishi hisoblanadi. Ular binoda qulay mikroiqlim yaratadi, issiqlik yo‘qotilishini kamaytiradi va ekologik muvozanatni saqlashga yordam beradi. Shu bilan birga, bu materiallar yengil bo‘lib, ishlov berish va o‘rnatish jarayoni ham oson bo‘ladi.

Ularning ayrim kamchiliklari ham mavjud. Tabiiy organik materiallar namlik ta’sirida tez buzilishi, chirishi yoki mog‘orlanishi mumkin. Bundan tashqari, ular yong‘inga nisbatan sezgir bo‘lib, maxsus himoya ishlovini talab qiladi. O‘simliklar va qishloq xo‘jaligi chiqindilaridan tayyorlangan organik issiqlik izolyatsiyasi ashyolari zamonaviy qurilishda muhim o‘rin tutadi. Ular nafaqat energiya tejamkorligini oshiradi, balki ekologik toza va arzon qurilish materiallari sifatida ham katta ahamiyatga ega.

Polimer issiqlik izolyatsiyasi ashyolari - zamonaviy qurilish sanoatida juda muhim o‘rin tutadi. Ular yengilligi, issiqlikni juda kam o‘tkazishi bilan boshqa ko‘plab izolyatsiya materiallaridan ajralib turadi. Shu sababli bunday materiallar binolarni issiqlik yo‘qotishidan himoya qilish, energiya sarfini kamaytirish hamda qulay mikroiqlim yaratishda keng qo‘llaniladi. Bu guruh materiallari asosan kimyoviy sintez orqali olinadigan polimerlar asosida ishlab chiqariladi.

Ekstrudirlangan polistirol - bu polistirol plastmassasini maxsus texnologiya ya’ni ekstruziya usuli orqali ko‘piklantirib tayyorlanadigan yengil issiqlik izolyatsiya materialidir. Uning tuzilishi bir-biriga juda zich yopiq hujayralardan iborat bo‘lib, bu unga yuqori mustahkamlik va past issiqlik o‘tkazuvchanlik xususiyatini beradi. Ekstrudirlangan polistirol suvni deyarli o‘tkazmaydi, namlikka chidamli hamda uzoq muddat xizmat qiladi. U qurilishda poydevor, pol, tom va devorlarni issiqlik izolyatsiya qilishda keng qo‘llaniladi.

Penopolivinilxlorid plitalar - bu polivinilxlorid smolasini maxsus ko‘piklantirish texnologiyasi orqali olinadigan yengil g‘ovak plastmassa plitalardir. Ularning ichki tuzilishi mayda yopiq hujayralardan iborat bo‘lib, bu ularga past zichlik, yaxshi issiqlik va tovush izolyatsiyasi xususiyatlarini beradi. Penopolivinilxlorid plitalar namlikka chidamli, kimyoviy ta’sirlarga barqaror va yonishga nisbatan sekin ta’sirlanadigan material hisoblanadi. Ular qurilishda ichki pardoz ishlari, devor va shift qoplamalari hamda turli yengil konstruksiyalarda keng qo‘llaniladi.

Penopoliuretan plitalar - bu poliuretan smolasi asosida olinadigan penopoliuretan materialidan tayyorlangan yengil issiqlik izolyatsiya plitalaridir. Ular ishlab chiqarish jarayonida kimyoviy reaksiyalar natijasida ko‘piklanib, ichida juda ko‘p yopiq havo hujayralari hosil qiladi. Shu sababli penopoliuretan plitalar juda past issiqlik o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lib, yuqori darajada issiqlik izolyatsiyasini ta’minlaydi. Ular yengil, namlikka chidamli, mustahkam va uzoq muddat xizmat qiladigan material hisoblanadi. Penopoliuretan plitalar qurilishda devor, tom, pol va sovutish tizimlarida issiqlik izolyatsiyasi sifatida keng qo‘llaniladi.

Sotoplastlar - bu yengil, yuqori mustahkamlikka ega bo‘lgan qatlamli konstruksion material bo‘lib, uning ichki qismi asalari uyasiga o‘xshash olti burchakli yacheykalardan tashkil topgan yadrodan iborat bo‘ladi. Bu yadro odatda qog‘oz, alyuminiy yoki plastmassa materiallardan tayyorlanadi va ikki tomondan qattiq qoplama bilan yopiladi. Sotoplastlar juda yengil bo‘lishiga qaramay, egilish va siqilishga yaxshi bardosh beradi hamda konstruksiyalarning og‘irligini sezilarli kamaytiradi. Ular aviatsiya, transport, qurilish, mebel sanoatida, shuningdek, ichki pardoz va yengil panel tizimlarida keng qo‘llaniladi.

Vilaterm penopolietileni - bu penopolietilen asosida tayyorlanadigan yengil, elastik va g‘ovak issiqlik hamda tovush izolyatsiya materiali hisoblanadi. U yopiq hujayrali tuzilishga ega bo‘lib, namlikni deyarli o‘tkazmaydi va suvni singdirmaydi. Vilaterm penopolietileni yuqori elastiklikka ega, deformatsiyaga chidamli va uzoq muddat o‘z shaklini saqlab qoladi. U issiqlik izolyatsiyasi, quvurlarni izolyatsiya qilish hamda shovqinni kamaytirish ishlarida keng qo‘llaniladi.

Folgoizolon - bu penopolietilen asosida tayyorlangan, bir tomoni alyuminiy folga bilan qoplangan issiqlik va tovush izolyatsiya materialidir. Uning ichki tuzilishi yopiq g‘ovaklardan iborat bo‘lib, bu unga past issiqlik o‘tkazuvchanlik va yaxshi namlikka chidamlilik xususiyatini beradi. Alyuminiy folga qatlami esa issiqlikni qaytarish vazifasini bajaradi va izolyatsiya samaradorligini oshiradi. Folgoizolon yengil, elastik va oson o‘rnatiladigan material bo‘lib,

qurilishda pol, devor, tom va quvurlarni issiqlik hamda tovushdan himoya qilishda keng qo‘llaniladi.

Folga-xolst - bu bir tomoni alyuminiy folga bilan qoplangan, ikkinchi tomoni esa mustahkamlovchi mato - xolst yoki shisha tolali asosdan iborat bo‘lgan issiqlik va namlik izolyatsiya materiali hisoblanadi. Uning tuzilishi folga qatlamining issiqlikni qaytarish xususiyati va xolstning mustahkamligi bilan uyg‘unlashgan bo‘lib, materialni bardoshli va uzoq xizmat qiladigan qiladi. Folga-xolst yuqori haroratga chidamli, namlikni o‘tkazmaydi va issiqlik yo‘qotilishini kamaytiradi. U qurilishda issiqlik izolyatsiyasi, ventilyatsiya tizimlari, quvurlar va sanoat uskunalarini o‘rashda keng qo‘llaniladi.

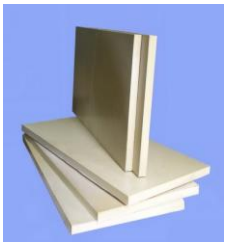
Folga-tkan - bu bir tomoni alyuminiy folga bilan qoplangan, ikkinchi tomoni esa to‘qima mato - tkan asosidan iborat bo‘lgan issiqlik va namlik izolyatsiya materiali hisoblanadi. Uning folga qatlami issiqlik nurlarini qaytarish vazifasini bajaradi, mato qatlami esa material mustahkamligini oshiradi. Folga-tkan yuqori haroratga bardoshli, namlikni o‘tkazmaydi va uzoq muddat xizmat qiladi. U qurilish va sanoatda issiqlik izolyatsiyasi, ventilyatsiya tizimlari, quvurlar hamda issiqlik uskunalarini o‘rash va himoya qilishda keng qo‘llaniladi.

Aks qaytaruvchi folgoplast - bu polietilen yoki polipropilen asosida tayyorlanib, bir yoki ikki tomoni alyuminiy folga bilan qoplangan issiqlik izolyatsiya materialidir. Uning asosiy xususiyati folga qatlami issiqlik nurlarini qaytarib, issiqlik yo‘qotilishini kamaytiradi, ichki ko‘pik tuzilishi esa past issiqlik o‘tkazuvchanlikni ta’minlaydi. Folgoplast yengil, elastik, namlikka chidamli va o‘rnatilishi oson material hisoblanadi. U qurilishda devor, pol, tom va quvurlarni issiqlik hamda tovushdan himoya qilishda keng qo‘llaniladi.

Mipora bloklari - bu ko‘piklangan karbamid-formaldegid smolasi asosida tayyorlanadigan yengil, g‘ovak issiqlik izolyatsiya bloklaridir. Ularning ichki tuzilishi juda mayda yopiq hujayralardan iborat bo‘lib, bu materialga past zichlik va yaxshi issiqlik hamda tovush izolyatsiyasi xususiyatini beradi. Mipora bloklari yengil, oson kesiladigan va shakllantiriladigan bo‘lib, qurilishda devor va tomlarni issiqlikdan himoya qilish, bo‘shliqlarni to‘ldirish hamda izolyatsiya qatlamlari sifatida keng qo‘llaniladi. Biroq ular namlikka nisbatan sezgir bo‘lgani uchun ko‘pincha qo‘shimcha himoya qatlamlari bilan ishlatiladi.

Ekstrudirlangan polistirol

Penopolivinilxlorid plitalar

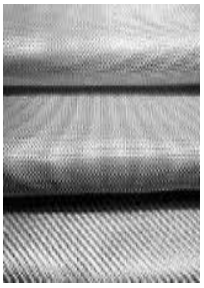

Penopoliuretan plitalar

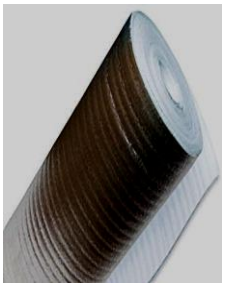
Sotoplastlar

Vilaterm penopolietileni

Folgoizolon

Folga-xolst


Folga-tkan


Aks qaytaruvchi folgoplast

Mipora bloklari

3-rasm. Polimer issiqlik izolyatsiyasi ashyolari.

Polimer asosidagi issiqlik izolyatsiya materiallarining eng katta afzalliklaridan biri shundaki, ular juda yengil bo‘lib, bino konstruksiyasiga ortiqcha yuk tushirmaydi. Shu bilan birga, ularning

issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti past bo‘lib, hatto yupqa qatlamda ham samarali izolyatsiya ta’minlay oladi. Devorbop panellar ishlab chiqarishda bunday materiallardan foydalanish juda qulay hisoblanadi.

Polimer issiqlik izolyatsiyasi ashyolari zamonaviy qurilishda eng samarali materiallardan biri hisoblanadi. Ular yuqori texnologik xususiyatlari, qulayligi va iqtisodiy jihatdan foydaliligi bilan ajralib turadi.

1-jadval

Issiqlik izolyatsiya materiallarining fizik-mexanik ko‘rsatkichlari

T/r	Material nomi	Zichligi ρ (kg/m³)	Issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ (W/m·°C)
1	Mineral paxta	75 – 150	0,04 – 0,05
2	Shisha paxta (titilgan)	130	0,041
3	Yog‘och qirindi plitalar (yengil)	250 – 400	0,046 – 0,093
4	Yog‘och tolali plitalar	150 – 350	0,064 – 0,1
5	Fibrolit plitalar	250 – 500	0,08 – 0,1
6	Qamish plitalar	200 – 350	0,06 – 0,09
7	Penopoliuretan plita	100 – 200	0,06

Ekologik talablar nuqtai nazaridan issiqlik izolyatsiyasi muhim o‘rin tutadi. Zamonaviy qurilishda atrof-muhitga salbiy ta’sirni kamaytirish, energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etish ustuvor yo‘nalish hisoblanadi. Issiqlik izolyatsiyasi orqali energiya iste’moli kamayib, zararli gazlar chiqindisi qisqaradi va ekologik barqarorlik ta’minlanadi.

Bundan tashqari, binolarga qulay va sog‘lom yashash muhiti yaratish talabi ham qo‘yiladi. Issiqlik izolyatsiya materiallari ichki mikroiqlimni barqaror saqlab, harorat va namlik me’yorini ta’minlaydi. Bu esa inson salomatligiga ijobiy ta’sir ko‘rsatadi hamda mog‘or va zamburug‘larning paydo bo‘lishining oldini oladi.

Xulosa. Qurilishda issiqlik izolyatsiya materiallarining ahamiyati juda katta bo‘lib, ular zamonaviy binolarni barpo etishda asosiy texnik va iqtisodiy omillardan biri hisoblanadi. Ushbu materiallar binolarda issiqlik yo‘qotilishini sezilarli darajada kamaytiradi, natijada isitish va sovutish uchun sarflanadigan energiya miqdori qisqaradi. Bu esa nafaqat iqtisodiy tejamkorlikni ta’minlaydi, balki ekologik jihatdan ham foydali hisoblanadi. Issiqlik izolyatsiya materiallari bino ichida qulay mikroiqlim yaratishga yordam beradi, ya’ni qishda issiqlikni saqlab qoladi, yozda esa ortiqcha issiqlikning kirib kelishini cheklaydi. Bundan tashqari, ular devor, tom va pol konstruktsiyalarining xizmat muddatini uzaytiradi hamda namlik va harorat o‘zgarishlarining salbiy ta’sirini kamaytiradi. Issiqlik izolyatsiya materiallaridan to‘g‘ri va samarali foydalanish zamonaviy qurilishning ajralmas qismi bo‘lib, u energiya tejamkor, ekologik toza va uzoq muddat xizmat qiladigan binolar barpo etishda muhim rol o‘ynaydi.

Adabiyotlar

[1]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 23-maydagi PQ-4335-sonli “Qurilish materiallari sanoatini jadal rivojlantirishga oid qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi qarori.

[2]. M.A.Mirzajonov, “Istiqbolli energiya tejamkor qurilish ashyolari va tizimlari”. Darslik. Farg‘ona. 2021.

[3]. N.A.Samig‘ov, “Qurilish materiallari va buyumlari”. Darslik. Toshkent: Cho‘lpon nomidagi NMIU 2013.

[4]. A.A. To‘laganov, X.X. Komilov, A.A. Sultonov, “Zamonaviy qurilish materiallari, buyumlari va texnologiyalari”. O‘quv qo‘llanma. Toshkent. 2014.

[5]. Xamidov A .“Beton to‘ldiruvchilar texnologiyasi”. Darslik. Toshkent. 2020.

[6]. N.A. Mahmudova, M. Rashidova, “Pardozlash va issiqlik izolyatsiya materiallarining texnologik asoslari”. Darslik. Toshkent. O‘zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashriyoti. 2012.

KO‘P QAVATLI TEMIRBETON KARKASLI BINOLARDA TO‘SUVCHI VA BO‘LUVCHI GAZOBETON DEVORLARNI YORDAMCHI METALL USTUNLAR (FAXVERKLAR) ORQALI MAHKAMLASH YECHIMLARI VA SEYSMIK TAHLILI

X.A. Akramov[1], Sh.M. Davlyatov[2], D.G‘. G‘ulomov[3]

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
e-mail: xusnitdin.akramov48@gmail.com, ORCID (0000-0002-3258-9249).
e-mail: sh.davlyatov@ferpi.uz, ORCID(0009-0006-7204-7192).
e-mail: gulomovdilmuhammad990@gmail.com. ORCID (0009-0002-3636-8993).
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Mazkur ilmiy maqolada ko‘p qavatli temirbeton karkasli binolarda avtoklavli gazobeton (AGB) bloklaridan tiklanadigan to‘suvchi va parda devorlarning barqarorligini ta'minlashda yordamchi metall ustunlar (faxverklar) dan foydalanish texnologiyasi qiyosiy tahlil qilingan. Tadqiqot doirasida yordamchi metall ustunlarning asosiy temirbeton karkasga va gazobeton devorlarga birikish tugunlari seysmik faol (Yaponiya, Turkiya, Rossiya, O‘zbekiston) hamda noseysmik (BAA, Yevropa davlatlari) hududlar me'yorlari misolida o‘rganildi. Temirbeton bino qavatlarining zilzila vaqtidagi ko‘chishi oqibatida devorlarga tushadigan zo‘riqishlarni kamaytirish, hamda devorlarni biriktirish tugunlardagi sharnirli (egiluvchan) va qattiq mahkamlash yondashuvlari batafsil yoritilgan. Taqdim etilgan muhandislik yechimlari qurilish amaliyoti uchun amaliy ahamiyatga ega.*

Tayanch so‘zlar: *temirbeton karkas, yordamchi metall ustun, gazobeton blok, antiseysmik chok, sharnirli (egiluvchan) bog‘lash, parda devor, to‘suvchi devor.*

Аннотация. *В данной научной статье представлен сравнительный анализ технологии использования вспомогательных металлических колонн (ступеней) для обеспечения устойчивости подпорных и навесных стен из блоков автоклавного газобетона (АГБ) в многоэтажных железобетонных каркасных зданиях. В рамках исследования были изучены узлы крепления вспомогательных металлических колонн к основному железобетонному каркасу и газобетоновым стенам с использованием стандартов сейсмически активных (Япония, Турция, Россия, Узбекистан) и несейсмических (ОАЭ, страны Европы) регионов. Подробно описаны методы снижения напряжений в стенах, возникающих при смещении перекрытий железобетонных зданий во время землетрясения, а также подходы к шарнирному (гибкому) и жесткому креплению стен в узлах их крепления. Представленные инженерные решения имеют практическое значение для строительной практики.*

Ключевые слова: *железобетонный каркас, вспомогательная металлическая стойка, газобетонный блок, антисейсмический шов, шарнирное соединение, перегородка, заполняющая стена.*

Abstract. *This scientific article presents a comparative analysis of the technology of using auxiliary metal columns (treads) to ensure the stability of retaining and curtain walls made of autoclaved aerated concrete (AGB) blocks in multi-story reinforced concrete frame buildings. Within the framework of the study, the nodes of attachment of auxiliary metal columns to the main reinforced concrete frame and aerated concrete walls were studied using the standards of seismically active (Japan, Turkey, Russia, Uzbekistan) and non-seismic (UAE, European countries) regions. The methods of reducing the stresses on the walls due to the displacement of the floors of reinforced concrete buildings during an earthquake, as well as the approaches to hinged (flexible) and rigid fastening of the walls at the nodes of their attachment, are described in detail. The presented engineering solutions are of practical importance for construction practice.*

Keywords: *reinforced concrete frame, auxiliary steel column, aerated concrete block (AAC block), seismic joint, flexible (hinged/pinned) connection, partition wall, infill wall.*

Kirish. Zamonaviy shaharsozlikda ko‘p qavatli binolar asosan monolit temirbeton karkas tizimida qurilmoqda. Arxitekturaviy ochiqlik va keng maydonlarga bo‘lgan ehtiyoj tufayli asosiy temirbeton ustunlar orasidagi masofa (prolyot) 6, 9 va ba'zan undanham oshmoqda. Bunday keng oraliqlarni to‘ldirish uchun zichligi past va issiqlik o‘tkazuvchanligi past bo‘lgan avtoklavli gazobeton bloklar qo‘llaniladi.

Biroq, normativ hujjatlarda, masalan, QMQ 2.01.03-19ga asosan, o‘z-o‘zini ko‘taruvchi gazobeton devorning erkin uzunligi seysmik hududlarda muayyan cheklovlarga ega. Agar devor uzunligi ruxsat etilgan me'yordan oshsa, tekislikdan tashqari yuklarga (shamol va zilzila inertsiyasi) bardosh bera olmaydi va ag‘darilib ketish xavfi yuzaga keladi. Ushbu muammoni hal qilish uchun yordamchi metall ustunlar (po'lat faxverklar) tizimi joriy etiladi. Hozir O‘zbekistonda qurilish va loyihalash amaliyotida bu yordamchi metall ustunlarning to‘g‘ri qo‘llanishi borasida katta muammolar bor. Bu esa binoning ekspluatatsiya davrida yoki seysmik havf bo‘lganda o‘zining salbiy oqibatlari bilan namoyon bo‘ladi. Ushbu maqolaning maqsadi ana shu yordamchi metall elementlarning temirbeton karkas va gazobeton devor bilan o‘zaro ishlash mexanikasini hududlar seysmikligiga qarab tahlil qilishdir.

Asosiy qism. *Yordamchi metall ustunlarning (faxverklarning) vazifasi.*

Yordamchi metall ustunlar (inglizcha adabiyotlarda wind posts yoki sub-frames) asosiy yuk ko‘taruvchi karkas hisoblanmaydi. Ularning yagona vazifasi —gazobeton devorlarni ma’lum uchastkalarga bo‘lish, devor sirtiga tushadigan gorizontal (shamol va seysmik) yuklarni o‘ziga qabul qilib, ularni asosiy temirbeton yopmalarga (plitaga) uzatishdir.

Yordamchi ustunlar odatda burchaklik profilli po‘latlardan yoki qutimon (shveller) profillardan yasaladi.

Seysmik va noseysmik hududlarda yordamchi metall ustunlarni mahkamlash usullarining qiyosiy tahlili.

Yordamchi metall ustunlarning va gazobeton bloklarning o‘zaro hamda asosiy temirbeton karkasga mahkamlanishi seysmiklik darajasiga ko‘ra tubdan farq qiladi. BAA, Shimoliy va Markaziy Yevropa kabi noseysmik hududlarda yordamchi metall ustunlarni temirbeton karkasga mahkamlash, yuqori va pastki qismlaridan amalga oshiriladi. Tugun yechimi (Qattiq mahkamlash): Yordamchi metall ustun pastki temirbeton yopmaga ankerniy boltlar yordamida qattiq qotiriladi. Yuqori yopmaga ham ko'pincha burchakli po'lat (ugolok) yoki metal listlar orqali to'liq payvandlanadi (2-rasm). Gazobeton devor metall ustunga bevosita taqab teriladi, oradagi tirqish miniral paxta yoki boshqa issiqlik saqlovchi materiallar bilan to‘ldiriladi(1-rasm). Har ikki yoki uch qatorda metall ustunga payvandlangan po‘lat to‘r setkalar gazobeton chokiga yotqizilib, yaxlit (bikr) qobiq hosil qilinadi.

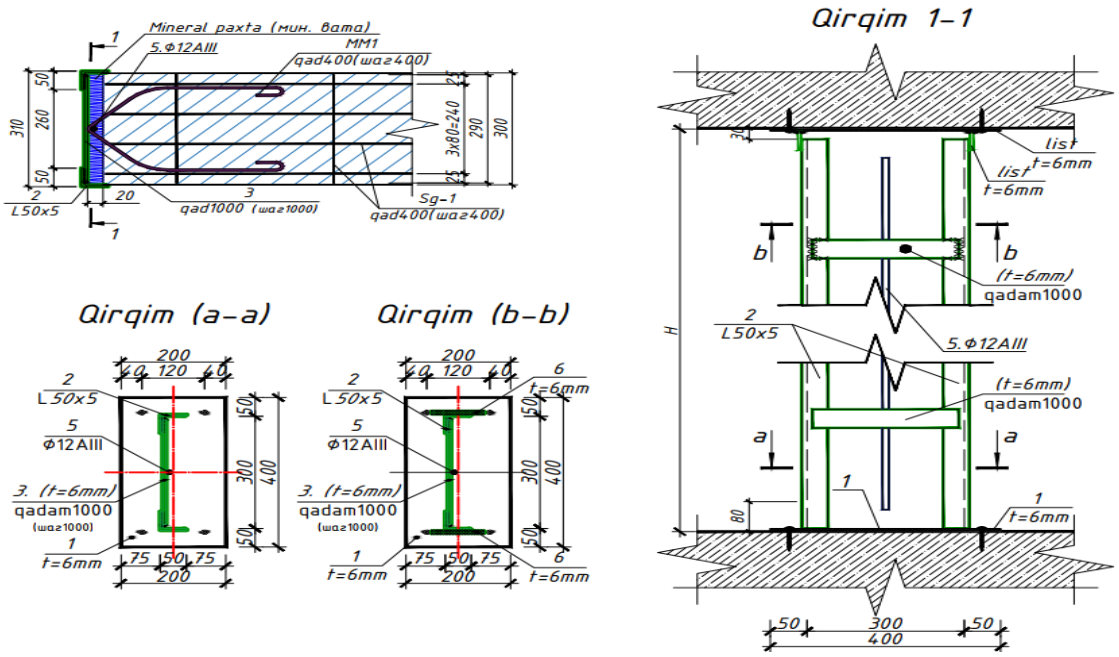
1-rasm. Gazobeton metall ustunga terilishi.

2-rasm. Metall ustunlarning temirbeton karkasga maxkamlanishi.

Ushbu hududlarda (masalan, Dubay yoki Berlinda) asosiy xavf zilzila emas, balki balandlikdagi kuchli shamol bosimidir. Temirbeton karkasning qavatlararo gorizontal siljishi juda kichik bo‘ladi.

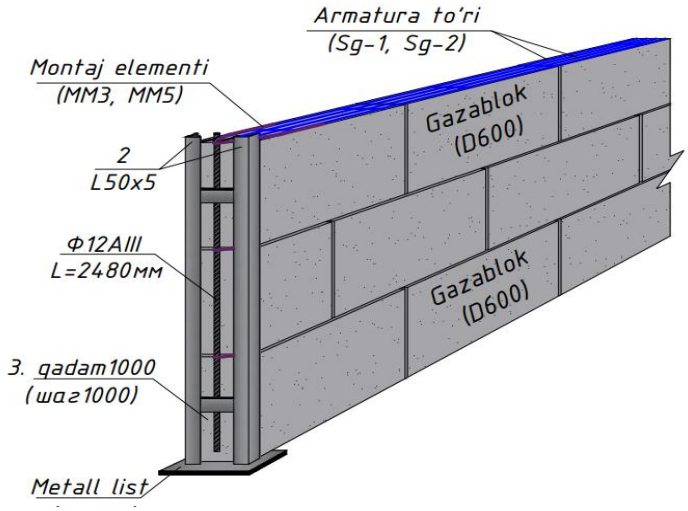
Seysmik hududlarda yordamchi metall ustunlarni mahkamlash (Yaponiya, Turkiya, Rossiya, O'zbekiston): Zilzila paytida temirbeton karkas egiluvchan ishlashi va qavatlar o‘rtasida katta siljishlar yuzaga kelishi kutiladi. Shuning uchun yordamchi metall ustunlarni temirbeton karkas elementlariga to‘liq holatda qattiq mahkamlash devor konstruksiyalarda deformatsiyalarga olib

keladi. Shuning uchun tugun yechimi sharnirli (sirpanuvchi, Egiluvchan mahkamlash) yordamida metall ustun pastki temirbeton plitaga qattiq qotiriladi, ammo uning yuqori qismi yuqoridagi temirbetonga sharnirli (maxsus sirpanuvchi) ulanadi(3-rasm). Ya'ni, yuqori yopma zilzila paytida siljiganda yordamchi metall ustunni o‘zi bilan sudrab qiyalatmaydi.



3-rasm.Metall ustunni maxkamlash.

Asosiy temirbeton karkas va yordamchi, metall ustunli gazobeton devor o‘rtasida albatta 20-30 mm lik antiseysmik chok qoldirilishi va u mineral paxta bilan to‘ldirilishi shart. Metall ustundan gazobeton devorga U-simon egiluvchan zanglamas ankerlar kiritiladi. Bu ankerlar devorni ustundan uzoqlashishiga yo'l qo‘ymaydi, ammo devor tekisligi bo‘ylab (parallel) harakatga xalaqit bermaydi.



4-rasm. Gazablok devor terimining ko‘rinishi.

Zilzila sodir bo‘lganda devorlarning binoga (temirbeton karkasga) ta'siri: Agar gazobeton devor va yordamchi metall ustunlar asosiy temirbeton karkasga xato mahkamlansa, inshoot seysmik ta'sir ostida zararli oqibatlarga olib kelishi mumkin.

"Diagonal tirgak" (Strut effect) xavfi: Qattiq bog‘langan devor temirbeton karkasning egilishiga qarshilik ko‘rsatadi. Bu esa bino davriyligini (period) pasaytirib, binoga tushadigan seysmik yukni oshiradi. Natijada yordamchi metall ustun ham, devor ham eziladi [1].

To‘g‘ri ishlash mexanikasi: Antiseysmik choklar va egiluvchan birikmalar qo‘llanilganda, temirbeton karkasning erkin deformatsiyalanishi ta’minlanadi va to‘ldiriluvchi devorlar faqat tekislikdan tashqari barqarorlik elementi sifatida ishlaydi. Bu esa seysmik shikastlanishlarning sezilarli darajada kamayishiga olib keladi[4].

Xalqaro me'yoriy qoidalar: hududiy normativlar gazobeton devorlarni yordamchi ustunlar bilan mustahkamlashni qat'iy tartibga soladi.

Yaponiya (AIJ Standard): Gazobeton devorlar asosan tayyor panellar ko‘rinishida yordamchi po‘lat profil (H-beam yoki Tube) relslariga osiladi. Barcha birikmalar "Rocking" (tebranuvchi)

sharnirlardan iborat. Bino karkasi 5 sm gacha siljiganda ham yordamchi ustun va devor o‘zaro ishqalanmaydi

.*Turkiya* **(TEC-2018):** 2023-yildagi Qahramanmarosh zilzilasidan so'ng, temirbeton binolarda to‘suvchi devorlarning noto‘g‘ri birikishi fojialarga sabab bo‘lgani tasdiqlandi. TEC-2018 ga asosan, uzunligi 5 metrdan oshadigan devorlarda yordamchi temirbeton yoki po‘lat ustun (dikme) bo‘lishi va devor unga faqat sharnirli (sirpanuvchi) elementlar bilan ulanishi majburiy etib belgilangan[6].

O‘zbekiston (QMQ 2.01.03-19) 3.2.6 punkti va Rossiya (SP 14.13330.2018): Qoidalarga ko‘ra, seysmikligi 7-9 ball bo‘lgan hududlarda gazobeton devorlarning maydoni cheklanadi. Keng prolyotli temirbeton karkaslarda har 6 metrdan oshmagan xolatda vertikal, har 3-4 metrda gorizontal seysmik belbog‘lar (yoki yordamchi metall faxverklar) qo‘yilishi va ular asosiy konstruksiyadan deformatsion choklar orqali ajratilishi talab etiladi. [2,3].

BAA va Yevropa **(Eurocode 6):** Asosiy talab — devorning shamol so‘rilishiga (suction) bardoshliligi. Eurocode yordamchi metall ustunlarni devor ichiga yashirib, montaj qilishga ruxsat beradi.

Seysmik va noseysmik hududlarda yordamchi metall ustunlarni qo‘llash tamoyillari: hududning seysmik faolligidan kelib chiqib, yordamchi metall ustunlarni (faxverklarni) temirbeton karkasga biriktirishda ikki xil muhandislik yondashuvi qo‘llaniladi.

Seysmik faol hududlarda (O‘zbekiston, Yaponiya, Turkiya) birikish turi sharnirli (sirpanuvchi) xarakterga ega bo‘lishi shart. Bunda yordamchi metall ustun pastki qismdan mahkamlansa-da, uning yuqori uchi yuqoridagi temirbeton elementga maxsus sharnirli (sirpanuvchi uzel) orqali ulanadi. Bu yechim zilzila paytida temirbeton karkasning qavatlararo siljishini metall ustunga yuklamaslikka xizmat qiladi. Shu bilan birga, gazobeton devor va yordamchi ustun oralig‘ida kamida 20–30 mm lik antiseysmik chok qoldirilishi va u elastik material bilan to'ldirilishi me'yoriy talab hisoblanadi. Bu holatda ankerlash elementlari sifatida bukiluvchan zanglamas po‘lat plastinalar yoki U-simon montajniy elementlar ishlatiladi, natijada bino karkasining statik bikrligi sun’iy ravishda ortmaydi va karkas o‘zining sof dinamik xususiyatlarini saqlab qoladi.

Noseysmik hududlarda (BAA, Markaziy Yevropa) esa yondashuv tubdan farq qiladi. Bu yerda birikish asosan **qattiq (bikr)** holatda amalga oshiriladi. Metall ustunlar temirbeton yopmalarga payvandlash yoki qattiq ankerlash orqali to‘liq fiksatsiya qilinadi. Devor va ustun o‘rtasida keng deformatsion choklarga ehtiyoj yo‘q, ko‘pincha texnologik 10–15 mm li oraliq sement ohagi yoki qattiq poliuretan bilan to'ldiriladi. Bog‘lovchi element sifatida qat'iy po‘lat to‘rlar yoki teshikli qalin tasmalar qo‘llaniladi. Bunday tizim binoning umumiy bikrligini oshirib, kuchli shamol yuklariga qarshi yuqori barqarorlikni ta’minlaydi.

Temirbeton karkasli binolarda devorning joylashuviga ko‘ra yordamchi metall ustunlarning ishlash mexanikasi ham turlicha bo‘ladi:

To‘suvchi devorlar tizimida yordamchi metall elementlar nafaqat gorizontal (shamol, seysmik) yuklarni, balki metall ustun tashqi muhit bilan bevosita yoki bilvosta aloqada bo‘lgani uchun uning sirtini ekstrudirlangan penopolistirol kabi samarali issiqlik izolyatorlari bilan qo‘shimcha himoyalash talab etiladi. Aks holda, metall yuzasida kondensat yig‘ilib, korroziyaga va gazobetonning namlanishiga sabab bo‘ladi.

Parda devorlar tizimida esa yordamchi metall ustunlar bevosita temirbeton yopmalar orasida, devor bilan bir tekislikda joylashadi. Bu tizimda metall ustunlar asosan devorning ag‘darilib ketishiga qarshi (tekislikdan tashqari yuklarga) ishlaydi. Ushbu tizimning ustunligi shundaki, yordamchi metall elementlar ham issiq kontur ichida (gazobeton qobig‘i ortida) qoladi. Bu issiqlik texnikasi jihatidan ideal holat bo‘lib, karkas korroziyasi xavfini nolga tushiradi. Seysmik nuqtai nazardan, parda devorlar tizimi karkas tebranishlaridan deyarli mustaqil bo‘lgani uchun, yordamchi ustunlarga tushadigan zo‘riqishlar sezilarli darajada kam bo'ladi.

Xulosalar:

Ilmiy va muhandislik izlanishlar natijasida ko‘p qavatli temirbeton karkasli binolarda gazobeton blok devorlardan foydalanishda quyidagi xulosalarga kelindi:

1. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, yordamchi metall ustunlar konstruktiv jihatdan yuk ko‘taruvchi element bo‘lmasada, devorlarning tekislikdan tashqari yuklarga chidamliligini oshirish va ularning ag‘darilib ketishini oldini olishda hal qiluvchi rol o‘ynaydi.
2. Seysmik va noseysmik hududlar uchun qo‘llaniladigan konstruktiv yechimlar o‘rtasida farqlar mavjudligi aniqlandi. Xususan, seysmik hududlarda qattiq bog‘lanishdan voz kechib, sharnirli (egiluvchan) birikmalarni qo‘llash, antiseysmik choklar tashkil etish hamda deformatsiyalarni erkin qabul qiluvchi tizimlarni yaratish eng maqbul yechim ekanligi isbotlandi. Aks holda, “diagonal tirgak” effekti yuzaga kelib, bino konstruksiyasida qo‘shimcha xavf tug‘diradi.
3. Shuningdek, xalqaro me’yoriy hujjatlar (Yaponiya, Turkiya, Rossiya, O‘zbekiston va Yevropa tajribasi) tahlili asosida, hududning seysmiklik darajasiga mos konstruktiv yondashuvni tanlash zarurligi asoslandi. Seysmik hududlarda egiluvchan tizimlar ustuvor bo‘lsa, noseysmik hududlarda qattiq birikmalar orqali umumiy bikrlikni oshirish samarali hisoblanadi.
4. Amaliy tavsiya: O‘zbekiston seysmik hududda joylashganligi sababli qurilish amaliyotida bino inshootlarni loyihalashda to‘ldiruvchi devorlarni loyihalash ishlarini to‘g‘ri tashkil etish va qurilish ishlarining loyihaga mos xolatda olib borilishini nazorat qilish zarur.

Adabiyotlar

[1]. Mrs. Sanaa Elmalyh 1, Mr. Azzeddine Bouyahyaoui 1 and Mr. Taoufik Cherradi1 1 Mohammadia School of Engineers, University of Mohammed V, Dept. of Civil Engineering, Agdal, Rabat, Morocco “Seismic behaviour of reinforced concrete frame with infill panels” MATEC Web of Conferences 149, 02064 (2018)
[2]. QMQ 2.01.03-19. "Zilzilaviy hududlarda qurilish". O‘zbekiston Respublikasi Qurilish vazirligi. Toshkent, 2019.
[3]. SP 14.13330.2018. "Stroitelstvo v seysmicheskix rayonax". Rossiya Federatsiyasi. Moskva, 2018.
[4]. “Eurocode 8: (EN 1998-1:2004+A1:2013.) Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings.”
[5]. Eurocode 6 (EN 1996-1-1). "Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures". European Committee for Standardization.
[6]. Turkish Building Earthquake Code (TBEC-2018). “Specifications for Buildings to be Designed under Earthquake Effects.”
[7]. Ankara: Republic of Türkiye, Ministry of Interior, Disaster and Emergency Management Authority (AFAD), 2018.
[8]. Architectural Institute of Japan (AIJ). "Standard for Structural Calculation of Reinforced Concrete Structures". Tokyo, Japan.
[9]. Gorshkov A.S., Rytov V.R. (2018). "Konstruktivnie resheniya uzlov opiraniya i krepleniya oblichovochnoy kladki iz gazobetona k karkasu zdaniya". Jurnal Injenerno-stroitelniy vestnik.

ISITISH QURILMASINING AVTOMATIK BOSHQARUV MODELI VA RAQAMLI MODEL NATIJALARINI TAQQOSLASH

Magistrant M.U. Sodiqov

Farg'ona davlat texnika universiteti,
E-mail: mirzoxid.sodiqov@fstu.uz
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-0991-6039
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada ko'p seksiyali qozonxona radiatoriga asoslangan yopiq sikllik issiqlik ta'minoti tizimining eksperimental tajriba qurilmasi tavsiflanadi. ESP32 mikrokontroleri va DS18B20 harorat datchiklari yordamida real vaqt rejimida monitoring amalga oshirilgan. Tajriba natijalari raqamli (sonli) model natijalari va qurilma ko'rsatkichlari bilan uch xil ish rejimida — bypass yopiq, bypass ochiq va o'tish holati — taqqoslangan. Natijalar shuni ko'rsatadiki, raqamli model kirish-chiqish haroratlarini eksperiment va qurilma ma'lumotlariga nisbatan bir oz yuqori baholaydi; bu farqning asosiy sababi modelda real issiqlik yo'qotishlari va gidravlik qarshiliklar*

hisobga olinmagan. Qurilma o'lchov natijalari eksperimental natijalarga yaqin bo'lib, tajriba qurilmasining real sharoitlarni yetarlicha aks ettirishini tasdiqlaydi.

Kalit so'zlar: *issiqlik ta'minoti tizimi; ESP32; DS18B20; YF-S201; bypass ventili; harorat monitoringi; raqamli model; eksperimental taqqoslash; IoT.*

Аннотация. *В данной статье описана экспериментальная установка замкнутой системы теплоснабжения на основе многосекционного радиатора котельной. Мониторинг в реальном времени осуществлялся с использованием микроконтроллера ESP32 и датчиков температуры DS18B20. Результаты эксперимента сопоставлены с результатами численной (цифровой) модели и показаниями устройства в трёх режимах работы — при закрытом байпасе, открытом байпасе и переходном режиме. Полученные результаты показывают, что численная модель несколько завышает значения температур на входе и выходе по сравнению с экспериментальными и измеренными данными; основной причиной данного расхождения является отсутствие учёта реальных тепловых потерь и гидравлических сопротивлений в модели. Измерительные данные устройства близки к экспериментальным результатам, что подтверждает адекватность экспериментальной установки реальным условиям.*

Ключевые слова: *система теплоснабжения; ESP32; DS18B20; YF-S201; байпасный клапан; мониторинг температуры; численная модель; экспериментальное сравнение; IoT.*

Abstract. *This paper describes an experimental setup of a closed-loop heat supply system based on a multi-section boiler radiator. Real-time monitoring was implemented using an ESP32 microcontroller and DS18B20 temperature sensors. The experimental results were compared with the results of a numerical (digital) model and device measurements under three operating modes—bypass closed, bypass open, and transitional state. The results show that the numerical model slightly overestimates the inlet and outlet temperatures compared to experimental and measured data; the main reason for this discrepancy is the lack of consideration of real heat losses and hydraulic resistances in the model. The device measurement results are close to the experimental data, confirming that the experimental setup adequately represents real operating conditions.*

Keywords: *heat supply system; ESP32; DS18B20; YF-S201; bypass valve; temperature monitoring; numerical model; experimental comparison; IoT.*

Kirish

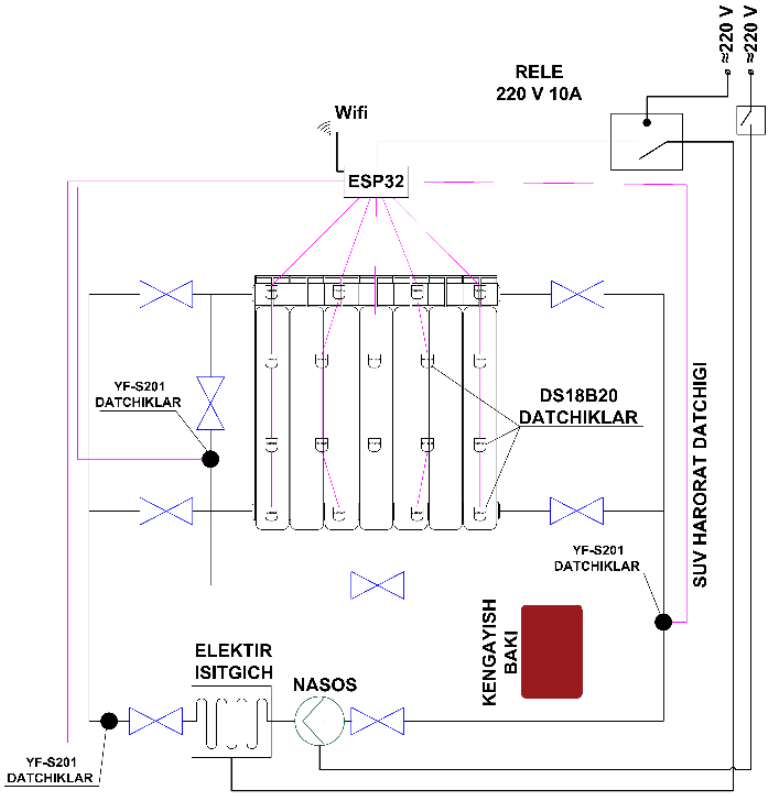
Bino va inshootlarning issiqlik ta'minoti tizimlarini loyihalash va optimallashtirish zamonaviy muhandislikning muhim yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Ushbu sohadagi tadqiqotlar odatda ikkita asosiy yondashuvni o'z ichiga oladi: raqamli (kompyuter) modellashtirish va eksperimental o'lchov. Raqamli modellar tez va arzon natija beradi, ammo ular ko'pincha ideal sharoitlarni qabul qiladi. Eksperimental usullar esa real hodisalarni aniqroq aks ettiradi, lekin murakkab va qimmat bo'lishi mumkin.

So'nggi yillarda IoT (Internet of Things) texnologiyalarining rivojlanishi issiqlik tizimlari monitoringini yangi bosqichga ko'tardi. ESP32 kabi arzon va kuchli mikrokontrollerlar yordamida real vaqtda ko'p nuqtali harorat va oqim ma'lumotlarini yig'ish va uzatish mumkin bo'ldi. Bu imkoniyat raqamli model va eksperimental natijalarni tezkor va aniq solishtirish uchun keng yo'l ochdi.

Ushbu tadqiqotning maqsadi — ko'p seksiyali radiatorga asoslangan avtomatik boshqaruvli issiqlik ta'minoti tizimining tajriba qurilmasidan olingan real o'lchov natijalarini COMSOL Multiphysics muhitida qurilgan raqamli model natijalari bilan taqqoslash hamda ikkala yondashuv orasidagi farqlar sabablarini tahlil qilishdir.

2. MATERIALLAR VA USLUB

1. Tajriba qurilmasi sifatida ko'p seksiyali qozonxona radiatori va yordamchi qurilmalardan iborat yopiq sikllik issiqlik ta'minoti tizimi ishlab chiqildi. Tizim ESP32 mikrokontroleri tomonidan boshqarilib, Wi-Fi orqali real vaqt rejimida monitoring imkonini beradi. Qurilma laboratoriya sharoitida radiatorning harorat taqsimotini, ulash usullari, suyuqlik oqimini va isitgich samaradorligini o'lchash uchun mo'ljallangan.



1-rasm. Qurilmaning prinsipial sxemasi.

Isitish tizimi quyidagi asosiy tamoyilga asoslanadi: elektr isitgich rele orqali boshqarilib suvni qizdiradi; sirkulyatsiya nasosi issiq suv oqimini aylantiradi; bypass ventili tizimning gidravlik rejimini tartibga soladi. Barcha fizik kattaliklar 1 soniyalik diskretlik bilan qayd etiladi va veb-panelda grafik ko'rinishida namoyon etiladi.

1-jadval.

Tajriba qurilmasining tarkibiy qismlari

№	Qurilma nomi	Soni	Texnik xarakteristikasi
1	ESP32 mikrokontroleri	1 dona	Dual-core 240 MHz, Wi-Fi/BT, 3.3 V, 36 pin
2	DS18B20 harorat datchigi	18 dona	−55...+125 °C, ±0.5 °C, 1-Wire, 12-bit
3	YF-S201 oqim datchigi	3 dona	1–30 l/s, 5–24 V, impuls chiqishi
4	Suv harorat datchigi	1 dona	Kirishda o'rnatilgan PT100/NTC sensori
5	Rele moduli	1 dona	220 V / 10 A, opto-izolyatsiya, NO/NC
6	Elektr isitgich	1 dona	220 V, qayta ishga tushuriladigan spiral isitgich
7	Sirkulyatsiya nasosi	1 dona	25–60 W, Grundfos seriyasi yoki analogi
8	Kengayish baki	1 dona	5–10 L, yopiq membranali tip
9	Ko'p seksiyali radiator	1 dona	6 seksiyali, po'lat, vertikal o'rnatish
10	Kran-ventillar	8 dona	Diametr DN15, sferik to'sqich

Tizim quyidagi fizik kattaliklar monitoringini ta'minlaydi: (1) harorat — 18 nuqtada ±0.5 °C aniqlikda; (2) suyuqlik oqimi — uchta nuqtada ±3% aniqlikda; (3) energiya samaradorligi — kirishda o'rnatilgan suv harorat datchigi va oqim datchigi ko'rsatkichlari asosida hisoblanadi.

Radiatorning 3×6 matritsasida joylashtirilgan 18 ta DS18B20 datchigi harorat taqsimotini real vaqtda qayd etadi. ESP32 barcha ma'lumotlarni qayta ishlab, Wi-Fi orqali tarmoqqa uzatadi va veb-interfeys orqali isitilinayotgan sirtning issiqlik xaritasi (heatmap) shaklida vizualizatsiya qiladi.

Isitish tizimining avtomatik boshqaruvi rele chegaralari asosida amalga oshiriladi: isitgich ON ≤ 50.0 °C bo'lganda yonadi, OFF ≥ 60.0 °C bo'lganda o'chadi. Bypass ventili esa kirish harorati belgilangan yuqori chegara (60 °C)dan oshganda avtomatik ravishda ochiladi. Bu gidravlik muvozanat tizimi radiatordan o'tayotgan oqim miqdorini tartibga solib, ortiqcha issiqlik zararini kamaytiradi. Raqamli model COMSOL Multiphysics muhitida issiqligi uzatish va suyuqlik oqimi tenglamalari asosida qurilgan. Modelda 5 qavatli bino issiqlik ta'minot tizimi uchun kirish-chiqish harorat va oqim parametrlari hisoblab chiqilgan. Model ideal gidravlik sharoitni (issiqlik yo'qotishlarsiz, barqaror oqim) faraz qiladi, bu esa real qurilma ma'lumotlari bilan farq kelishiga zamin yaratadi.

3. NATIJALAR VA MUHOKAMA

3.1. Dastlabki holat (baseline)

Tizim yoqilgandan so'ng, isish bosqichiga kirishmasdan oldingi holat — baseline sifatida qayd etildi. Bu bosqichda kirish suvining harorati 24.56 °C (297.71 K), chiqishda esa 23.87 °C (297.02 K) bo'lib, ΔT = 0.69 °C ni tashkil etdi. Radiatordagi o'rtacha harorat (18 datchik bo'yicha) 23.57 °C ni ko'rsatdi — barcha sensorlar deyarli bir xil qiymatni qayd etdi, ya'ni harorat taqsimoti uniform edi. Suv sarfi: qayish — 0.027 l/s, bypass — 0.000 l/s, yuborish — 0.029 l/s.

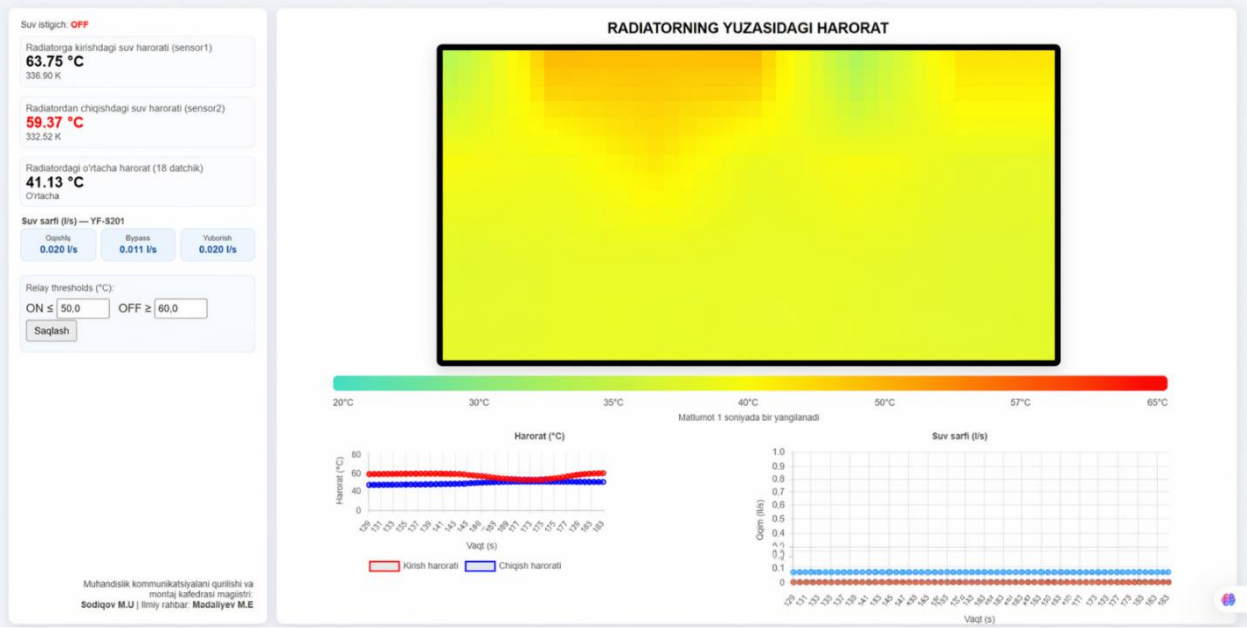
3.2. Bypass yopiq holat (to'liq isish rejimi)

Tizim isish rejimiga to'liq kirganda va bypass ventili yopiq holatda (barcha oqim faqat asosiy radiator orqali) quyidagi ko'rsatkichlar qayd etildi: kirish harorati — 50.12 °C (323.27 K), chiqish harorati — 35.25 °C (308.40 K), ΔT = 14.87 °C. Bu qiymat sezilarli issiqlik uzatishni ko'rsatadi. Radiatordagi o'rtacha harorat 48.74 °C ga yetib, qizil zona chegarasiga yaqinlashdi.

Issiqlik xaritasi bo'yicha radiatorning yuqori qismida sariq-to'q sariq zona (40–50 °C) shakllangan, pastga tomon yashil zona (30–40 °C) ga o'tish kuzatildi. Bu tabiiy konveksion gradientga mos — issiq suv yuqoridan kiradi, sovib pastga tushadi.

3.3. Bypass ochiq holat (aralash gidravlik rejim)

Tizim eng yuqori haroratga yetganda (kirish 63.75 °C, rele OFF sharti bajarilganda) bypass ventili ochildi. Bu holda ΔT = 4.38 °C gacha keskin kamaydi. Radiatordagi o'rtacha harorat 41.13 °C ga tushdi. Suv sarfi: qayish 0.020 l/s, bypass — 0.011 l/s, yuborish — 0.020 l/s. Umumiy oqimning taxminan 35% i bypass orqali o'tib, radiatorni chetlab ketdi.



2-rasm. Web oyna. Qurilmani isitgich yoqilgan va bypass quvuri ochilgan holatda wifi orqali uzatgan ma’lumotlari real vaqtda ko‘rinishi.

Bu holat bypass ventilining issiqlik tizimidagi gidravlik va issiqlik muvozanatiga ta'sirini eksperimental jihatdan namoyish etadi. Bypass ochilganda radiator orqali o'tayotgan oqim kamayishi bilan radiatorning o'rtacha harorati pasayadi, lekin tizim umumiy harorati yuqori saqlanadi.

3.4. Uch usul natijalari taqqoslash jadvali

2-jadval.

Bypass yopiq holatda natijalar taqqoslash (5-qavat, joriy tizim)

Parametr	Sonli model	Eksperiment	Qurilma	Tafovut (S–E)
Kirish harorati, °C	70.00	53.40	50.12	+16.60
Chiqish harorati, °C	64.40	41.00	35.25	+23.40
ΔT (kirish−chiqish), °C	5.60	12.40	14.87	−7.27
O'rtacha harorat, °C	51.80	55.07	48.74	−3.27

3-jadval.

Bypass yopiq holatda natijalar taqqoslash (1-qavat, joriy tizim)

Parametr	Sonli model	Eksperiment	Qurilma	Tafovut (S–E)
Kirish harorati, °C	52.00	44.80	50.12	+7.20
Chiqish harorati, °C	47.80	42.10	35.25	+5.70
O'rtacha harorat, °C	40.40	44.10	48.74	−3.70

4-jadval.

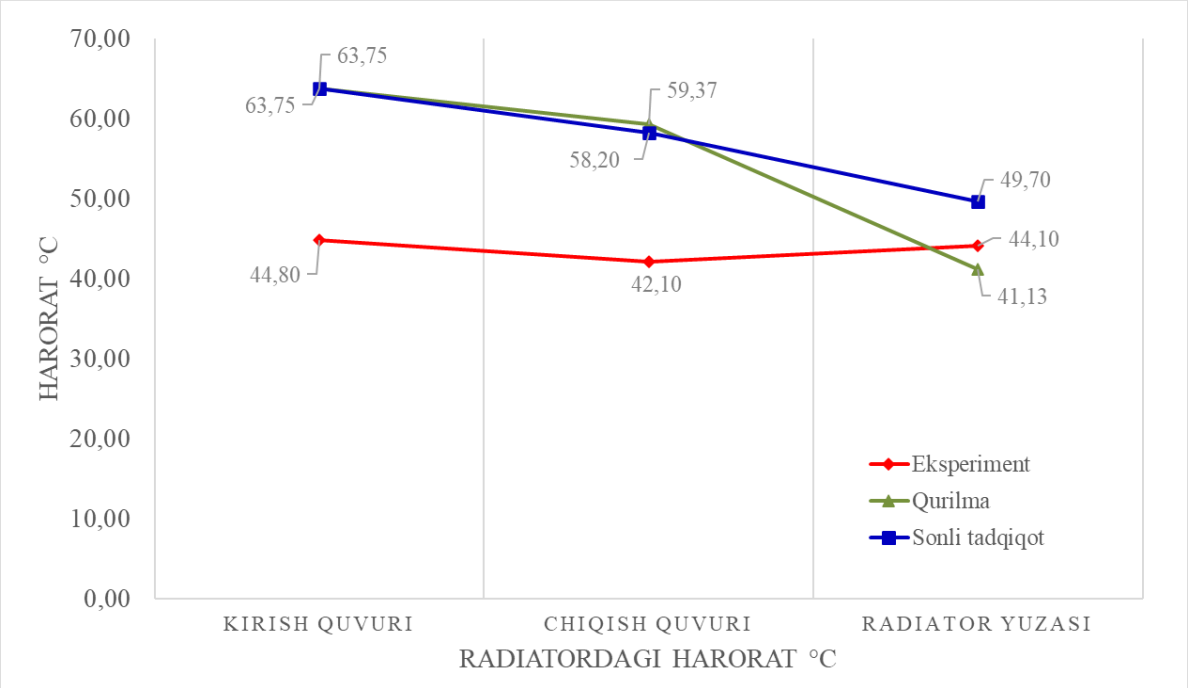
Bypass ochiq holatda natijalar taqqoslash (5-qavat, taklif etilgan tizim)

Parametr	Sonli model	Eksperiment	Qurilma	Tafovut (S–Q)
Kirish harorati, °C	52.00	44.80	63.75	−11.75
Chiqish harorati, °C	59.37	42.10	58.20	+1.17
O'rtacha harorat, °C	49.70	44.10	41.13	+8.57

3.5. Eksperimentlar tahlili

Taqqoslash natijalari shuni ko'rsatadiki, raqamli sonli model kirish va chiqish haroratlarini eksperiment hamda qurilma ko'rsatkichlariga nisbatan sistemali ravishda yuqori baholaydi. Bu farqning asosiy sabablari quyidagilardan iborat. Sonli modelda ideal gidravlik sharoit faraz qilingan real quvurlardagi ishqalanish yo'qotishlari va lokal gidravlik qarshiliklar hisobga olinmagan.

Issiqlik yo'qotishlari (quvurlar yuzasidan, ulagichlar va armaturtadan) raqamli modelda e'tiborga olinmagan, bu esa real va model haroratlar orasida farq hosil qiladi. Tajriba sharoitlari va model uchun qabul qilingan boshlang'ich va chegaraviy shartlar to'liq mos kelmasligi mumkin. Qurilma sensorlarida ±0.5 °C o'lchov noaniqliği va sensorlar o'rnatilishidagi mexanik farqlar natijalar divergentsiyasiga hissa qo'shadi. Shunga qaramasdan, o'rtacha integral harorat ko'rsatkichi uchala usulda yaqin bo'ldi: sonli model — 51.80 °C, eksperiment — 55.07 °C, qurilma — 48.74 °C (5-qavat, bypass yopiq holat). Bu qiymatlarning 6.33 °C diapazonda joylashganligi uchala metodologiyaning integral issiqlik tavsiflashi jihatidan yaxshi muvofiqlashuvini ko'rsatadi.



3-rasm. Olingan natijalarni taqqoslash (5-qavat taklif etilgan tizim).

Qurilma ma'lumotlari bilan eksperimental natijalar orasidagi yaqinlik tajriba qurilmasining real sharoitlarni yetarli darajada aks ettirishini tasdiqlovchi muhim dalil hisoblanadi. Bu esa ESP32 asosidagi IoT monitoring tizimining muhandislik tadqiqotlari uchun ishonchli vosita ekanligi to'g'risida xulosa chiqarishga asos beradi.

4. XULOSA

Ushbu tadqiqotda ko'p seksiyali radiatorga asoslangan avtomatik boshqaruvli issiqlik ta'minoti tizimining tajriba qurilmasi ishlab chiqildi va uning ESP32/DS18B20 asosidagi real vaqt monitoringi amalga oshirildi. Tajriba, sonli model va qurilma natijalari uch xil ish rejimida — bypass yopiq, bypass ochiq va o'tish holati — taqqoslandi.

Tadqiqot natijasida quyidagi xulosalar chiqarildi: (1) raqamli sonli model kirish-chiqish haroratlarini sistemali ravishda yuqori baholaydi — bu ideallashtirish xatosidir; (2) o'rtacha integral harorat jihatidan uch usul yaxshi muvofiqlashadi (6 °C ichida); (3) bypass ventilining ochilishi ΔT ni 14.87 °C dan 4.38 °C gacha kamaytiradi va radiatorning o'rtacha haroratini ~7 °C ga pasaytiradi; (4) tajriba qurilmasining real sharoitlarga yaqinligi IoT monitoring tizimining ishonchliligi bilan isbotlandi.

Kelgusi tadqiqotlarda sonli modelga real gidravlik qarshiliklar va issiqlik yo'qotishlari parametrlarini kiritish orqali model aniqligini oshirish, shuningdek nanofluidlar (Al_2O_3/suv) qo'shimchasi ta'sirini eksperimental va raqamli usulda o'rganish rejalashtirilmoqda.

Adabiyotlar

[1]. Incropera F.P., DeWitt D.P., Bergman T.L., Lavine A.S. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 7th ed. — Hoboken: Wiley, 2011. — 1048 p.

[2]. Comsol Multiphysics Reference Manual. Version 6.1. — Stockholm: COMSOL AB, 2022.

[3]. Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual. — Shanghai, 2023. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf

[4]. Dallas Semiconductor. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. Datasheet. — 2019.

[5]. Chamkha A.J., Dogonchi A.S., Ganji D.D. Magnetohydrodynamic nanofluid natural convection in a cavity under thermal radiation and shape factor of nanoparticles impacts // ASME Journal of Thermal Science and Engineering Applications. — 2019. — Vol. 11, № 2.

[6]. Madaliyev M.E., Sodiqov M.U. Ikki o‘lchamli fazoda keskin kengaygan bir pog‘onali kanal orqali suyuqlik oqimining sonli tadqiqoti “Yosh olimlar” respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi materiallari to‘plami. – in-academy.uz, 2026. – DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.18638510

[7]. Orzimatov J.T., Sodiqov M.U. Kesim yuzasi turlicha bo‘lgan havo o‘tkazgichlarda bosim yo‘qotilishini o‘rganish // “Zamonaviy ilm-fan va ta’lim istiqbollari” ko‘p tarmoqli ilmiy-amaliy konferensiyasi. – 2025. – DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.15399643

[8]. Sodiqov M.U. Issiqlik ta'minoti tizimini optimallashtirish uchun matematik modellashtirish yondashuvi // “Energiya va resurs tejamkor binolar qurilishida, zamonaviy qurilish materiallari va texnologiyalari” mavzusidagi Xalqaro ilmiy va ilmiy-texnik konferensiya materiallari to‘plami. – Farg‘ona politexnika instituti, 2026.

[9]. Abdukarimov B.A., Sodiqov M.U. Jamoat binolarida issiqlik balansini to‘g‘ri taqsimlashning konstruktiv yechimini ishlab chiqish mavzusi bo‘yicha o‘rganilgan adabiyotlar tahlili // Farg‘ona politexnika instituti ilmiy-texnika jurnali. – Farg‘ona, 2025. – Maxsus son №2. – ISSN 2181-7200.

[10]. Maqsudov R.I., Sodiqov M.U. Issiqlik tarmog‘idagi yo‘qotiladigan issiqlikning izolyatsiyasi qilingan turli xil quvurlarda tahlil qilish // “XXI asrda innovatsion texnologiyalar, fan va ta’lim taraqqiyotidagi dolzarb muammolar” mavzusidagi ilmiy-amaliy anjuman. 2024. 2-tom, 10-son.

[11]. Madaliyev E.O‘., Sodiqov M.U. Issiqlik izolyatsiyasining samaradorligini oshirish // “Qurilishda energiya samaradorlikni oshirishning istiqboldagi vazifalari” mavzusidagi Respublika anjumani materiallari to‘plami. – Toshkent, 2024. – 24-noyabr.

[12]. Madaliyev E.O‘., Sodiqov M.U. Issiqlik izolyatsiyasining samaradorligini oshirish // “Energiya va resurs tejamkor binolar qurilishida, zamonaviy qurilish materiallari va texnologiyalari” mavzusidagi Xalqaro ilmiy va ilmiy-texnik konferensiya materiallari to‘plami. – Farg‘ona politexnika instituti, 2026.

[13]. Sodiqov M.U., Madaliyev M.E. Bir quvurlik isitish tizimida baypas qo‘llash orqali isitish samaradorligini oshirish “Farg‘ona vodiysida yer resurslari, atrof-muhit va qattiq chiqindilarning hozirgi holati va zamonaviy innovatsion texnologiyalar asosida rivojlantirish istiqbollari” mavzusidagi Xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to‘plami. Farg‘ona, 2025. B. 522-525.

UDK 620.91, 548

QISHLOQ XO‘JALIGIDA SHAMOL POTENSIALIDAN FOYDALANISH: ISSIQXONA MISOLIDA

D.T. Yusupov1*, F.T. Yusupova2

[1]*Qayta tiklanuvchi energiya manbalari milliy ilmiy-tadqiqot instituti*
[2] *Farg‘ona davlat texnika universiteti*
**Mas’ul muallif, e-mail: dilshod8006@mail.ru*
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotasiya. *Maqola qayta tiklanuvchi energiya manbalari turiga kiruvchi shamol potensialidan qishloq xo‘jaligida foydalanish orqali issiqxonani elektr energiya bilan ta’minlashga qaratilgan. Tadqiqotlar Toshkent viloyatida joylashgan Mahmud Mirzayev nomidagi bog‘dorchilik, uzumchilik va vinochilik ilmiy-tadqiqot instituti poligonning issiqxonasida o‘tkazilgan. Yillik shamol tezliklari asosida shamol elektr stansiyasida ishlab chiqariladigan elektr energiyasining bir kunlik miqdori hisoblangan. Shamol elektr stansiyasi tomonidan issiqxonada kuniga o‘rtacha 4 kW·soat elektr energiyasi ishlab chiqarilgan.*

Kalit so‘zlar: *qayta tiklanuvchi energiya manbalari, shamol potensiallari, elektr energiyasi, shamol energiyasi, shamol tezligi, meteorologik kuzatuv, rotor, quvvat, machta, flanetst, shamol generatori*

Аннотация. *Статья посвящена использованию ветрового потенциала, относящегося к возобновляемым источникам энергии, в сельском хозяйстве для обеспечения теплицы электрической энергией. Исследования проводились в теплице полигона Научно-исследовательского института садоводства, виноградарства и виноделия имени Махмуда Мирзаева, расположенного в Ташкентской области. На основе годовых скоростей ветра было рассчитано суточное количество электрической энергии, вырабатываемой ветроэлектростанцией. Установлено, что ветроэлектростанция в среднем производит около 4 кВт·ч электрической энергии в сутки для теплицы.*

Ключевые слова: *возобновляемые источники энергии, ветровой потенциал, электрическая энергия, ветровая энергия, скорость ветра, метеорологические наблюдения, ротор, мощность, мачта, фланец, ветровой генератор.*

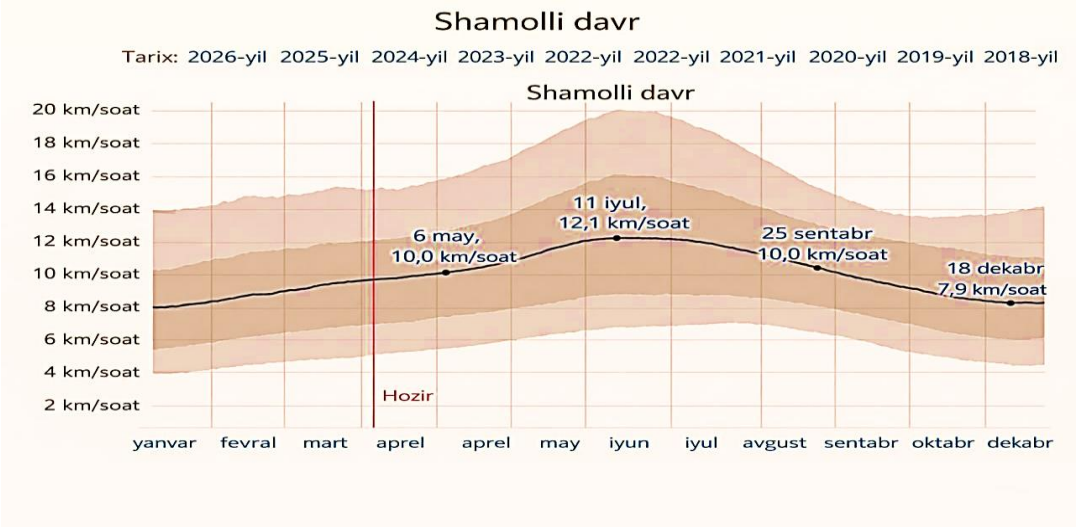
Abstract. *The article is devoted to the use of wind potential, which belongs to renewable energy sources, in agriculture to supply a greenhouse with electrical energy. The research was carried out in a greenhouse at the experimental site of the Research Institute of Horticulture, Viticulture and Winemaking named after Mahmud Mirzayev, located in the Tashkent region. Based on annual wind speed data, the daily amount of electrical energy generated by a wind power plant was calculated. It was determined that the wind power plant produces on average about 4 kWh of electrical energy per day for the greenhouse.*

Keywords: *renewable energy sources, wind potential, electrical energy, wind energy, wind speed, meteorological observations, rotor, power, mast, flange, wind generator.*

1. Kirish. Dunyoda qayta tiklanuvchi energiya manbalari, ayniqsa shamol energiyalariga bo‘lgan talab kundan kunga ortib bormoqda. So‘nggi besh yil ichida shamol energiyasining global o‘sish sur’ati yiliga 34 % ni tashkil etdi [1]. Shamol nafaqat eng tez rivojlanayotgan qayta tiklanadigan energiya texnologiyasi, balki eng tez rivojlanayotgan elektr energiyasi manbai ham hisoblanadi. Dunyo miqyosida, 2003 yil oxirida o‘rnatilgan shamol energiyasi quvvati taxminan 39000 MW ni tashkil etdi, shundan Germaniyada 14609 MW (37 %), Qo‘shma Shtatlarda 6374 MW (16 %), Ispaniyada 6202 MW (16 %) va Daniyada 3110 MW (8 %). Hozirgi kiunda shamol energiyasi Daniya va Germaniya elektr energiyasining mos ravishda 20 % va 6 % ni ta’minlaydi [2].

Darhaqiqat, shamol energiyasi dunyo elektr energiyasining atigi 0,54 % ni ishlab chiqaradi. Shamol energiyasini keng ko‘lamda joriy etishda ikkita asosiy to‘siqlar mavjud: (1) shamollarning uzluksizligi va (2) rivojlanayotgan mamlakatlarda shamol mavjud joylarini aniqlashdagi qiyinchilik. Birinchi to‘siqni bir nechta shamol elektr stansiyalarini kombinatsiyalash orqali yengillashtirish mumkin [3].

O‘zbekistonda ham qayta tiklanuvchi energiya manbalariga o‘tish bo‘yicha dadil qadam tashlanmoqda. Toshkentda o‘rtacha soatli shamol tezligi yil davomida mavsumiy o‘zgarib turadi. Yilning eng shamolli qismi 4 - 6 oylarga to‘g‘ri keladi, 6 maydan 25 sentyabrgacha, o‘rtacha shamol tezligi soatiga 10 kilometrdan oshadi. Toshkentda yilning eng shamolli oyi iyul bo‘lib, o‘rtacha soatli shamol tezligi soatiga 12,1 kilometrni tashkil qiladi. Yilning eng sokin qismi 7 yoki 4 oy, ya’ni 25 sentyabrdan 6 maygacha davom etadi. Toshkentda yilning eng sokin oyi dekabr bo‘lib, o‘rtacha soatli shamol tezligi soatiga 8 kilometrni tashkil qiladi [4].



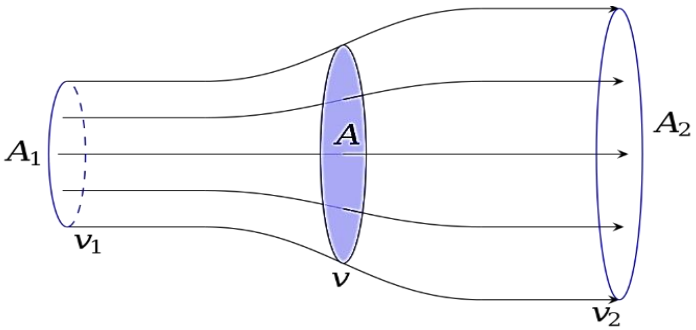
1-rasm. Toshkentdagi o‘rtacha shamol tezligi [4].

Toshkent hududidagi ko‘p yillik meteorologik kuzatuvlar shuni ko‘rsatadiki, shamol tezligi yil davomida nisbatan past va o‘rtacha qiymatlarda o‘zgarib turadi. Masalan, o‘rtacha shamol tezligi taxminan 5–7 m/s (≈4.5–5.5 m/s) atrofida bo‘lib, eng shamolli davr may–sentabr oylariga to‘g‘ri keladi, iyul oyida esa maksimal qiymat kuzatiladi. Shu bilan birga, qish faslida shamol tezligi ancha pasayadi va energetik salohiyat kamayadi.

Tadqiqotning maqsadi issiqxonada shamol potensialidan foydalanish orqali avtonom, ekologik toza elektr energiya ishlab chiqarish va qishloq xo‘jaigida “yashil“ texnologiyalarni joriy etishdan iborat.

1. Tadqiqot usuli. Shamol o‘zining yo‘nalishi va tezligiga ega. Shamol energiyasini elektr energiyaga aylantirish uchun generatordan foydalaniladi. Bunda kinetik energiyaga ega bo‘lgan havo massalari turbinaning parrak rotorini aylantira boshlaydi. Buning natijasida energiyaning bir qismi rotorga beriladi, havo massalarining o‘zlari esa pasaygan tezlikda turbinadan tashqariga chiqib ketadi [5-7].

Turbinaning shamoldan olayotgan quvvatini hisoblaymiz. 1-rasmda turbinaga shamol yo‘nalishiga ko‘ndalang joylashgan A_1 yuzadan v_1 tezlik bilan kirib kelayotgan havo massalari parraklarining yuzasi A bo‘lgan rotordan v tezlik bilan o‘tishini va A_2 yuzaga v_2 tezlik bilan harakatlanishini ko‘rsatadigan sxematik chizmasi keltirilgan.



2-rasm. Shamol turbinasining quvvatini hisoblashning sxematik chizmasi.

Massaning saqlanish qonuni bo‘yicha turbinaga qarab harakat qilayotgan havo qatlamlari o‘z yonalishida vaqt birligidagi massa sarfini o‘zgarmas holda saqlab turishi kerak, ya’ni:

$$\dot{m} = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \text{const.}$$

Agar massani zichlik va hajmi, hajmni esa ko‘ndalang yuza va siljish bilan almashtirsak, ya’ni $\Delta m = \rho \cdot A \cdot \Delta x$, u holda:

$$\dot{m} = \rho \cdot A_1 \cdot \frac{\Delta x_1}{\Delta t} = \rho \cdot A \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t} = \rho \cdot A_2 \cdot \frac{\Delta x_2}{\Delta t},$$

Bu yerda: A_1 va Δx_1- turbina oldidagi havo qatlamining ko‘ndalang yuzasi va siljishi;

A va Δx- turbina ichidagi havo qatlamining ko‘ndalang yuzasi va siljishi;

A_2 va Δx_2- turbina orqasidagi havo qatlamining ko‘ndalang yuzasi va siljishi.

Endi siljishning vaqt oralig‘iga nisbati tezlik, ya’ni $v_1 = \frac{\Delta x_1}{\Delta t}$, $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ va $v_2 = \frac{\Delta x_2}{\Delta t}$ ekanligini hisobga olsak, u holda massa sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$\dot{m} = \rho \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho \cdot A \cdot v = \rho \cdot A_2 \cdot v_1, \quad (1)$$

Bu yerda: v_1, v va v_2 – havo qatlamlarining turbina oldidagi, ichidagi va chiqishidagi tezliklari.

Havo qatlamlarinig harakat yo‘nalishidagi quvvatlarini hisoblamiz. Bunda uning kinetik energiyasini hisoblaydigan formulasidan foydalanamiz:

$$E = \frac{mv^2}{2}.$$

Agar ularning tezligi v ni vaqt davomida o‘zgarmas deb qabul qilsak, havo massalarining birlik vaqt ichidagi energiyasi, ya’ni quvvati quyidagicha topiladi:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\Delta\left(\frac{mv^2}{2}\right)}{\Delta t} = \frac{\Delta m}{\Delta t} \cdot \frac{v^2}{2} = \frac{\dot{m}v^2}{2}. \quad (2)$$

Massa sarfi $\dot{m}$ ning o‘rniga (1) ifodadan uning qiymatini (2) ifodaga qo‘yib, uchta holatdan biri, masalan, turbinaning ichi uchun quvvatni hisoblash uchun formulaga ega bo‘lamiz:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3. \quad (3)$$

Ushbu quvvat turbina ichidagi havo qatlamlarining quvvati bo‘lib, turbina undan olayotgan va uning rotorida hosil bo‘layotgan quvvatni topish uchun rotor tomonidan havo massalariga ko‘rsatilgan kuchni topamiz:

$$F = ma = m\frac{\Delta v}{\Delta t} = \rho \cdot A \cdot \Delta x \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = \rho \cdot A \cdot \Delta v \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t}.$$

Ifodadagi tezlikning orttirmasi – bu turbina oldidagi va chiqishidagi havo qatlamlari tezliklarining ayirmasi, ya’ni $\Delta v = v_1 - v_2$ hamda $\frac{\Delta x}{\Delta t} = v$ ekanliklarini hisobga olsak, formula quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$F = \rho \cdot A \cdot v \cdot (v_1 - v_2). \quad (4)$$

Bu kuch turbinaning rotorida qo‘shimcha ish bajaradi, havo massalari energiyasining bir qismini rotorga o‘tkazadi. Rotorda hosil bo‘ladigan quvvat bajarilayotgan qo‘shimcha ishning hosilasi sifatida topiladi:

$$P = \frac{d(F \cdot x)}{dt} = F \cdot \frac{dx}{dt} = F \cdot v = \rho \cdot A \cdot v^2 \cdot (v_1 - v_2). \quad (5)$$

Turbina rotoridagi quvvatni energiyani saqlanish qonuni orqali topishimiz mumkin. Agar turbinaga yo‘nalgan havo qatlamining energiyasi turbinadan chiqib ketayotgan havo qatlamining energiyasini ayirsak, turbinaga yo‘naltirilgan energiyani, uni vaqt orttirmasiga bo‘lsak, turbinada hosil bo‘layotgan quvvatni topamiz:

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{W_1 - W_2}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2}m(v_1^2 - v_2^2)}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2}\rho A \Delta x(v_1^2 - v_2^2)}{\Delta t} = \frac{1}{2}\rho A v(v_1^2 - v_2^2). \quad (6)$$

Turbinadagi quvvat uchun topilgan ikkala ifodani teng kuchli bo‘lgani uchun ularni bir biriga tenglaymiz:

$$\rho \cdot A \cdot v^2 \cdot (v_1 - v_2) = \frac{1}{2}\rho A v(v_1^2 - v_2^2)$$

va olingan ifodani v tezlikka nisbatan yechamiz:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2}. \quad (7)$$

Erishilgan natijani (6) ifodaga qo‘yamiz va unda bir qator o‘zgarishlar qilamiz:

$$P = \frac{1}{4}\rho A(v_1 + v_2)(v_1^2 - v_2^2) = \frac{1}{4}\rho A(v_1^3 - v_1 v_2^2 + v_2 v_1^2 - v_2^3) =$$

$$\frac{1}{4}\rho A v_1^3\left(1 - \frac{v_2^2}{v_1^2} + \frac{v_2}{v_1} - \frac{v_2^3}{v_1^3}\right) = \frac{1}{4}\rho A v_1^3\left[1 + \frac{v_2}{v_1} - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^3\right]. \quad (8)$$

Quvvatning maksimum qiymatga erishish nuqtasini topish uchun (8) ifodadan $\frac{v_2}{v_1}$ bo‘yicha hosila olamiz va uni nulga tenglaymiz:

$$\frac{dP}{d\frac{v_2}{v_1}} = \frac{1}{4}\rho A v_1^3\left[1 - 2\frac{v_2}{v_1} - 3\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2\right] = 0.$$

Kvadrat qavslar ichidagi kvadrat tenglamaning ildizlaridan bittasi -1 ga teng va u fizik ma’noga ega emas. Ikkinchisi esa $\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3}$ ga teng, bu degani, v_2 tezlik dastlabki v_1 tezlikning uchdan biriga teng bo‘lgandagina turbinadagi quvvatning qiymati maksimumga erishadi.

Topilgan $\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3}$ natijani (8)-ifodaga qo‘yamiz va turbinadagi maksimal quvvatni aniqlaymiz:

$$P_{max} = \frac{1}{4}\rho A v_1^3\left[1 + \frac{1}{3} - \left(\frac{1}{3}\right)^2 - \left(\frac{1}{3}\right)^3\right] = \frac{16}{27}\cdot\frac{1}{2}\rho A v_1^3. \quad (9)$$

(9) ifodadan ko‘rinib turibdiki, turbinada qolayotgan energiyaning faqat $\frac{16}{27} \div \frac{8}{9} = \frac{2}{3}$ qismi turbinada o‘zlashtiradi. Bu ifodadagi $\frac{16}{27}$ sonli nisbat quvvat koeffisienti C_{Pmax} bilan belgilanadi. Quvvat P ning shamol quvvati P_{Shamol} ga nisbati sifatida topiladi:

$$C_P = \frac{P}{P_{shamol}}.$$

1. Eksperiment natijalari va uning muhokamasi. Toshkent viloyatida joylashgan Mahmud Mirzayev nomidagi bog‘dorchilik, uzumchilik va vinochilik ilmiy-tadqiqot instituti poligonining issiqxonasi tadqiqot ob’ekti sifatida tanlab olindi. Ushbu hududda shamol energetik qurilmasini o‘rnatish uchun metall machta (ustun) konstruksiyasi ishlab chiqildi. Machta sifatida uzunligi 12 metr va diametri 76 mm teng bo‘lgan temir truba tanlab olindi. Uning yuqori qismiga flanets payvand qilindi. Mazkur flanets shamol turbinasi konstruksiyasida mavjud bo‘lgan flanetsga bolt va gaykalar mustahkam biriktirildi. Ustunning o‘rta qismidan to‘rt tomonga yo‘naltirilgan holda qalin simlar yerga mahkamlandi. Ushbu qo‘shimcha mustahkamlash tizimi machtaning turg‘unligini ta’minlab, kuchli shamol bo‘lganda ishonchli ishlashini kafolatlaydi.

3-rasm. Quvvati 1 kW ga teng bo’lgan shamol turbinasining ko‘rinishi.

Shamol energiyasi o‘zgaruvchanligini hisobga olgan holda, ishlab chiqarilgan elektr energiyani to‘g‘ridan-to‘g‘ri iste’molchilarga uzatish samarali emas, shu sababli elektr energiyani uzluksizligini ta’minlash maqsadida maxsus elektr zanjiri qo‘llaniladi. Ushbu tizimda shamol turbinasida hosil bo‘lgan elektr energiyasi kontroller orqali boshqariladi. Kontrollerning asosiy vazifasi — energiya oqimini tartibga solish, ortiqcha zaryadlanish yoki razryadlanishning oldini olishdan iborat. Keyingi bosqichda elektr energiyasi akkumulyatorlarda jamlanadi, ya’ni energiya zaxirasi hosil qilinadi.

4-rasm. Shamol elektr stansiyasini funksional sxemasi.

Akkumulyatorda to‘plangan energiya esa invertor yordamida o‘zgarmas tokni o‘zgaruvchan tokka aylantiriladi va shu orqali issiqxonadagi LED chiroqlarga uzatiladi. Bu esa yorug‘lik tizimining shamol tezligiga bog‘liq bo‘lmagan holda, barqaror va uzluksiz ishlashini ta’minlaydi.

Issiqxonada o‘simliklarning o‘sishi va rivojlanishi uchun yorug‘lik muhim hisoblanadi. Kunduzgi quyosh nuridan, kechqurun elektr chiroqlaridan foydalanish o‘simliklarning fotosintez jarayonini uzaytirishga yordam beradi va hosildorlikni oshiradi. Issiqxona energiya tejamkor va uzoq muddat xizmat qiladigan LED lampalar bilan jihozlangan. Har biri 20 W quvvatga ega bo‘lgan jami 20 dona lampa tanlandi. Bu esa umumiy hisobda 400 W quvvatli yorug‘lik tizimini tashkil yetadi. LED lampalarning afzalligi shundaki, ular energiya kam sarflaydi, issiqlik kam chiqaradi va o‘simliklar uchun zarur bo‘lgan yorug‘lik spektrini ta’minlay oladi. Bundan tashqari, mazkur yorug‘lik tizimi an’anaviy elektr tarmog‘idan, balki shamol elektr stansiyasi orqali ta’minlanadi. Bu esa energiyani tejash, qayta tiklanuvchi manbalardan samarali foydalanish va atrof-muhitni muhofaza qilish uchun juda muhimdir.

Hududida o‘lchangan shamol tezliklarining ma’lumotlari statistik va energetik jihatdan qayta ishlandi. Olingan ma’lumotlar asosida shamol oqimining energetik potensiali baholanib, turli nominal quvvatga ega bo‘lgan shamol elektr stansiyalarining ishlashi tahlil qilindi (1-jadval).

1-jadval.

Yillik shamol tezliklari asosida ShESda ishlab chiqariladigan elektr energiyasining bir kunlik miqdori

Oylar	**Kunlar soni**	**Toshkentdagi shamol tezligi, km/h**	**Bog‘dorchilikdagi shamol tezligi, m/s**	**E=0.5 kWh**	**E=1 kWh**	**E=1.5 kWh**
Yanvar	31	8	4.444444	2.438653	4.877305	7.315958
Fevral	28	8.8	4.888889	3.245847	6.491693	9.73754
Mart	30	9.3	5.166667	3.831147	7.662294	11.49344
Aprel	30	9.7	5.388889	4.347056	8.694111	13.04117
May	31	10.3	5.722222	5.204652	10.4093	15.61395
Iyun	30	11.4	6.333333	7.056584	14.11317	21.16975
Iyul	31	12.1	6.722222	8.437933	16.87587	25.3138
Avgust	31	11.4	6.333333	7.056584	14.11317	21.16975
Sentabr	30	10.3	5.722222	5.204652	10.4093	15.61395
Oktabr	31	9.2	5.111111	3.708886	7.417772	11.12666
Noyabr	30	8.3	4.611111	2.723418	5.446835	8.170253
Dekabr	31	8	4.444444	2.438653	4.877305	7.315958

Yuqorida keltirilgan 1-jadvalda shamol tezliklarini tahlili asosida issiqxonalar uchun shamol elektr stansiyasi quvvatini tanlash muhim hisoblanadi. Chunki shamol tezligi kam va o‘zgaruvchan sharoitlarda yuqori quvvatli generatorlar ishlamasligi mumkin. Olib borilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, Toshkent hududida o‘rtacha shamol tezligi 4–5 m/s atrofida bo‘lib, bu hudud shamol energetikasi jihatidan yuqori salohiyat ega emas, shu sababli issiqxonalar uchun ShES quvvatini tanlashda quyidagi yondashuvlar maqsadga muvofiq hisoblanadi:

- past tezliklarda ishlaydigan (low cut-in speed) shamol generatorlarini tanlash;
- o‘rtacha quvvati kichik (masalan, 0.5 – 2 kW) bo‘lgan qurilmalardan foydalanish;
- energiya ta’minotini barqarorlashtirish uchun akkumulyator yoki gibrid (quyosh + shamol) tizimlardan foydalanish.

Quvvati 0,5 kW dan 1,5 kW gacha bo‘lgan ShESlar uchun oylar kesimida ishlab chiqariladigan elektr energiyasi miqdori hisoblab chiqildi. Hisoblash jarayonida shamol tezligining oylik o‘rtacha qiymatlari, ularning taqsimoti, qurilmaning ishga tushish (cut-in) tezligi, nominal ishlash rejimi va texnik-ekspluatatsion parametrlar inobatga olindi.

Olib borilgan hisob-kitoblar natijasida har bir quvvat uchun oylik elektr energiyasi ishlab chiqarish miqdorlari aniqlanib, ularning o‘zaro taqqoslash tahlili amalga oshirildi. Mazkur tahlil asosida hudud sharoiti uchun eng maqbul quvvatga ega bo‘lgan shamol elektr stansiyasini tanlash imkoniyati yaratildi.

Yuqoridadagi tahlil natijalariga asoslanib, issiqxonada o‘rnatilgan yorug‘lik tizimining energiya talabini aniqlash mumkin. Jumladan, jami quvvati 400 W bo‘lgan LED chiroqlarni sutka davomida kamida 10 soat ishlatish zarurligi hisobga olindi.

Mazkur holatda elektr energiyasi sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$E = P \times t = 400\ W \times 10\ soat = 4000\ W/soat = 4\ kW/soat$$

Demak, issiqxonadagi LED yorug‘lik tizimini barqaror ravishda ta’minlash uchun bir kunda o‘rtacha 4 kW·soat elektr energiyasi talab etiladi.

Yuqorida keltirilgan hisob-kitoblar va 1-jadval berilgan ma’lumotlarga asoslanib, issiqxonadagi yorug‘lik tizimi uchun sutkalik 4 kW·soat elektr energiyasi talab etilishi aniqlandi. Olib borilgan taqqoslash tahlillari shuni ko‘rsatadiki, energiya ehtiyojini qoplash uchun nominal quvvati 1 kW bo‘lgan shamol elektr stansiyasidan foydalanish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Tanlangan 1 kW li ShES qurilmasi mavjud shamol resurslari yetarli darajada elektr energiya ishlab chiqarish imkoniyatiga ega bo‘lib, u issiqxonadagi LED yorug‘lik tizimining uzluksiz ishlashini ta’minlay oladi.

5-rasm. Issiqxonaning ko‘rinishi.

4. Xulosa. Issiqxonada shamol potensialidan foydalanish energetik muammolarni hal etishda muhim va istiqbolli yo‘nalishlardan biridir. Shamol energiyasi qayta tiklanuvchi, ekologik toza va iqtisodiy jihatdan samarali manba bo‘lib, uni issiqxonalarda qo‘llash orqali energiya ta’minotining barqarorligini oshirishga erishiladi. Toshkent hududiga shamol energetik qurilmani o‘rnatish orqali issiqxonadagi yoritish tizimlari elektr energiya bilan ta’minlandi. Bu esa an’anaviy energiya manbalariga bo‘lgan qaramlikni kamaytiradi va ishlab chiqarish xarajatlarini pasaytiriadi.

Adabiyotlar

[1]. Archer, CL (2004), The Santa Cruz Eddy and U.S. wind power, PhD. Thesis, 190 pp., Stenford Univ., Stenford, Calif., 1 April.

[2]. Cistina L. Archer and Mark Z. Jacabson. Evaluation of qlobal wind power. Jurnal of geophysical research, vol.110, D12110, doi: 10.1029/2004JD005462, 2005.

[3]. Archer C.L., and M.Z. Jacabson (2003). Spatial and temporal distribution of U.Z. winds and power at 80 m derived from measurements, J.Geophux. Rex, 108(D9), 4289, doi: 10.1029/20002JD002076.

[4]. Климат и средняя погода круглый год в Ташкент // https://ru.weatherspark.com

[5]. Zakhidov R.A., Tadjiev U.A., Makhammadiev F.M., Yusupov E.T. On the possibilities of renewable energy in ensuring energy security of Uzbekistan. Part 1 // Applied Solar Energy. 2024. Vol. 60. P. 755–765.

[6]. Zakhidova R.A., Tadjieva U.A., Makhammadieva F.M., Yusupova E.T. On the Possibilities of Renewable Energy in Ensuring the Energy Security of Uzbekistan. Part 2 // Applied Solar Energy. 2025. Vol. 61. P. 58–71.

[7]. Zakhidov R.A., Tajiyev U.A., Kiseleva E.I., Yusupov Dm.T, Yusupov Dsh.T., Salievb G. S., Gorobtsov S. I. On the Possibility of Sustainable Energy and Water Supply f Low-Rise Residential Buildings Located in Areas with an Arid Climate using Combined Wind and Solar Photovoltaic Power Complexes of Low Power //Applied Solar Energy, 2022, Vol. 58, No. 1, pp. 159–164.

UDK 620.9:658.26

ENERGETIK TEKSHIRUV OB'EKTINING UMUMIY XARAKTERISTIKALARI

D.A. Badalova, H.Z. Nazirova, K.B. Yembergenova, F.T. Auezbaeva

Islom Karimov nomidagi Toshket davlat texnika universiteti
Mas'ul muallif, e-mail: fauezbaeva@gmail.com
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya: *Mazkur maqolada energetik tekshiruv ob'ektining umumiy xarakteristikalari sanoat korxonasi misolida batafsil yoritilgan. Energetik audit jarayonida korxonaning texnik holati, elektr, issiqlik, gaz va suv ta'minoti tizimlari, shuningdek energiya iste'moli ko'rsatkichlari va ekspluatatsion omillar tahlil qilinadi. Maqolada energiya yo'qotishlarini aniqlash, samaradorlikni oshirish va energiya tejamkorligini ta'minlashga qaratilgan tavsiyalar ishlab chiqilgan. Ushbu tadqiqot sanoat korxonalari uchun energiya resurslaridan oqilona foydalanish va iqtisodiy samaradorlikni oshirish imkonini beradi.*

Kalit so'zlar*:energetik tekshiruv, energoaudit, sanoat korxonasi, energiya iste'moli, energiya samaradorligi, muhandislik tizimlari, elektr energiyasi, issiqlik tizimi, gaz ta'minoti, suv ta'minoti, energiya yo'qotishlari, tejamkor texnologiyalar, energiya monitoringi, ish rejimi, ekspluatatsion omillar.*

Аннотация: *В данной статье подробно рассматриваются общие характеристики объекта энергетического аудита на примере промышленного предприятия. В процессе энергоаудита анализируется техническое состояние предприятия, включая системы электроснабжения, отопления, газоснабжения и водоснабжения, а также показатели потребления энергии и эксплуатационные факторы. Разработаны рекомендации, направленные на выявление потерь энергии, повышение эффективности и обеспечение энергосбережения. Данное исследование предоставляет промышленным предприятиям практические рекомендации для рационального использования энергии и повышения экономической эффективности.*

Ключевые слова: *энергоаудит, энергетическая эффективность, промышленное предприятие, потребление энергии, энергосбережение, инженерные системы, электроснабжение, система отопления, газоснабжение, водоснабжение, потери энергии, энергосберегающие технологии, мониторинг энергии, режим работы, эксплуатационные факторы.*

Annotation: *This article provides a detailed analysis of the general characteristics of an energy audit object, using an industrial enterprise as an example. The energy audit examines the technical condition of the enterprise, including electricity, heat, gas, and water supply systems, as well as energy consumption indicators and operational factors. The study develops recommendations aimed at identifying energy losses, improving efficiency, and ensuring energy conservation. This research provides industrial enterprises with practical guidance for rational energy use and enhancing economic efficiency.*

Keywords: *energy audit, energy efficiency assessment, industrial enterprise, energy consumption, energy efficiency, engineering systems, electricity supply, heat system, gas supply, water supply, energy losses, energy-saving technologies, energy monitoring, operational regime, operational factors.*

1. Kirish. Bugungi kunda energiya resurslarining cheklanganligi va ularning narxining doimiy oshishi sanoat korxonalari faoliyatida energiya samaradorligini oshirishni dolzarb masalaga aylantirmoqda [1, 2]. Sanoat ishlab chiqarish jarayonlari katta hajmdagi elektr, issiqlik, gaz va suv resurslarini talab qiladi, shuning uchun energiya yo'qotishlarini kamaytirish va tejamkor tizimlarni joriy etish iqtisodiy va ekologik jihatdan muhimdir [3].

Energetik tekshiruv yoki energoaudit — bu ob'ektning energiya resurslarini ishlatish samaradorligini baholash, yo'qotishlarni aniqlash va energiya tejash imkoniyatlarini ishlab chiqish jarayoni hisoblanadi [4]. Energetik tekshiruv jarayoni binolar, ishlab chiqarish inshootlari va muhandislik tizimlarining texnik holatini, energiya ta'minoti tizimlarini, energiya iste'moli ko'rsatkichlarini va ekspluatatsion omillarni kompleks tarzda o'rganishni talab qiladi. Sanoat korxonalarida energetik auditning ahamiyati yuqori bo'lib, u orqali ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish, energiya tejamkorligini oshirish va ekologik xavfsizlikni ta'minlash mumkin. Energetik audit natijalari asosida energiya samaradorligini oshirish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqiladi, masalan, uskunalarni yangilash, avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarini joriy etish yoki tashqi devor va derazalarning izolyatsiyasini yaxshilash va x.k. Shu sababli, maqola

maqsadi — sanoat korxonasi misolida energetik tekshiruv ob’ektining umumiy tavsivlari va energiya samaradorligini oshirish bo‘yicha tavsiyalarni batafsil ko‘rsatishdir. Bu tadqiqot sanoat korxonalari rahbarlari, muhandislar va energiya menejerlari uchun amaliy qo‘llanma sifatida tavsiya qilinishi mumkin [5].

2. Energetik tekshiruv ob’ekti tushunchasi. Energetik tekshiruv ob’ekti deb energiya resurslarini ishlab chiqarish, uzatish, taqsimlash va iste’mol qilish bilan bog‘liq bo‘lgan bino, inshoot yoki texnologik tizim tushuniladi [1,4]. Sanoat korxonalari, jamoat binolari, turar joy majmualari va muhandislik tizimlari shular jumlasidandir. Energetik audit jarayonida ob’ektning texnik holati, energiya ta’minoti tizimlari (elektr, issiqlik, gaz, suv), energiya iste’moli ko‘rsatkichlari va ekspluatatsion omillar batafsil o‘rganiladi. Ob’ektning energiya samaradorligi va yo‘qotishlarni kamaytirish imkoniyatlari aynan shu tahlil orqali aniqlanadi. Sanoat korxonasi misolida energetik tekshiruv ob’ekti nafaqat ishlab chiqarish binosini, balki ishlab chiqarish jarayonidagi uskunalar, transformatorlar, qozonxonalar va texnologik liniyalarni ham o‘z ichiga oladi [3,5]. Shu sababli, tekshiruv ob’ekti keng qamrovli va kompleks bo‘lishi kerak. Energetik tekshiruv ob’ekti tushunchasi energiya resurslari bilan bog‘liq bo‘lgan barcha texnik tizimlar, jarayonlar va inshootlarni o‘z ichiga oladi. Energetik tekshiruv ob’ekti deganda elektr energiyasi, issiqlik energiyasi, yoqilg‘i va boshqa energiya resurslari ishlab chiqariladigan, uzatiladigan, taqsimlanadigan hamda yakuniy iste’mol qilinadigan bino, inshoot va texnologik uskunalar majmuasi tushuniladi [2]. Bunday ob’ektlar energiya sarfining asosiy manbai bo‘lib, ularning texnik holati, ishlash rejimi va samaradorlik darajasi umumiy energiya iste’moliga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Energetik tekshiruv jarayonida ob’ektning konstruktiv tuzilishi, muhandislik tizimlari va texnologik jarayonlari chuqur tahlil qilinadi. Bunda binolarning issiqlik texnik xususiyatlari, ya’ni devorlar, tom, pol, deraza va eshiklarning issiqlik o‘tkazuvchanligi, izolyatsiyalanganlik holati va issiqlik yo‘qotish darajasi baholanadi. Shu bilan birga, elektr ta’minoti tizimining holati, elektr yuklamalarining taqsimlanishi, transformatorlar, kabel tarmoqlari, yoritish qurilmalari va elektr uskunalarning samaradorligi aniqlanadi [3,4]. Issiqlik ta’minoti tizimlarida esa qozonxonalar, issiqlik almashinuv apparatlari, quvurlar, nasoslar va isitish moslamalarining ish rejimi va foydali ish koeffitsienti o‘rganiladi. Energetik tekshiruv ob’ekti tarkibiga texnologik uskunalar ham kiradi, chunki sanoat va ishlab chiqarish jarayonlarida energiyaning katta qismi aynan ushbu uskunalar tomonidan iste’mol qilinadi [1,5]. Elektr dvigatellar, ventilyatorlar, kompressorlar, nasoslar va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarining texnik holati, yuklanish darajasi va energiya sarfi tahlil qilinadi. Ushbu jarayonlar orqali energiya isrofi, samarasiz ishlash holatlari va ortiqcha yo‘qotishlar aniqlanadi. Energetik tekshiruv ob’ektini o‘rganishning asosiy maqsadi energiya resurslaridan oqilona foydalanish darajasini baholash va energiya tejamkorligini oshirish imkoniyatlarini aniqlashdan iborat [3,6]. Natijada, energiya sarfini kamaytirish, ekspluatatsiya xarajatlarini qisqartirish va atrof-muhitga salbiy ta’sirni pasaytirishga qaratilgan texnik, tashkiliy hamda iqtisodiy choralar ishlab chiqiladi. Shunday qilib, energetik tekshiruv ob’ekti energiya samaradorligini oshirishga yo‘naltirilgan kompleks tahlil amalga oshiriladigan asosiy tadqiqot manbai hisoblanadi [3,4].

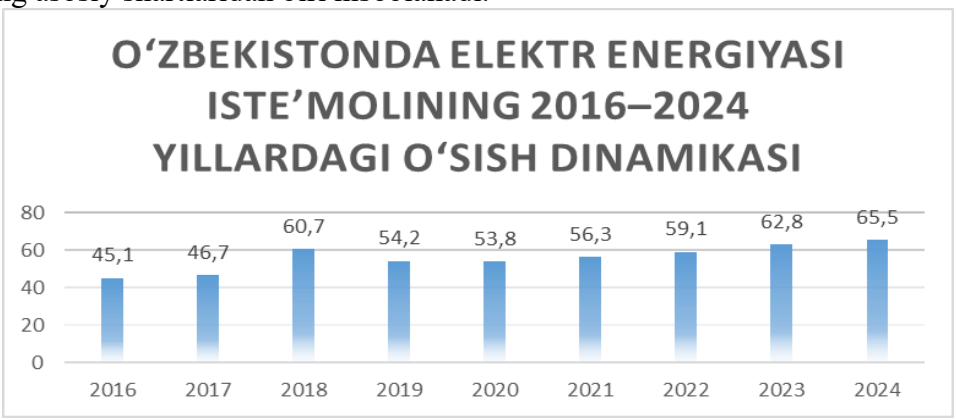
3. Energiya resurslari iste’moli. Energiya resurslari iste’moli zamonaviy jamiyatning iqtisodiy va texnologik rivojlanish darajasini belgilovchi muhim ko‘rsatkichlardan biri hisoblanadi. Energiya resurslari iste’moli deganda ishlab chiqarish, xizmat ko‘rsatish va kundalik faoliyat jarayonlarida elektr energiyasi, issiqlik energiyasi, tabiiy gaz, yoqilg‘i hamda boshqa energiya manbalarining sarflanish miqdori va ulardan foydalanish xususiyatlari tushuniladi. Ushbu jarayon barcha sohalarda amalga oshiriladi va energiya manbasining ishlab chiqarilishidan boshlab yakuniy iste’molchigacha bo‘lgan bosqichlarni qamrab oladi [4,6]

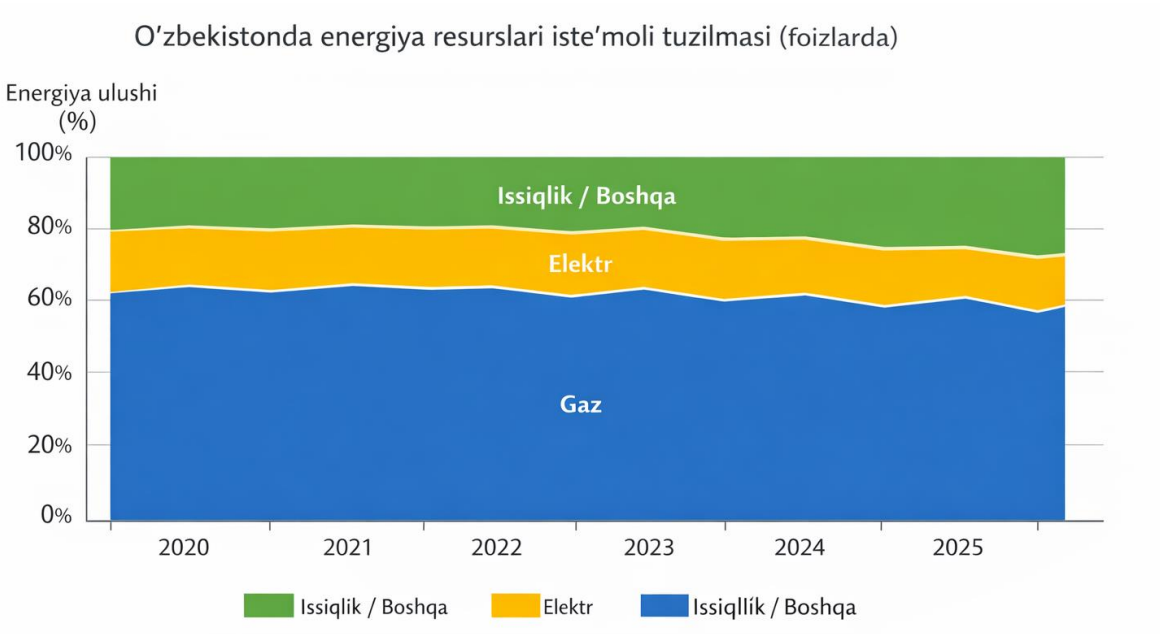
Energiya resurslari iste’moli jarayonida energiyaning bir qismi foydali ish bajarishga sarflansa, ma’lum qismi texnologik va ekspluatatsion yo‘qotishlar ko‘rinishida yo‘qoladi. Bunday yo‘qotishlar eskirgan uskunalardan foydalanish, energiya samaradorligi past bo‘lgan texnologiyalarni qo‘llash, bino va inshootlarning issiqlik izolyatsiyasi yetarli darajada

ta’minlanmaganligi hamda energiya iste’molini boshqarish tizimlarining yo‘qligi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Ayniqsa, sanoat va jamoat binolarida energiya resurslaridan samarasiz foydalanish umumiy iste’mol hajmining oshishiga olib keladi. Energiya iste’moli miqdori va tuzilmasiga ko‘plab omillar ta’sir ko‘rsatadi [6]. Uskunalarning texnik holati, yuklanish darajasi, ish rejimi va avtomatlashtirish darajasi energiya sarfining asosiy belgilovchi omillari hisoblanadi. Shuningdek, iqlim sharoiti, bino va inshootlarning konstruktiv xususiyatlari hamda ekspluatatsiya madaniyati energiya resurslari iste’moli darajasiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Zamonaviy energiya tejamkor texnologiyalar joriy etilmagan ob’ektlarda energiya sarfi yuqori bo‘lishi kuzatiladi.

Energiya resurslari iste’molini tahlil qilish energiya samaradorligini oshirishning muhim vositasi hisoblanadi. Tahlil natijasida energiya eng ko‘p sarflanadigan tizim va jarayonlar aniqlanadi, yo‘qotish manbalari baholanadi hamda energiya tejash imkoniyatlari yuzaga chiqariladi. Bu esa energiya sarfini optimallashtirish, iqtisodiy xarajatlarni kamaytirish va ishlab chiqarish samaradorligini oshirishga xizmat qiladi. Shu bilan birga, energiya resurslaridan oqilona foydalanish atrof-muhitga bo‘lgan salbiy ta’sirni kamaytirishga ham yordam beradi [5,6]. O’zbekistonda elektr energiyasi iste’molining 2016-2024 yillardagi o’sish dinamikasi (1- rasm) va 2020-2025 yillar davrida energiya resurslari iste’moli tuzilmasi (2-rasm) ko’rsatilgan.

Xulosa qilib aytganda, energiya resurslari iste’moli masalasi iqtisodiy, ekologik va texnik jihatdan muhim ahamiyatga ega bo‘lib, uni chuqur tahlil qilish va samarali boshqarish barqaror rivojlanishni ta’minlashning asosiy shartlaridan biri hisoblanadi.





2-rasm. O‘zbekistonda 2020–2025 yillar davrida energiya resurslari iste‘moli tuzilmasi — tabijiy gaz, elektr va issiqliik ulushlari (%).

3.2. Energetik tekshiruv. Energetik tekshiruv jarayoni — bu ob’ekt yoki korxona energetik tizimlarining samaradorligini aniqlash, energiya resurslarining iste’mol darajasini baholash, yo‘qotish manbalarini aniqlash va energiya tejash imkoniyatlarini aniqlashga qaratilgan kompleks tadbirlar majmuasidir. Ushbu jarayon tizimli va puxta rejalashtirilgan bo‘lib, bir qator o‘zaro bog‘liq bosqichlarni o‘z ichiga oladi [6,8].

Avvalo, energetik tekshiruv ob’ekti aniqlanadi va uning energetik xususiyatlari batafsil o‘rganiladi. Bu bosqichda ob’ektning energiya manbalari, ularning uzatilishi va iste’molchilarga yetkazilishi tizimi, shuningdek, muhandislik va texnologik jarayonlar tavsiflanadi. Tekshiruv boshlanishidan oldin ma’lumotlar yig‘iladi, energiya balanslari tahlil qilinadi va mavjud hisob-kitoblar, rejalar va hisobotlar ko‘rib chiqiladi [7,8].

Keyingi bosqich — o‘lchash va monitoring ishlari. Bu bosqichda energiya resurslarining joriy sarfi, yo‘qotishlar darajasi, qurilmalarning ish faoliyati va ularning samaradorligi o‘lchanadi. O‘lchovlar turli o’lchov asboblari va vositalari yordamida amalga oshiriladi va real vaqt rejimida yoki belgilangan davrlar davomida ma’lumotlar yig‘iladi. Shu bilan birga, ob’ektning texnik holati va uskunalarning ishlash sifati ham baholanadi.

Shundan so‘ng, tahlil bosqichi boshlanadi. Bu bosqichda yig‘ilgan ma’lumotlar asosida energiya sarfi va yo‘qotishlarning struktura va sabablari aniqlanadi. Har bir tizim va jarayonning samaradorligi hisoblab chiqiladi, energiya samaradorligini oshirish imkoniyatlari va nuqtalari aniqlanadi. Shu orqali eng yuqori energiya sarfi bo‘ladigan nuqtalar va resurslarning isrof qilinishi aniqlanadi [7,8].

Keyingi bosqich — tavsiyalar ishlab chiqish va optimizatsiya qilish. Tekshiruv natijalari asosida energiya tejash bo‘yicha amaliy choralar, uskunalarni modernizatsiya qilish, boshqaruv tizimini yaxshilash va energiya resurslaridan oqilona foydalanish bo‘yicha tavsiyalar beriladi. Ushbu tavsiyalar energiya tejashni ta’minlash, xarajatlarni kamaytirish va ob’ektning ekologik barqarorligini oshirishga qaratilgan.

So‘nggi bosqich — hisobot tayyorlash va natijalarni taqdim etish. Energetik tekshiruv yakunida batafsil hisobot tuziladi, unda ob’ektning energiya holati, yo‘qotish manbalari, tavsiyalar va energiya tejash imkoniyatlari aks ettiriladi. Hisobot asosida rahbariyat qarorlar qabul qiladi va energiya boshqaruvi tizimini yaxshilash bo‘yicha reja tuziladi [8].

Shunday qilib, energetik tekshiruv jarayoni ob’ektning energiya samaradorligini oshirish, resurslarni tejash va ekologik ta’sirni kamaytirishga xizmat qiluvchi tizimli va kompleks jarayon bo‘lib, barcha bosqichlar bir-biriga bog‘liq va bir-birini to‘ldiruvchi tarzda amalga oshiriladi.

3.3. Tekshiruv natijalaridan foydalanish. Energetik tekshiruv natijalari korxona yoki ob’ektning energiya samaradorligini oshirish, resurslarni tejash va xarajatlarni kamaytirish bo‘yicha qarorlar qabul qilishda asosiy manba hisoblanadi. Ushbu natijalar yig‘ilgan ma’lumotlar va tahlil asosida aniqlangan energiya sarfi, yo‘qotishlar darajasi, tizimlarning samaradorligi va texnologik jarayonlarning ishlash sifati bo‘yicha tavsiyalarni o‘z ichiga oladi [9].

Natijalar birinchi navbatda energiya boshqaruvi tizimini optimallashtirishga xizmat qiladi. Tekshiruv davomida aniqlangan yo‘qotish manbalari va yuqori sarfga ega bo‘lgan qurilmalar aniqlanadi. Shu ma’lumotlar asosida energiya tejashga qaratilgan texnik chora-tadbirlar ishlab chiqiladi: eskirgan uskunalarni almashtirish, isitish va sovutish tizimlarini modernizatsiya qilish, nasoslar va ventilyatorlar ish rejimini optimallashtirish, avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarini joriy qilish kabi ishlar amalga oshiriladi. Shuningdek, natijalar iqtisodiy samaradorlikni oshirish imkonini beradi. Energiya resurslaridan oqilona foydalanish orqali ishlab chiqarish xarajatlari kamayadi, energiya hisob-kitoblarini aniqroq rejalashtirish mumkin bo‘ladi va ortiqcha sarfdan kelib chiqadigan moliyaviy yo‘qotishlar bartaraf etiladi [9,10]. Shu bilan birga, energiya tejash natijalari asosida ob’ektning investitsion rejasi va modernizatsiya loyihalari ishlab chiqilishi mumkin.

Energetik tekshiruv natijalari ekologik samaradorlikni oshirishda ham muhim ahamiyatga ega. Energiya resurslarining behuda sarfi va yo‘qotishlari atmosferaga zararli chiqindilar chiqishiga olib keladi. Natijalar asosida amalga oshiriladigan energiya tejash choralari nafaqat xarajatlarni

kamaytiradi, balki atrof-muhitga bo‘lgan salbiy ta’sirni ham kamaytiradi, barqaror rivojlanishga hissa qo‘shadi. Bundan tashqari, tekshiruv natijalari rahbariyat va mutaxassislar uchun qaror qabul qilish jarayonini osonlashtiradi [10,11]. Ular ob’ektning energiya holatini aniq baholash, samaradorlikni oshirish bo‘yicha strategiyalar ishlab chiqish va ularni amalga oshirish uchun asosiy ma’lumot manbai sifatida ishlatiladi. Shu tariqa, natijalar energiya boshqaruvi tizimining samarali ishlashini ta’minlaydi va uzoq muddatli rejalashtirish imkonini beradi. Shu bilan birga, natijalar orqali xodimlar va texnik xizmat ko‘rsatuvchi guruhlar uchun o‘quv va metodik materiallar tayyorlanadi, energiya tejash bo‘yicha ichki ko‘rsatmalar ishlab chiqiladi va ularning samarali ijrosi nazorat qilinadi [11]. Natijada, energetik tekshiruv nafaqat qisqa muddatli optimizatsiyani, balki ob’ektning uzoq muddatli energiya barqarorligini ta’minlashni ham kafolatlaydi.
Umuman olganda, energetik tekshiruv natijalari — bu ob’ektning energiya samaradorligini oshirish, resurslarni tejash, xarajatlarni kamaytirish va ekologik ta’sirni kamaytirishga qaratilgan kompleks choralar dasturini shakllantirishning asosiy manbai hisoblanadi. Natijalar bilan ishlash tizimli va mantiqan bog‘langan tarzda amalga oshiriladi, bu esa energiya boshqaruvi va texnik xizmat ko‘rsatish jarayonlarini optimallashtirish imkonini beradi [11.12].

4. Xulosa. Xulosa qilib aytganda, energetik tekshiruv ob’ektning energiya resurslarini oqilona boshqarish, sarfini tahlil qilish va yo‘qotishlarni aniqlashda muhim vosita sifatida xizmat qiladi. Tekshiruv jarayoni energiya manbalari, uzatish tizimlari, iste’molchilar va texnologik jarayonlarning samaradorligini baholashga imkon beradi hamda energiya tejash bo‘yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqadi. Natijalar asosida amalga oshiriladigan chora-tadbirlar energiya boshqaruvini optimallashtirish, eskirgan uskunalarni yangilash, avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarini joriy etish va ekologik ta’sirni kamaytirishga yordam beradi. Shu bilan birga, tekshiruv rahbariyat va mutaxassislar uchun qaror qabul qilishni yengillashtiradi, uzoq muddatli rejalashtirish va ichki nazorat tizimini takomillashtirish imkonini yaratiladi. Energetik tekshiruv va uning natijalari ob’ektning barqaror ishlashini ta’minlash, energiya resurslaridan samarali foydalanish va iqtisodiy hamda ekologik samaradorlikni oshirishning asosiy omili hisoblanadi.

Adabiyotlar

[1]. Invest Uzbekistan. (n.d.). Investment guide: Energy sector. Retrieved January 4, 2026, from https://invest.miit.uz/uz-latn/investment-guide/energy

[2]. Enerdata. (n.d.). Uzbekistan energy information. Retrieved January 4, 2026, from https://www.enerdata.net/estore/energy-market/uzbekistan/

[3]. UNDP Uzbekistan. (n.d.). Ensuring energy efficiency in residential buildings. Retrieved January 4, 2026, from https://www.undp.org/uz/uzbekistan/stories/bmttd-pandemiya-sharoitida-uy-joylarning-energiya-samaradorligini-taminlaydi

[4]. O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi. (n.d.). Electricity consumption and statistics. Retrieved January 4, 2026, from https://minenergy.uz/uz/news/view/4260

[5]. Kun.uz. (n.d.). Uzbekistan’s transition to renewable energy sources. Retrieved January 4, 2026, from https://kun.uz/37614051

[6]. Energiya Samardorligi Portali. (n.d.). Energy audit and management information. Retrieved January 4, 2026, from https://skb.uz/index_uzb.html

[7]. Axmadaliyev, N. M. (2023). Energiya tejamkorligi va energiya auditi. Obrazovanie Nauka i Innovatsionnye Idei v Mire, 26 (1), 72–74. Retrieved from https://newjournal.org/index.php/01/article/view/8291 newjournal.org

[8]. Nematov, L. A., & Bafoyev, O. H. (2024). Energetik qurilmalarni tadqiq qilish asosida energiya samaradorligini oshirish. PEDAGOGS International Research Journal, 60(2), 16–18. Retrieved from https://pedagogs.uz/ped/article/view/1597 pedagogs.uz

[9]. Karolis Janusevicius. (2023). Energy audit concepts and procedures: Barqaror energiya kunlari taqdimoti. SECCA. Retrieved from https://secca.eu/wp-content/uploads/2023/06/3_4-UZB-Karolis_Janusevicius_Energy_audits_TASHKENT_2023_06.pdf SECCA

[10]. Kumar, L. A., & Ganesan, G. (Eds.). (2023). Energy Audit and Management: Concept, Methodologies, Procedures, and Case Studies. CRC Press. routledge.com

[11]. Xoshimov, F. (2024). Energiya tejamkorlik asoslari (pdf). Namangan Davlat Universiteti. Retrieved from https://namdu.uz/media/Books/pdf/2024/05/21/NamDU-ARM-1445-Energiya_tejamkorlik_asoslari. pdf www.namdu.uz

[12]. Raxmonov, I. U., Reymov, K. M., & Niyozov, N. N. (n.d.). Elektr energiyasi iste'molini tahlil qilish va energetik audit (pdf). Tashkent Institute of Engineering Technology. Retrieved from https://lib.tiet.uz/file/20240219101704.pdf lib.tiet.uz

QUYOSH FOTOELEKTR STANTSIYALARINING INVERTOR TIZIMLARIGA IQLIM SHAROITLARINING TA'SIRINI TAHLIL QILISH VA ULARNING SAMARADORLIGINI OSHIRISH YO'LLARI

A.U. Xaqiqov

Farg'ona davlat texnika universiteti
xaqiqovanvar@gmail.com
(Qabul qilindi 22.02.2026 y.)

Annotatsiya. *Maqolada quyosh fotoelektr stantsiyalari invertor tizimlarining ishlashiga iqlim sharoitlarining ta'siri tahlil qilingan. Yuqori harorat, chang, namlik va insolyatsiyaning keskin o'zgarishi kabi omillarning invertorlar samaradorligi va ishonchli ishlashigiga ta'siri ko'rsatilgan. Maqola asosan invertorlarning turlari (markazlashtirilgan, String (qator) hamda mikro) ga ko'ra xususiyatlari va ularning tashqi iqlim o'zgarishlariga sezgirligini o'rganishga bag'ishlangan, bunda asosan, qurilmani sovutish, changdan himoya qilish, germetikligini ta'minlash, aqlli MPPT algoritmlariga moslashtirish uchun muhandislik yechimlarining tavsifi keltirilgan. Asosiy e'tibor invertorlarni tanlash va ularni ishlatishda mintaqaning iqlimiy xususiyatlarni hisobga olish zarurligiga qaratilgan. Nihoyat, turli iqlim sharoitida fotoelektr stantsiyalarining barqaror ishlashini ta'minlash va ularning samaradorligni oshirish uchun invertorlarni tanlash va ishlatish bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqilgan.*

Kalit so'zlar: *quyosh energiyasi, invertor, iqlim sharoiti, MPPT, markazlashtirilgan, qator va mikro invertorlar.*

Аннотация. *В статье проанализировано влияние климатических условий на работу инверторных систем солнечных фотоэлектрических станций. Показано влияние таких факторов, как высокая температура, пыль, влажность и резкие изменения инсоляции, на эффективность и надежность работы инверторов. Статья в основном посвящена изучению особенностей различных типов инверторов (централизованных, стринговых (последовательных) и микроинверторов), а также их чувствительности к внешним климатическим изменениям. При этом приведено описание инженерных решений, направленных на охлаждение устройств, защиту от пыли, обеспечение герметичности и адаптацию к интеллектуальным алгоритмам MPPT. Основное внимание уделено необходимости учета климатических особенностей региона при выборе и эксплуатации инверторов. В заключение разработаны рекомендации по выбору и эксплуатации инверторов для обеспечения стабильной работы фотоэлектрических станций в различных климатических условиях и повышения их эффективности.*

Ключевые слова: *солнечная энергия, инвертор, климатические условия, MPPT, централизованные, стринговые и микроинверторы.*

Abstract. *The article analyzes the impact of climatic conditions on the operation of inverter systems of solar photovoltaic power plants. The influence of factors such as high temperature, dust, humidity, and sharp changes in insolation on the efficiency and reliability of inverters is demonstrated. The paper is mainly devoted to studying the characteristics of different types of inverters (centralized, string, and microinverters), as well as their sensitivity to external climatic variations. It also presents engineering solutions aimed at cooling the equipment, protecting against dust, ensuring hermetic sealing, and adapting to intelligent MPPT algorithms. Particular attention is given to the necessity of considering regional climatic characteristics when selecting and operating inverters. Finally, recommendations are developed for the selection and operation of inverters to ensure stable operation of photovoltaic power plants under various climatic conditions and to improve their efficiency.*

Keywords: *solar energy, inverter, climatic conditions, MPPT, centralized, string, and microinverters.*

Kirish. Quyosh energetikasini rivojlantirish global energetik o‘tishning asosiy yo‘nalishlaridan biridir [1]. Xalqaro energetika agentligi (IEA) ma’lumotlariga ko‘ra, 2022 yilda ishga tushirilgan quyosh fotoelektr stansiyalari (QFES) ning quvvati 260 GVt dan ortiqni tashkil etib, o‘tgan yilga nisbatan 45% ga ko‘pni tashkil qildi [2]. Quyosh energiyasi bo‘yicha yuksak salohiyatga ega bo‘lgan – yiliga o‘rtacha 320 quyoshli kun [3-4] O‘zbekistonda ham mazkur soha jadal rivojlanmoqda: 2024 yil yakuni holatiga mamlakatning 10 viloyatida 4,067 GVt qayta tiklanuvchi energiya manbalari (QTEM) asosidagi elektr stansiyalari o‘rnatilib, ishga tushirilgan bo‘lib, shundan 11 tasi QFES dir [5]. Bundan tashqari, 2030 yilga kelib, mamlakat energiya balansida QTEM ulushini 54%ga yetkazish vazifasi qo‘yilgan [6]. Biroq, quvvatning o‘sishi ushbu stansiyalarni tashkil etuvchi qurilmalardan biri bo‘lgan imvertorlarning iqlimga chidamliligi bilan bog‘liq muammolar yuzaga kelishi tufayli, ushbu qurilmalarni O‘zbekiston iqlim sharoitiga nisbatan tadqiq qilish muhim ahamiyat kasb etadi.

Adabiyotlar sharhi. Invertorlar QFES larining asosiy komponenti bo‘lib, nafaqat energiyani bir turdan boshqa turga aylantirishda, balki elektr ta’minotining umumiy sifatiga, tarmoqni himoyalash va ishlab chiqarishni boshqarish jarayonlariga ham ta’sir qiladi. Uchta asosiy invertor arxitekturasi mavjud: ***markazlashtirilgan***, FEP qatorlari yoki guruhlariga alohida ulanadigan *String (qator)* hamda ***mikro*** **invertorlar [7]**. Markazlashtirilgan **invertorlar** sanoat miqyosida qo‘llaniladi va bir vattga nisbatan narxining arzonligi bilan tavsiflanadi, ammo qisman soyalanish va nosozliklarga juda sezgir. MPPT (String) invertorlari, ayniqsa, murakkab ob-havo sharoitida yoki FEP larni turli yo‘nalishlarda o‘rnatilish sharoitida, markazlashtirilgan **invertorlar**ga nisbatan energiya ishlab chiqarishni 2,5-6% ga oshirilishini ta’minlaydi [8]. Mikroinvertorlar esa uy xo‘jaliklari uchun qulay bo‘lib, har bir modulga o‘rnatilishi va asosan soyalash darajasi yuqori bo‘lgan sharoitlarda yaxshi samara berishi bilan farqlanadi.

Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, aksariyat tadqiqotlar quyosh fotoelektr modullari (FEM) va kuzatuv tizimlari (treker) ga qaratilgan, biroq, mintaqaviy iqlim sharoiti kontekstida invertorlarning chidamliligi yetarli darajada o‘rganilmagan. Misol uchun, [9] va [10] ishlarida invertorlarning samaradorligi radiatsiya va yuqori haroratning tez o‘zgaruvchanligi natijasida kamayishi mumkinligi ko‘rsatilgan, ammo invertor tizimlarining iqlimga moslashuviga nisbatan tizimli yondashuv mavjud emas va bu o‘z navbatida energiya ishlab chiqarishni prognozlashning aniqligini cheklaydi, ekspluatatsion xarajatlarni oshiradi va loyihalarning rentabelligini pasaytiradi.

Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, +40 °C dan yuqori haroratlarda ko‘pchilik invertorlarning samaradorligi 10-15% ga kamayishi hamda chang bo‘ronlari va yuqori namlik sharoitida ishlamay qolish darajasi 30-40% ga oshishi mumkin [9-10]. Bu, ayniqsa, yozda havo harorati +45 °C dan oshishi mumkin bo‘lgan, ayrim hududlarda (masalan, Navoiy viloyati) chang darajasi ruxsat etilgan me’yorlardan 1,5 baravardan ortiqroq bo‘lgan O‘zbekiston uchun dolzarbdir [9-10].

Qurg‘oqchil iqlimli hududlarda, xususan Jazoirning janubiy qismida chang va yuqori harorat sharoiti tufayli (o‘rtacha kunlik havo harorati 32,3 °C va shamol tezligi 6,9 m/s) QFES ishlab chiqaruvchanligini 10,29% gacha va invertor samaradorligini 76,5% gacha kamayishiga sabab bo‘ldi [13]. Chang shamollatish panjaralarini yopib qo‘yadi, sovutishni yomonlashtiradi va qisqa tutashuv xavfini oshiradi.

Efiopiya va Zambiya iqlim sharoitiga nisbatan olib borilgan tadqiqotlar [10] shuni ko‘rsatdiki, namlik va yog‘ingarchilik izolyatsiya qatlamlarining buzilishiga, kontaktlarning oksidlanishiga va korroziyaga olib kelishi tufayli, tropik iqlim sharoitida invertorlar ko‘pincha ishdan chiqishi kuzatilgan.

Bulutlilik, chanlanish yoki qor tufayli quyosh radiatsiyasining atmosferaga tushishining keskin oz‘garib turishi invertorlar MPPT algoritmlari samaradorligini pasaytirishi aniqlandi [10]. Yoritilganlikning o‘zgarib turishiga moslashtirilmagan klassik algoritmlarga ega bo‘lgan invertorlar kun davomida energiya ishlab chiqarilishning 5-7% gacha qismini yo‘qotadi. O‘zbekistonda qisman bulutli yoki qisman soyali sharoitlarda yirik stansiyalarda energiya ishlab chiqarilishida sezilarli yo‘qotishlar yuzaga kelishiga sabab bo‘lishi tufayli, ushbu muammo chuqur o‘rganishni talab qiladi.

Zamonaviy muhandislik yechimlari, jumladan, aqlli sovutish tizimlari**,** invertor tashqi korpusini germetik mahkamlash**,** neyron tarmoqli MPPT kontrollerlari allaqachon issiq iqlim sharoitida ijobiy natijalarni namoyon qilmoqda [11]. Biroq, bu yechimlarning aksariyati alohida-alohida qo‘llaniladi va ular kamdan-kam hollarda Markaziy Osiyoning real sharoitlariga moslashtiriladi.

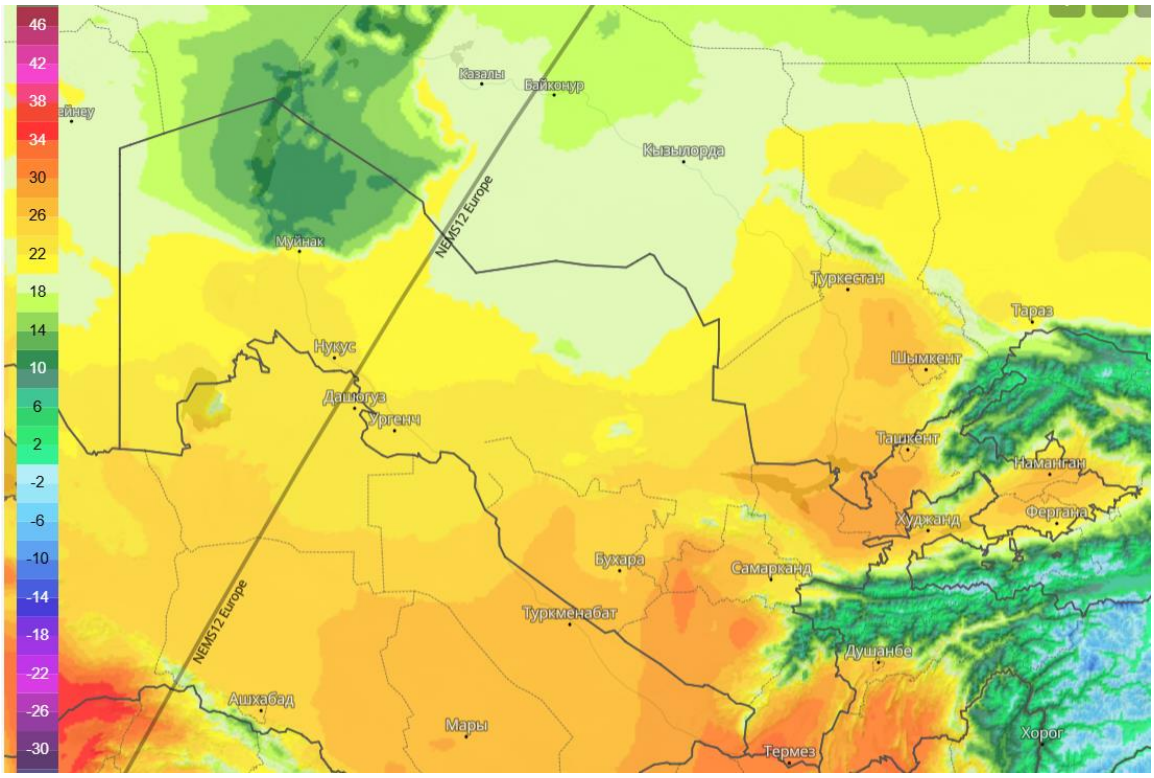
Shunday qilib, invertor tizimlari yuzasidan bugungi kunda erishilgan yutuqlarning yetarlligiga qaramay, ularning O‘zbekiston kabi issiq, changli va o‘zgaruvchan iqlim zonalariga moslashuvi bo‘yicha tadqiqotlarga zarurat mavjudligi sababli, mazkur tadqiqotda iqlim sharoitlarining QFES invertor tizimlariga ta’sirini tizimli tahlil qilish va ularning barqarorligi va samaradorligini oshirish bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqishga qaratilgan.

Natijalar va muhokama.

O‘zbekiston hududlarining yillik o‘rtacha haroratlariga asoslanib, mintaqaning harorat zonalarining taqsimoti zonalari aniqlangan (1-rasm) [18] hamda shartli ravishda 3 ta zonaga mos keladi: cho‘lli hududlar (>34 °C), kontinental iqlim hududi (22-30 °C), tog‘li hududlar (<14 ° C) [11].

Taqdim etilgan xaritada O‘zbekiston hududi va unga tutash viloyatlardagi o‘rtacha haroratlarning fazoviy taqsimoti tasvirlangan. Rang shkalasi -30 ° C dan + 46 ° C gacha bo‘lgan diapazonni qamrab oladi, bu uchta iqlim zonasini aniq ajratish imkonini beradi:

1. Cho‘l zonasi (mamlakatning janubi-g‘arbi va markaz qismi) Navoiy, Buxoro va Xorazm viloyatlarini qamrab oladi (o‘rtacha harorat +30 °C dan + 38 °C gacha va undan yuqori, ayniqsa yozda). Bu hududlar insolyatsiya hamda chang darajasining yuqoriligi bilan ajralib turadi, bu esa o‘ta qizib ketish, komponentlar degradatsiyasi, ventilyatsiya tizimining tiqilib qolishi sababli invertor tizimlarining o‘ta zo‘riqishiga olib keladi.
2. Kontinental zona (mamlakatning markaziy va sharqiy qismi) – Samarqand, Toshkent, Sirdaryo viloyatlarini o‘z ichiga oladi (o‘rtacha harorat +20 °C dan + 30 °C gacha). Bu hududlarda invertorlar uchun termal zo‘riqish, qishda kontaktlarning muzlashi va mavsumlar o‘rtasida ishlab chiqarishning nostabilligi kabi vaziyatlar xos.



1-rasm. Mintaqalar bo‘yicha O‘zbekistonning o‘rtacha yillik harorat zonalari xaritasi [9].

3. Tog‘li zona (mamlakatning janubiy va janubi-sharqiy qismlari) – Qashqadaryo, Surxondaryo, Farg‘ona vodiylari va tog‘larga tutash hududlarni qamrab oladi (harorat sezilarli darajada past: 0 dan +16 °C gacha) va iqlim yuqori namlik, qor va kuchli shamollar bilan kuzatiladi. Bunday hududlarda invertor tizimlari uchun asosiy xavflar kondensat hosil bo‘lishi, korroziya va namlikdan himoya qilish zarurati hisoblanadi.

Iqlim omillarining invertorlarga ta’siri yuzasidan zamonaviy tadqiqotlar tahlilini ko‘rib chiqish asosida invertor tizimlari uchun xavf zonalarini quyodagicha tasniflash mumkin (1-jadvalga qarang).

1-jadval

O‘zbekistonning iqlim zonalari, invertor tizimlari uchun xavflar va moslashish choralari

Iqlim zonasi	**Iqlim xususiyatlari**	**Texnik xavflar**	**Tavsiya etilgan chora-tadbirlar**
Cho‘l hududlari (Navoiy, Buxoro viloyatlari)	Yozda + 40-45 °C, quruq, odatdagidan yuqori chang	O‘ta qizib ketish, radiatorlarning tiqilib qolishi, samaradorlikni -15% gacha kamayishi	Faol sovutish, chang o‘tkazmaydigan korpuslar
Kontinental hudud (Toshkent, Samarqand viloyati)	Haroratning – 10 °C dan +40 °C gacha o‘zgarishi, o‘rtacha namlik	Yuqori harorat tufayli zo‘riqish, kontaktlarning muzlashi, ishlab chiqarishning nostabilligi	Zahira isitish, issiqlikka bardoshli komponentlar, yaxshilangan MPPT
Tog‘li hudud (Qashqadaryo, Surxondaryo viloyati)	Yuqori namgarchilik, qor, yog‘ingarchilik	Namlik tufayli yuzaga keladigan korroziya, quvvatning o‘zgarib turishi	Geremetik himoya qobig‘i, namlikdan, chaqmoqdan himoya

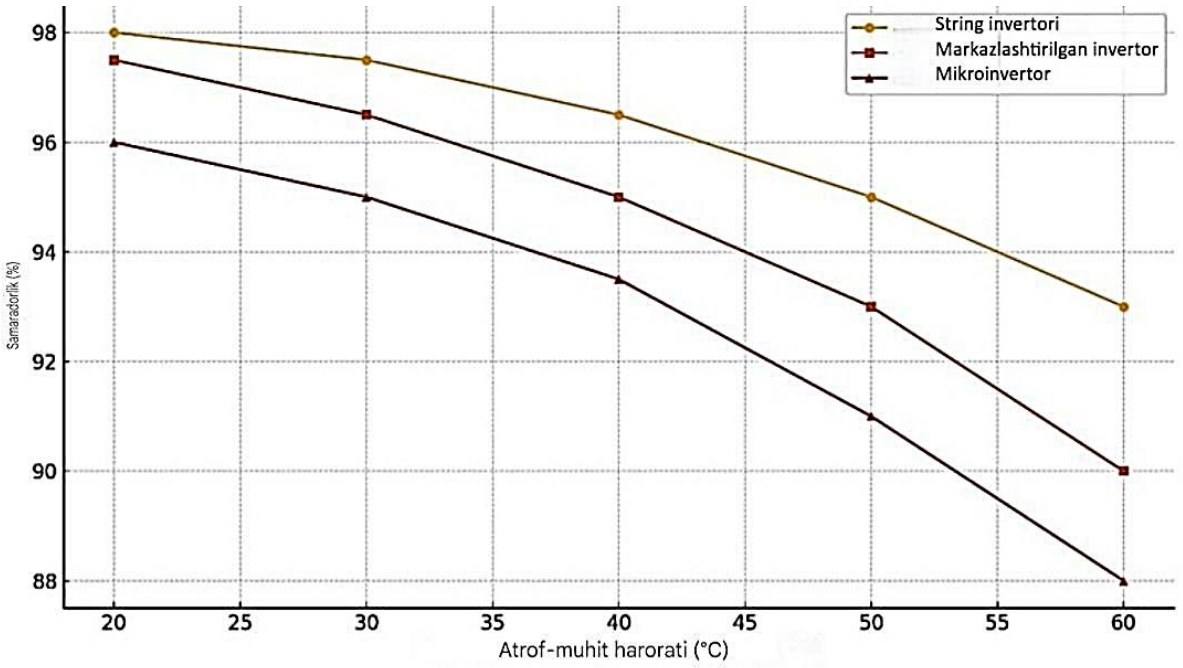
Mazkur jadvalda keltirilgan iqlimiy zonalar va ushbu hududlarda yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan xavflar QFES invertor tizimlarini moslashtirishda kompleks muhandislik yondashuvini qo‘llash zaruratini yana bir bor tasdiqlaydi.

Invertor tizimlarini iqlim sharoitlariga moslashtirish bo‘yicha muhandislik yechimlarini tahlil qilish.

QFES lar ko‘lamining ortib borishi bilan iqlim o‘zgarishlariga chidamli invertor tizimlariga ehtiyoj ortadi. Harorat, namlik va changlanish sharoitlariga nisbatan ishlab chiqaruvchilar va tadqiqot guruhlari invertorlarning ishonchliligi, energiya samaradorligi va xizmat muddatini oshirishga qaratilgan bir qator muhandislik va algoritmik yechimlarni taklif qilishadi.

1. Issiqlikni boshqa iste’molchiga uzatish va sovutish. İnvertorlarning haddan tashqari qizishi ularning samaradorligini pasayishining asosiy sabablaridan biri bo‘lganligi sababli, invertor korpusida yutilgan har bir qo‘shimcha Vt/m² quyosh issiqligi invertorning samaradorligining 0,036% ga kamayishiga olib keladi . O‘ta qizishga qarshi quyidagi yechimlar qo‘llaniladi:

- Yuqori issiqlik almashinuvi maydoniga ega passiv alyuminiy radiatorlar.
- Havo orqali majburiy sovutish, ayniqsa MPPT (string) invertorlarida.
- Suyuqlik yordamida sovutish – sanoat miqyosidagi invertorlarda (500 kVt dan) qo‘llaniladi, bu esa +60 °C gacha bo‘lgan haroratlarda barqarorlikni ta’minlaydi [9].



2-rasm. Har xil turdagi invertorlarning samaradorligiga haroratning ta’siri grafigi.

2. Invertorlarni germetik mahkamlash va chang/namlikdan himoya qilish. Chang va namlik yuqori hududlarda invertorlar ko‘pincha radiatorlarning ifloslanishi, qisqa tutashuvlar va korroziya tufayli ishlamay qolishi sababli, invertorlar samaradorligi kamayib ketishiga olib keladi [13]. Bunday turdagi iqlim omillarida invertorlar samaradorligini barqaror ushlab turish uchun quyodagi yechimlar taklif qilinadi:

- IP65/IP66 himoya sinfiga ega korpuslar tashqi o‘rnatish uchun standart hisoblanadi;
- almashtiriladigan filtrlar va shamollatish tizimlari changdan ifloslanishni minimallashtirishga yordam beradi;
- namlikka chidamli qoplamalar (konformal qoplamalar) kontaktlar oksidlanishining oldini oladi.

3. Intellektual MPPT algoritmlari. An’anaviy MPPT algoritmlari (P&O, InC) tez o‘zgaruvchan yoritilganlik sharoitida har doim ham samarali emas va bunday sharoitlarda quyidagilar qo‘llaniladi:

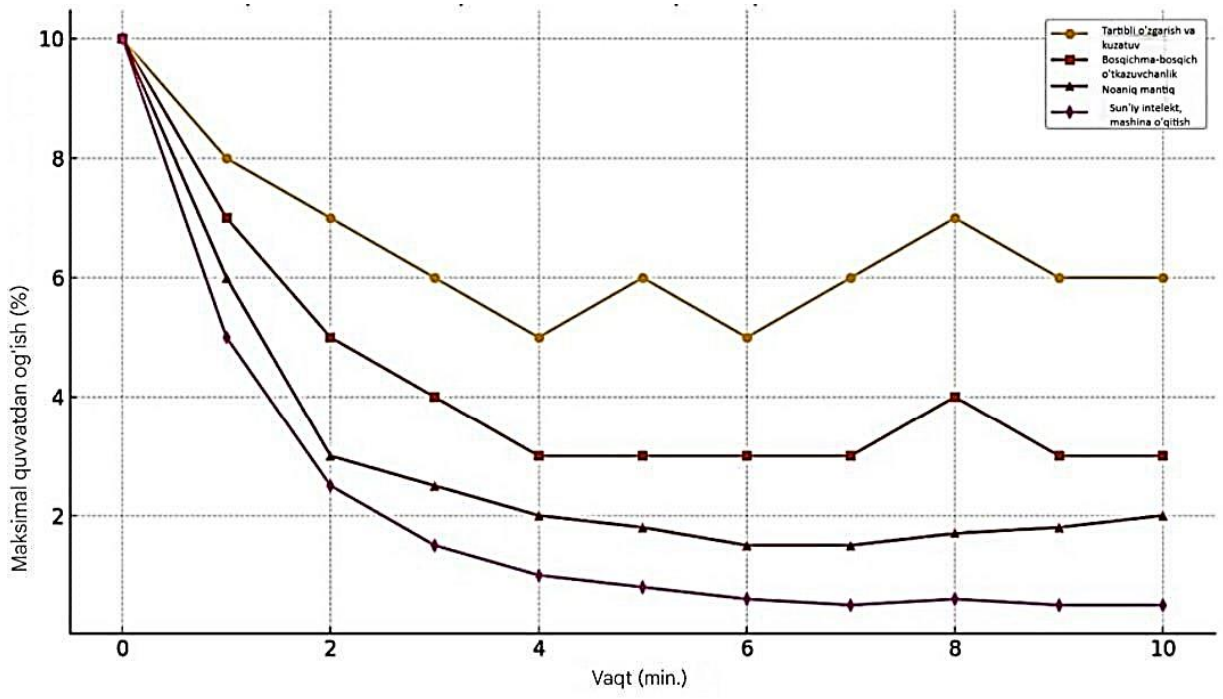
- Nostabil insolyatsiya sharoitida ishlab chiqarishni 3-6% ga oshirish imkonin beruvchi neyron tarmoq asosidagi va gibrid algoritmlar [10]**;**
- real vaqtda ob-havo sharoitlariga moslashuvchan sun’iy intellekt (AI/ML) asosidagi algoritmlar**.**
- tez o‘zgaruvchan bulutli sharoitlarda invertordan javob kechikishi holatlarini kamaytirishga mo‘ljallangan chastota o‘zgarishiga moslashuvchan MPPT algoritmlar**.**

4. Modulli arxitektura va zahiralash. Ehtimoliy nosozliklar sharoitida – ayniqsa olis hududlar yoki yaxshi xizmat ko‘rsatilmaydigan obyektlarda – quyidagi yechimlar muhim ahamiyat kasb etadi:

- har bir modul guruhi uchun mustaqil ishlash qobiliyatiga ega *String (qator) arxitekturasi;*
- zahira quvvat modullari va baypas kanallari;
- Invertorlarning ish jarayonida yuzaga keladigan ishdan chiqishlarni o‘z vaqtida aniqlash imkonini beruvchi, o‘rnatilgan diagnostika va o‘z-o‘zini tekshirish tizimlari.

Shunday qilib, moslashuvchan yechimlardan foydalanish invertor tizimlarining tashqi iqlim ta’siriga chidamliligini sezilarli darajada oshirishi mumkin. Biroq, asosiy muammo mahalliy iqlim sharoitlariga moslashuvning yo'qligi bo'lib qolmoqda**:** yechimlarning aksariyati Yevropa yoki

Shimoliy Amerika standartlariga muvofiq ishlab chiqilgan va O‘zbekiston hamda butun Markaziy Osiyoning o‘ziga xos sharoitlariga moslashishni talab qiladi.



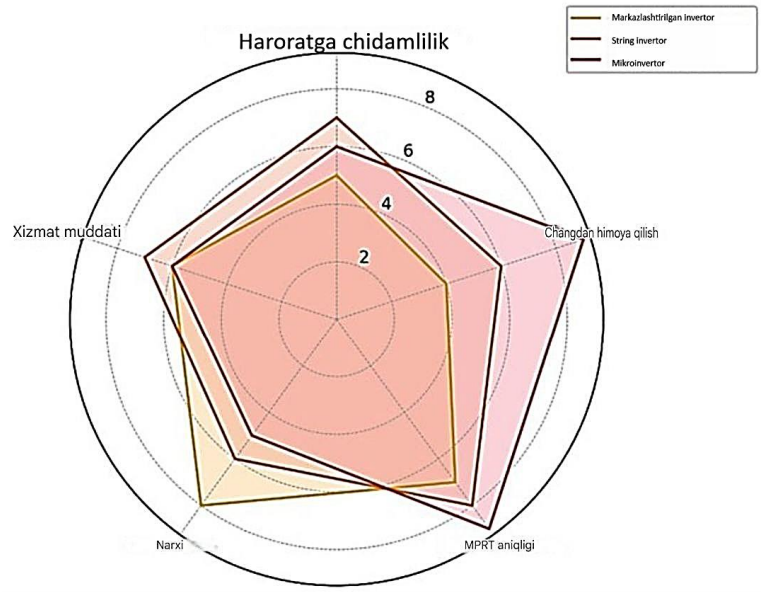
3-rasm. O‘zgaruvchan quyosh insolyatsiyasi sharoitlarida MPPT algoritmlarini taqqoslash.

Invertorlarning samaradorligi MPPT algoritmining sifatiga to‘g‘ridan-to‘g‘ri bog‘liq bo‘lganligi sababli, asosiy yondashuvlarni va ularning xususiyatlarini batafsil ko‘rib chiqish talab etiladi.

Maksimal energiya ishlab chiqarishni ta'minlash uchun QFES invertorlari maksimal quvvat nuqtasini kuzatish (MPPT) algoritmlaridan foydalanadi. Ushbu algoritmlar FEM optimal ish nuqtasini topish uchun doimiy ravishda kuchlanish va tokni sozlaydi. Bir nechta asosiy yondashuvlar mavjud:

- P&O (Perturb va Observe – tartibli o‘zgarish va kuzatuv) eng oddiy va keng tarqalgan algoritmlardan biridir. Kuchlanishni davriy o‘zgartiradi va quvvat o‘zgarishini nazorat qiladi. Quvvat oshsa, kuchlanishni o‘zgartirishni bir xil yo‘nalishda davom ettiradi; kamaysa, yo‘nalishini o‘zgartiradi. Biroq, yoritilganlikning tez o‘zgaruvchanligi sharoitida xatoliklarga olib kelishi mumkin.
- InC (bosqichma-bosqich o‘tkazuvchanlik) – tok va kuchlanish hosilasi asosida quvvat maksimumini aniqlaydi. Yoritilganlikning tez o‘zgaruvchanligi sharoitida aniqroq ishlaydi, lekin ko‘proq hisob-kitoblarni talab qiladi.
- Fuzzy Logic (noaniq mantiq) – rostlash yo‘nalishini bashorat qilish uchun ekspert qoidalari va mantiqiy bloklardan foydalanadi. Shovqini yuqori ma’lumotlarga va nobarqaror ob-havoga moslashuvchan, lekin rostlash jarayoni biroz murakkab.
- AI/ML (sun’iy intellekt, mashina o‘qitish) – neyron tarmoqlar yoki optimallashtirish algoritmlariga asoslangan zamonaviy yondashuvlar bo‘lib, ob-havoning keskin o‘zgarishi va soyalanish yuqori sharoitlarda ham quvvat maksimumini yuqori aniqlikda bashorat qila oladi.

Quyidagi diagrammada har xil turdagi invertorlarning asosiy parametrlari vizual taqqoslangan (4-rasm).



4-rasm. Invertorlarni asosiy parametrlari bo‘yicha taqqoslash uchun radar diagramma.

4-Rasmdan ko‘rinadiki, 3 turdagi invertorlarning asosiy texnik xususiyatlari haroratga chidamlilik, xizmat ko‘rsatish muddati, tannarxi, MPPT aniqligi hamda chandan himoya kabi 5 ta mezon bo‘yicha 1 dan 10 gacha baholangan va natijalar quyidagicha:

- Markazlashtirilgan invertorlar yuqori iqtisodiy samaradorlikni (8 ball) va MPPT aniqliginining yetarlicha yuqori darajasini (7) namoyish etadi, ammo issiqlikka chidamlilik va changdan himoya qilish (mos ravishda 5 va 4) jihatidan pastroqdir, bu esa qattiq iqlim sharoitida ulardan foydalanishni cheklaydi.
- String invertorlari nisbatan o‘rtacha natijalarni ko‘rsatadi: o‘rtacha narx, harorat o‘zgarishiga yetarlicha yuqori chidamlilik (7), changdan yaxshiroq himoya (6) va quvvat maksimumini kuzatish aniqligi (8). Bu esa ushbu turdagi invertorlarni iqlimi tez o‘zgarib turuvchi hududlarda eng maqbul yechimga aylantiradi.
- Mikroinvertorlar modulli konstruksiyasi va germetik tashqi qobig‘i tufayli eng yuqori MPPT aniqligi (9) va changdan himoyalanish (9) ko‘rsatkichlariga ega. Biroq, ular String invertorlariga nisbatan narxining yuqoriligi va cheklangan xizmat muddati tufayli nisbatan past rentabellikni namoyish etishadi.

Tahlillarga asoslangan holda, issiq va changli iqlim sharoitida (masalan, O'zbekistonning cho‘l zonasi) MPPT String (qator) invertorlari yaxshi barqarorlik, moslashuvchanlik va aniqlikni o‘zida mujassam etgan eng maqbul yechim hisoblanadi degan xulosaga kelish mumkin.

Xulosa. O‘tkazilgan tahlillar shuni ko‘rsatdiki, QFES larning invertor tizimlarining samaradorligi iqlim omillariga, ayniqsa, O‘zbekistonning turli hududlari uchun xos bo‘lgan issiq, chang va o‘zgaruvchan iqlim sharoitiga sezilarli darajada bog‘liq. Mazkur sharoitlarga moslashtirmagan holda, invertorlarning samaradorligi 10-15% ga kamayishi hamda kafolat muddati davomida ishdan chiqish darajasi 30-40% gacha oshishi mumkin.

Invertorlar turi (markazlashtirilgan, String (qator), mikro) iqlim ta’siriga nisbatan turlicah sezuvchanlikni namoyish etadi. String (qator) invertorlari qizib ketishga chidamlilikni, changdan himoyalanish hamda MPPT algoritmlarining aniqligini namoyish etishi bilan O‘zbekistonning aksariyat hududlarida qo‘llash uchun maqbul yechim sifatida taklif etish mumkin.

Intellektual AI/ML-ga asoslangan MPPT algoritmlari nostabil insolyatsiya sharoitida energiya ishlab chiqarishni 5–7% gacha oshirish imkonin beradi, biroq mahalliy ob-havo ma’lumotlariga moslashish hamda ko‘proq hisoblashlarni talab qiladi.

O‘tkazilgan tahlillar asosida quyidagi amaliy tavsiyalarni shakllantirish mumkin:

1. O‘zbekiston hududlari bo‘yicha iqlimiy xavflar xaritasi asosida, invertor tizimlarini, mintaqaviy iqlim xususiyatlarini hisobga olgan holda loyihalash.
2. Cho‘lli va tog‘li hududlarda yuqori germetizatsiya sinfiga (IP65 va undan yuqori) ega bo‘lgan hamda o‘rnatilgan issiqlikdan himoya tizimiga ega invertorlardan foydalanish.
3. Tez ishdan chiqish holatlarining oldini olish va mahalliy xizmat ko‘rsatish oson bo‘lishi uchun **S**tring (qator) arxitekturasidan foydalanish.
4. O‘zgaruvchan insolyatsiyali hududlarda yangi loyihalarga intellektual MPPT kontrollerlarni integratsiyalash.
5. Invertorlar degradatsiyasini real vaqt rejimida baholash uchun bashoratli tahlillarga asoslangan monitoring tizimini joriy etish.

Quyosh fotoelektr stansiyalarining invertor tizimlarini O‘zbekistonning turli iqlim zonalarida samarali ishlatish – faqat texnologik tanlov emas, balki muhim muhandislik strategiyasidir. Issiqlik, chang, namlik va yoritilganlikning o‘zgaruvchanligi invertorlarning ishonchliligi va xizmat muddatiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Shu bois, invertor tizimlarini loyihalashda mahalliy iqlim omillarini chuqur tahlil qilish, zamonaviy MPPT algoritmlarini joriy etish hamda modulli, moslashuvchan arxitekturalarni tanlash zarur. Amaliy tajriba va ilmiy tahlillar asosida ishlab chiqilgan ushbu tavsiyalar energiya tizimlarining barqarorligini oshirish, ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirish hamda uzoq muddatli iqtisodiy samaradorlikka erishish imkonini beradi. Kelgusida bu yo‘nalishda mahalliy sharoitlarga moslashtirilgan, raqamli boshqaruvga asoslangan, iqlimga chidamli invertor tizimlari ishlab chiqilishi muhim vazifalardan biri bo‘lib qolmoqda.

Adabiyotlar

[1]. Nuraliyeva K.S. O‘zbekistonning barqaror energiyaga o‘tishi // Raqamli iqtisodiyot, 2024. №9. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-zbekistonning-barqaror-energiyaga-o-tishi.

[2]. World Energy Outlook 2022. https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022

[3]. Avezov, R.R. and et all. History and State of Solar Engineering in Uzbekistan. Applied Solar Energy. 2012. Vol. 48. – No. 1. – P. 14–19.

[4]. N.R. Avezova, E.Yu. Raximov. O‘zbekistonning gelioenergetik resurslarini baholash uchun ma’lumotlar bazasini shakllantirish va verifikatsiyalash. Qarshi, 2025. 284b.

[5]. www.minenergy.uz

[6]. Узбекистан к 2030 году намерен увеличить долю ВИЭ в энергобалансе страны до 54%. Электронный ресурс] URL: https://www.finmarket.ru/news/6323342

[7]. X.X. Kulmatov. Quyosh fotoelektrik tizimlari ishonchliligini baholash uslublari va ularning chiqish parametrlarini diagnostikalash. T.f.PhD darajasini olish uchun diss.avtoref. Farg‘ona, 2024. 54b.

[8]. Desai, A., Mukhopadhyay, I., & Ray, A. (2020). Performance Analysis of String and Central Inverter based Ideally Designed Utility scale Solar PV Plant. 2020 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2412-2417. https://doi.org/10.1109/PVSC45281.2020.9300494

[9]. Tina, M., Ventura, C., Sera, D., & Spataru, S. (2017). Comparative Assessment of PV Plant Performance Models Considering Climate Effects. Electric Power Components and Systems, 45, 1381 - 1392. https://doi.org/10.1080/15325008.2017.1362072

[10]. Didi, F., & Chaouche, M. (2022). Design and Simulation of Grid-Connected Photovoltaic System’s Performance Analysis with Optimal Control of Maximum Power Point Tracking Based on Artificial Intelligence. Review of Computer Engineering Research. https://doi.org/10.18488/76.v9i3.3144.

[11]. https://www.meteoblue.com/ru/country/

UO‘K 621.314

TOJLANISH HOLATINI ANIQLASH VA MIQDORIY BAHOLASHDA YUQORI KUCHLANISHLI HAVO ELEKTR UZATISH LINIYASIDA DIAGNOSTIKA USULLARINI QO‘LLASH

A.N. Tovbayev, I.B. Tog‘ayev

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti
ORCID: 0000-0003-2677-6977
e-mail: tovboyev70@mail.ru
ORCID: 0000-0002-4481-874X

(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida yuzaga keladigan tojlanish holatini aniqlash va uning miqdoriy ko‘rsatkichlarini baholashda zamonaviy diagnostika usullarini qo‘llash masalalari ko‘rib chiqilgan. Tojlanish hodisasi elektr energiyasining qo‘shimcha isroflariga, elektromagnit va akustik shovqinlarning ortishiga, izolyatsiya elementlari ish rejimining yomonlashishiga hamda uzatish liniyasining umumiy ekspluatatsion samaradorligining pasayishiga sabab bo‘luvchi muhim fizik jarayonlardan biri hisoblanadi. Tadqiqotda tojlanish jarayonini aniqlashda elektr, elektromagnit, akustik, optik va termografik diagnostika usullarining imkoniyatlari tahlil qilingan. Shuningdek, diagnostik kuzatuv natijalari asosida tojlanish intensivligini miqdoriy baholash,*

unga ta’sir etuvchi asosiy omillarni aniqlash hamda yuqori kuchlanishli liniyalarning texnik holatini ishonchli nazorat qilish bo‘yicha yondashuvlar bayon etilgan. Maqolada diagnostika usullarini kompleks qo‘llash tojlanish bilan bog‘liq energiya yo‘qotishlarini aniqlash aniqligini oshirishi, nosozliklarning dastlabki belgilarini o‘z vaqtida aniqlash imkonini berishi va elektr uzatish tizimining ishonchliligi hamda energiya samaradorligini oshirishga xizmat qilishi asoslab berilgan.

Kalit so‘zlar: *yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyasi, tojlanish hodisasi, diagnostika usullari, miqdoriy baholash, energiya yo‘qotishlari, elektromagnit nurlanish, akustik shovqin, termografik nazorat, monitoring, energiya samaradorligi.*

Аннотация. *В данной статье рассмотрены вопросы применения современных методов диагностики для выявления коронного разряда и количественной оценки его параметров на высоковольтных воздушных линиях электропередачи. Явление коронного разряда является одним из важных физических процессов, приводящих к дополнительным потерям электрической энергии, увеличению электромагнитных и акустических помех, ухудшению режимов работы изоляционных элементов, а также снижению общей эксплуатационной эффективности линии электропередачи. В исследовании проанализированы возможности электрических, электромагнитных, акустических, оптических и термографических методов диагностики при выявлении процессов коронированы. Кроме того, на основе результатов диагностических наблюдений изложены подходы к количественной оценке интенсивности коронного разряда, определению основных факторов, влияющих на него, а также к обеспечению надежного контроля технического состояния высоковольтных линий. В статье обосновано, что комплексное применение методов диагностики позволяет повысить точность определения энергетических потерь, связанных с коронным разрядом, своевременно выявлять начальные признаки неисправностей и способствует повышению надежности и энергетической эффективности системы электропередачи.*

Ключевые слова: *высоковольтная воздушная линия электропередачи, коронный разряд, методы диагностики, количественная оценка, потери энергии, электромагнитное излучение, акустический шум, термографический контроль, мониторинг, энергетическая эффективность.*

Annotation. *This article examines the application of modern diagnostic methods for detecting corona discharge conditions and quantitatively assessing their parameters in high-voltage overhead power transmission lines. Corona discharge is one of the significant physical phenomena that leads to additional electrical energy losses, increased electromagnetic and acoustic noise, deterioration of the operating conditions of insulation elements, and a decrease in the overall operational efficiency of the transmission line. The study analyzes the capabilities of electrical, electromagnetic, acoustic, optical, and thermo graphic diagnostic methods in identifying corona discharge processes. In addition, based on the results of diagnostic observations, approaches are presented for the quantitative assessment of corona discharge intensity, determination of the main influencing factors, and reliable monitoring of the technical condition of high-voltage transmission lines. The article substantiates that the integrated application of diagnostic methods improves the accuracy of identifying corona-related energy losses, enables timely detection of early signs of faults, and contributes to enhancing the reliability and energy efficiency of the power transmission system.*

Key words: *high-voltage overhead power transmission line, corona discharge, diagnostic methods, quantitative assessment, energy losses, electromagnetic radiation, acoustic noise, thermo graphic inspection, monitoring, energy efficiency.*

Kirish.

Yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida tojlanish hodisasi elektr maydon kuchlanganligining kritik qiymatdan oshishi natijasida yuzaga keladigan murakkab fizik jarayondir. Mazkur hodisa, ayniqsa, yuqori namlik, tuman, changlanish, yog‘in, shamol tezligi, sim sirtining notekisligi va izolyatsiya elementlarining ifloslanishi sharoitida yanada kuchayadi. Tojlanish jarayoni elektr energiyasining qo‘shimcha isroflariga, radio va elektromagnit xalaqitlarning ortishiga, akustik shovqinning kuchayishiga hamda uzatish liniyasi elementlarining ekspluatatsion ishonchliligi pasayishiga olib keladi [1-5]. Shu sababli yuqori kuchlanishli havo liniyalarida tojlanish holatini o‘z vaqtida aniqlash, uning intensivligini miqdoriy baholash va unga ta’sir etuvchi omillarni diagnostik usullar asosida tahlil qilish muhim ilmiy-amaliy ahamiyati quyidagi 1-jadvalda keltirilgan. Shuningdek, tojlanish intensivligi faqat kuchlanish qiymatiga emas, balki sim sirtining holati, fazalararo masofa, o‘tkazgichning geometrik parametrlari, atmosfera bosimi, havo namligi, harorat, shamol tezligi va ifloslanish darajasi kabi omillarga ham bevosita bog‘liq ekanligi aniqlandi.

1-jadval

№	Diagnostika usuli	Nazorat qilinadigan parametr	Aniqlanadigan holat	Afzalligi	Cheklanishi
1	Elektr diagnostikasi	Kuchlanish, tok, qisman razryad impulslari	Tojlanishning elektr faolligi	Bevosita elektr jarayonni baholaydi	Tashqi xalaqitlarga sezgir
2	Elektromagnit diagnostika	EM nurlanish darajasi, signal spektri	Tojlanish manbaini masofadan aniqlash	Masofaviy nazorat imkoniyati yuqori	Sanoat shovqinlari ta’sir qiladi
3	Akustik diagnostika	Shovqin intensivligi, chastota tarkibi	Tojlanishning akustik belgilarini aniqlash	Oddiy va tezkor usul	Shamol va tashqi tovushlar ta’sir etadi
4	Optik diagnostika	Yorug‘lik nurlanishi, ultrabinafsha izlar	Tojlanish zonasini vizual aniqlash	Ko‘rinarli tasvir olish mumkin	Kunduz kuni aniqligi pasayishi mumkin

Diagnostika usullarining tojlanishni aniqlashdagi qiyosiy samaradorligi quyidagi 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

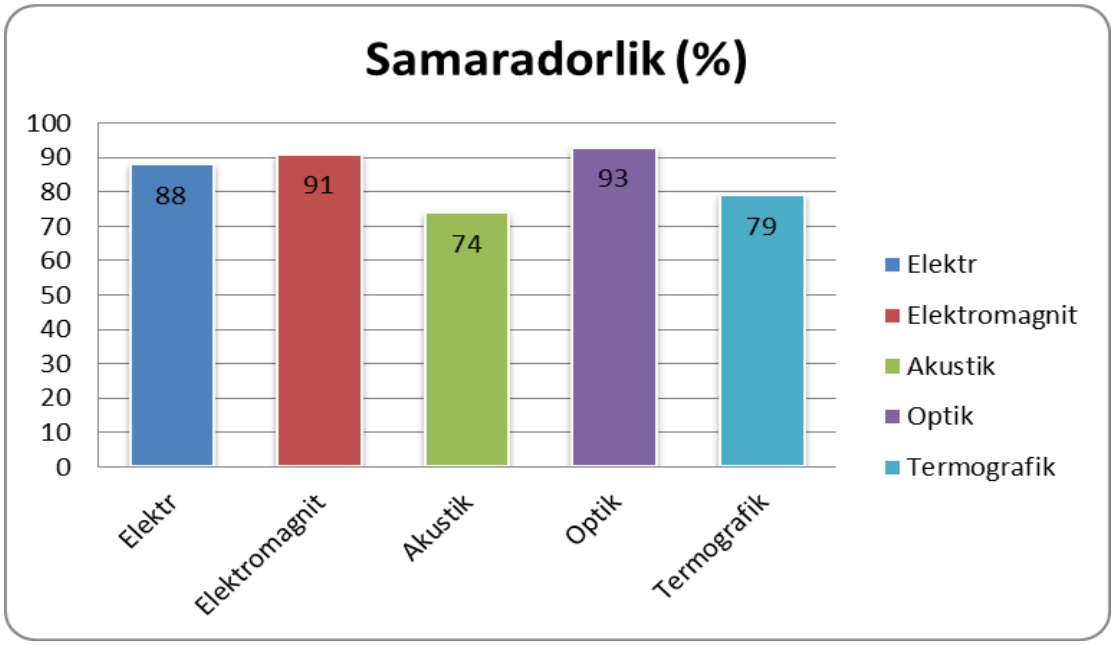
Diagnostika usuli	Erta bosqichni aniqlash	Masofadan nazorat	Miqdoriy baholash imkoniyati	Amaliy qo‘llash qulayligi	Umumiy samaradorlik
Elektr	Yuqori	Past	Yuqori	O‘rta	Yuqori
Elektromagnit	Yuqori	Yuqori	O‘rta	Yuqori	Yuqori
Akustik	O‘rta	O‘rta	O‘rta	Yuqori	O‘rta
Optik	Yuqori	Yuqori	O‘rta	O‘rta	Yuqori
Termografik	O‘rta	Yuqori	Past	Yuqori	O‘rta

Tojlanish holatini aniqlash va miqdoriy baholashda bitta usul bilan cheklanib qolish yetarli emas. Eng yuqori natija elektr, elektromagnit, optik va termografik diagnostika vositalarini o‘zaro uyg‘unlashtirgan holda olinadi. Bunday kompleks yondashuv yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarining texnik holatini aniq baholash, energiya yo‘qotishlarini kamaytirish va ekspluatatsion ishonchlilikni oshirishga xizmat qiladi [6-10].

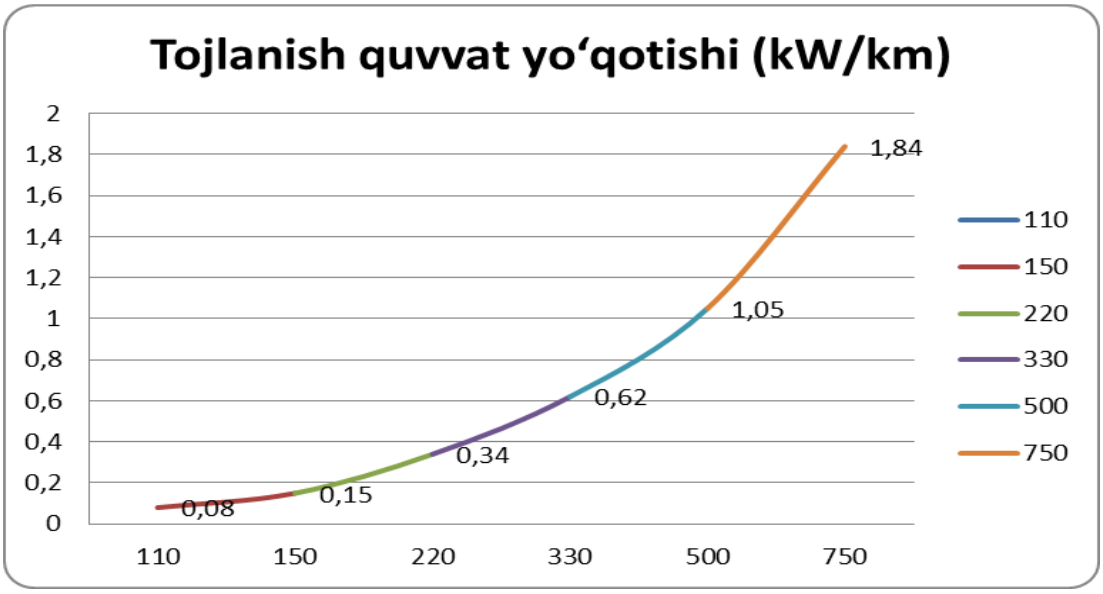
Asosiy qism.

Yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida tojlanish hodisasi o‘tkazgich atrofidagi elektr maydon kuchlanganligi havoning elektr mustahkamligidan oshib ketgan holatda yuzaga keladi. Bunda sim atrofi ionlashadi, ya’ni neytral havo molekulalari zaryadlangan zarrachalarga ajraladi va natijada qisman razryad jarayoni hosil bo‘ladi. Ushbu jarayon to‘liq elektr yorilishiga olib kelmasada, sim sirti yaqinida mahalliy razryadlar, yorug‘lanish, shovqin va elektromagnit nurlanish ko‘rinishida namoyon bo‘ladi. Tojlanish, ayniqsa, elektr maydon notekis taqsimlangan nuqtalarda kuchliroq kuzatiladi. O‘tkazgich sirtidagi g‘adir-budurlik, ifloslanish, namlanish, sim diametrining kichikligi, fazalararo masofaning yetarli emasligi va atmosfera sharoitlarining yomonlashuvi tojlanishning yuzaga kelish ehtimolini oshiradi. Demak, tojlanish hodisasi elektr tarmog‘ining faqat kuchlanish darajasiga emas, balki konstruktiv va tashqi muhit omillariga ham bevosita bog‘liq

murakkab fizik jarayondir.

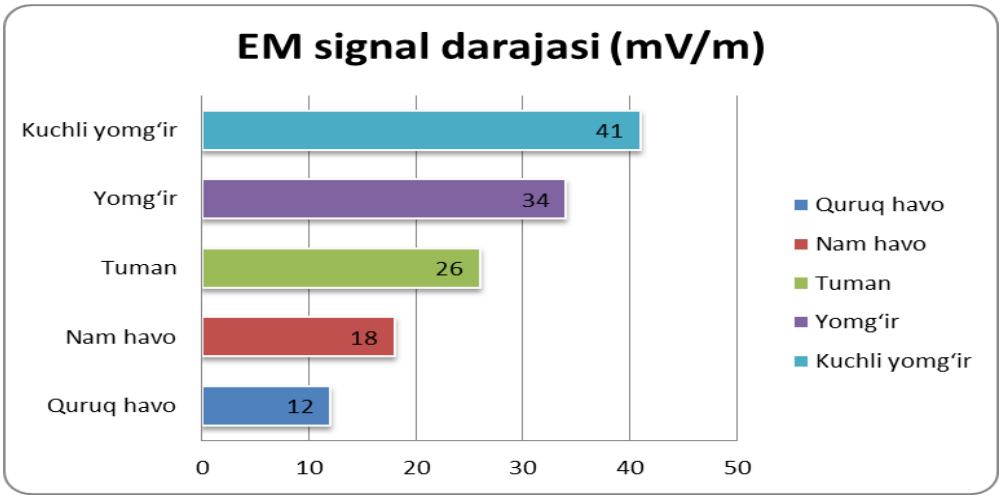


1-rasm. Diagnostika turlarining energiya samaradorligiga ta’siri.

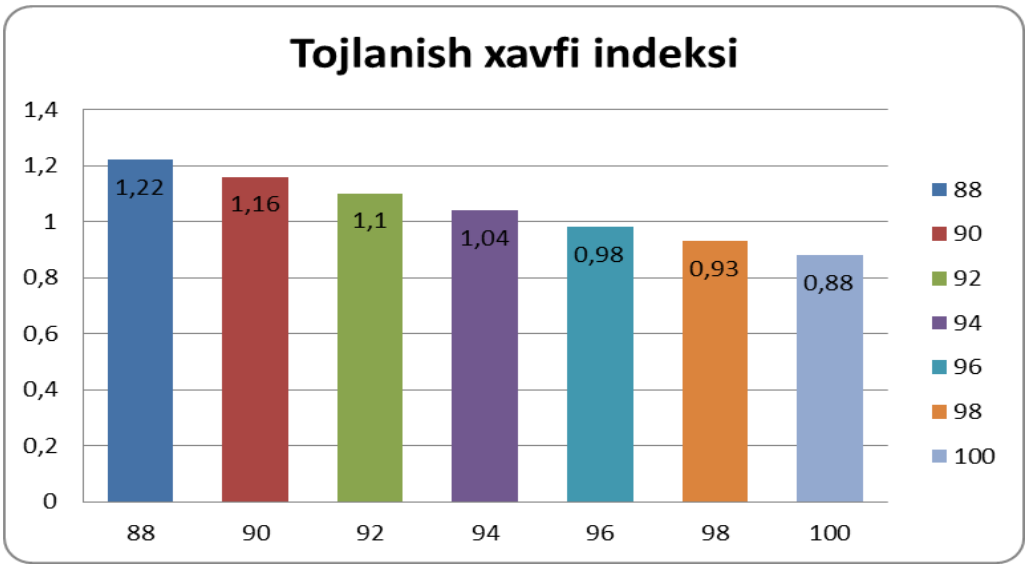


2-rasm. Tojlanish quvvat yo‘qotilishi (kW/km).

Yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida tojlanish hodisasi- elektr maydoni konfiguratsiyasi, muhitning elektr-fizik xususiyatlari, atmosfera omillari va o‘tkazgich–izolyatsiya yuzasining geometrik parametrlari o‘zaro ta’sirida shakllanadigan murakkab elektrofizik jarayon ekanligi aniqlandi**.** Yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida tojlanish hodisasi elektr maydonning notekis taqsimlanishi natijasida sim atrofi zonasida yuzaga keladigan lokal ionlanish jarayonidir. Elektr maydon kuchlanganligi sim sirtiga yaqin nuqtalarda maksimal qiymatga ega bo‘ladi. Agar ushbu qiymat havoning mahalliy elektr mustahkamligidan oshsa, o‘tkazgich atrofi zonasida gaz muhitining qisman buzilishi sodir bo‘ladi. Buning natijasida erkin elektronlar tezlanadi, molekulalar bilan to‘qnashadi va yangi ionlar hamda elektronlar hosil qiladi. Shu tariqa ionlanish zanjirsimon tarzda davom etib, tojlanish razryadini yuzaga keltiradi [10-18].



3-rasm. Elektromagnit signal darajasi (mV/m).



4-rasm. Tojlanish xavfi indeksi

Xulosa.

Yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida tojlanish hodisasi elektr energiyasi uzatish jarayonining samaradorligi, ishonchliligi va texnik holatiga sezilarli ta’sir ko‘rsatuvchi muhim fizik jarayonlardan biri hisoblanadi. Mazkur hodisa elektr energiyasining qo‘shimcha isroflariga, elektromagnit va akustik xalaqitlarning ortishiga, izolyatsiya elementlari ish rejimining yomonlashishiga hamda liniyaning uzoq muddatli ekspluatatsion barqarorligining pasayishiga olib keladi. Shu sababli tojlanish holatini o‘z vaqtida aniqlash va uning intensivligini miqdoriy baholash zamonaviy elektr energetika tizimining dolzarb ilmiy-amaliy vazifalaridan biridir. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, tojlanish jarayonini baholashda elektr, elektromagnit, akustik, optik va termografik diagnostika usullarini qo‘llash yuqori informativlikka ega bo‘lib, ular tojlanishning turli fizik namoyon bo‘lish shakllarini aniqlash imkonini beradi. Har bir usul alohida holda muayyan afzallik va cheklanishlarga ega bo‘lsada, ularni kompleks ravishda qo‘llash diagnostika aniqligi va ishonchliligini sezilarli darajada oshiradi. Ayniqsa, monitoring natijalarini birgalikda tahlil qilish tojlanishning boshlanish bosqichi, rivojlanish darajasi va energiya yo‘qotishlariga ta’sirini aniqroq baholash imkonini yaratadi.

Adabiyotlar

[1]. Корсаков В.Г., Сычев М.М., Бахметьев В.В. Синтез и свойства нанодисперсных полупроводников A_2B_6 и нанолюминофоров. Обзор // Конденсированные среды и межфазные границы. - 2012. - Том 14, № 1. - С. 4152.

[2]. I.Togayev, A.Tovbaev, G. Nodirov, Assessment of the quality of electricity by applying reactive power sources, E3S Web of Conferences, 525, 03004 (2024) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452503004
[3]. G.Boynazarov, A. Tovbaev, U. Usarov, Methology of experimental research of voltage quality in electrical circuit, E3S Web of Conferences 548, 03009 (2024) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454803009
[4]. Raximov, F., Taslimov, A., Majidov, A., & Norqulov, A. (2024). Optimization of losses by switching to higher voltage in distribution networks. In E3S Web of Conferences (Vol. 525, p. 03009). EDP Sciences. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452503009
[5]. Boboqulov J., Narzullayev B, Development of a model for diagnosing rotor conditions in the parallel connection of synchronous generators with the network, E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – T. 525. – C. 06001. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452506001
[6]. Narzullayev B. S., Eshmirzaev M. A, Causes of the appearance of current waves in high voltage electric arc furnaces, and methods of their reduction, E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – T. 417. – C. 03003. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341703003
[7]. Akram Tovbaev., Islom Togaev., Uktam Usarov.,Gulom Nodirov, Reactive power compensation helps maintain a stable voltage profile across the network, AIP Conf. Proc. 3331, 060014 (2025). https://doi.org/10.1063/5.0307209
[8]. Asliddin Norqulov, Feruz Raximov, Methods for evaluating financial and economic effectiveness of investment projects in the energy sector with time factor considerations, AIP Conf. Proc. 3331, 030070-1–030070-6. https://doi.org/10.1063/5.0306104
[9]. Shukhrat Abdullaev., Ziyodullo Eshmurodov., Islom Togaev, A systematic analysis of the gradual increase in quality indicators of electricity using reactive power sources involves several steps, AIP Conf. Proc. 3331, 040051 (2025). https://doi.org/10.1063/5.0306786
[10]. Bobur Narzullayev; Javokhir Boboqulov, Improving reliability based on diagnostics of the technical condition of electric motor stator gutters, AIP Conf. Proc. 3331, 030032 (2025). https://doi.org/10.1063/5.0305735
[11]. Abdurakhim Taslimov., Feruz Raximov., Farrukh Rakhimov., Iles Bakhadirov, Optimal parameters and selection criteria for neutral grounding resistors in 20 kv electrical networks, AIP Conf. Proc. 3331, 030048 (2025) https://doi.org/10.1063/5.0306108
[12]. Islom Togaev., Akram Tovbaev., Gulom Nodirov, Systematic analysis of reactive power compensation in electric networks is essential for improving electricity quality enhancing system stability, and reducing operational costs, AIP Conf. Proc. 3331, 030099 (2025) https://doi.org/10.1063/5.0305740
[13]. Abdurakhim Taslimov., Farrukh Rakhimov., Feruz Rakhimov., Vaxobiddin Mo'minov, Analysis of the results of sampling the surfaces of sections of rural electric networks, AIP Conf. Proc. 3331, 030041 (2025) https://doi.org/10.1063/5.0305783
[14]. Numon Niyozov, Anvar Akhmedov, Shukhrat Djurayev, Botir Tukhtamishev, Asliddin Norqulov, Development of a method for forecasting the specific consumption indicator of electric energy, AIP Conf. Proc. 3331, 080008 (2025) https://doi.org/10.1063/5.0305729
[15]. A.Tovboyev, I.Togayev, I.Uzoqov, G. Nodirov, Use of reactive power sources in improving the quality of electricity, E3S Web of Conferences 417, 03001 (2023) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341703001
[16]. N Ataullayev, A Norqulov, B Muxammadov, A Majidov, I Togayev. Principles of protection against single phase earth faults in networks with capacitive current compensation. E3S Web of Conferences 548, 06008. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454806008
[17]. IB Tog'Ayev, AA Tursunova, MA Eshmirzayev. Center of science and enlightenment. Problems and scientific solutions 4 (3), 285-287.
[18]. SF Amirov, AO Ataullaev, MK Sayidov, IB Togayev. Methods of reduction of interference signals in electromagnetic conductors that measure fluid flow. Journal of Physics: Conference Series 2094 (5), 052053

ISSIQLIK ELEKTR STANSIYALARIDA QURUQ TIPDAGI SUV SOVITISH MINORASIDAN FOYDALANISH SAMARADORLIGINI BAHOLASH

B.G. Soliyev

Fergana state technical university
**Corresponding author, e-mail: bobonazarsoliyev@gmail.com*
(Received on March 10 th, 2026)

Abstract. *This article provides a detailed analysis of the technical and economic aspects of dry-type cooling towers used for circulating water cooling in thermal power plants. Compared to traditional wet cooling towers, dry-type towers offer advantages such as water resource conservation and reduction of thermal pollution into the environment. However, their capital costs are 1.5-2 times higher, and the vacuum in the condenser is 3-4% lower. This article comparatively studies dry cooling technologies such as the*

Heller system, the HEAD hybrid system, and air condensers. Heat balance equations, efficiency coefficients, and economic indicators are analyzed using formulas. Furthermore, the impact of dry cooling towers on reliability, environmental safety, and operational costs is assessed.

Keywords: *dry cooling tower, Heller system, thermal power plant, water saving, condenser, environmental protection, economic efficiency, heat balance.*

Аннотация. *В данной статье подробно анализируются технические и экономические аспекты сухих градирен, используемых для охлаждения оборотной воды на тепловых электростанциях. По сравнению с традиционными мокрыми градирнями, сухие градирни имеют преимущества в виде экономии водных ресурсов и снижения теплового загрязнения окружающей среды. Однако их капитальные затраты в 1,5-2 раза выше, а вакуум в конденсаторе на 3-4% ниже. В статье проведено сравнительное исследование таких технологий сухого охлаждения, как система Хеллера, гибридная система HEAD и воздушные конденсаторы. Проанализированы уравнения теплового баланса, коэффициент эффективности и экономические показатели с помощью формул. Также оценено влияние сухих градирен на надежность, экологическую безопасность и эксплуатационные расходы.*

Ключевые слова: *сухая градирня, система Хеллера, тепловая электростанция, экономия воды, конденсатор, охрана окружающей среды, экономическая эффективность, тепловой баланс.*

Annotatsiya. *Ushbu maqolada issiqlik elektr stansiyalarida aylanma suvni sovutish uchun qo‘llaniladigan quruq tipdagi sovutish minoralarining texnik va iqtisodiy jihatlari batafsil tahlil qilinadi. An’anaviy suv sovituvchi minoralar bilan solishtirganda, quruq tipdagi minoralar suv resurslarini tejash va atrof-muhitga issiqlik ifloslanishini kamaytirish afzalliklariga ega. Biroq ularning kapital xarajatlari 1,5-2 baravar yuqori, kondensatordagi vakuum esa 3-4% past. Maqolada Heller tizimi, HEAD gibrid tizimi va havo kondensatorlari kabi quruq sovutish texnologiyalari qiyosiy o‘rganilgan. Issiqlik balansi tenglamalari, samaradorlik koeffitsiyenti va iqtisodiy ko‘rsatkichlar formulalar asosida tahlil qilingan. Shuningdek, quruq sovutish minoralarining ishonchlilik, ekologik xavfsizlik va ekspluatatsion xarajatlarga ta’siri baholangan.*

Kalit so‘zlar: *quruq sovutish minorasi, Heller tizimi, issiqlik elektr stansiyasi, suv tejash, kondensator, atrof-muhit muhofazasi, iqtisodiy samaradorlik, issiqlik balansi.*

1. Kirish. Issiqlik elektr stansiyalarida turbinadan chiqqan bug‘ni kondensatsiyalash jarayoni samaradorlik va ishonchlilikning asosiy omillaridan biridir. Renkin sikli bo‘yicha ishlaydigan bug‘ turbinali qurilmalarda turbinadan chiqqan bug‘ning kondensatsiyasi tufayli siklning foydali ish koeffitsiyenti sezilarli darajada oshadi.

An’anaviy sovutish usullari – to‘g‘ri oqimli va sirkulyatsion tizimlar katta hajmdagi suv resurslarini talab qiladi. To‘g‘ri oqimli tizimlarda suv tabiiy manbadan olinadi va isitilgan holda qayta shu manbaga tashlanadi, bu esa termik ifloslanishga olib keladi. Tepadan suv purkab sovitiladigan minoralar esa suvning bir qismini bug‘latib yuboradi va doimiy to‘ldirishni talab qiladi.

So‘nggi yillarda suv resurslarining tanqisligi va ekologik talablarning kuchayishi quruq tipdagi sovutish minoralariga bo‘lgan qiziqishni oshirmoqda. Quruq tipdagi minoralarda suv yopiq konturda aylanadi va issiqlik havoga to‘g‘ridan-to‘g‘ri metall radiatorlar orqali uzatiladi. Ushbu maqolada quruq sovutish tizimlarining turlari, ularning afzalliklari va kamchiliklari, kapital va ekspluatatsion xarajatlari, hamda atrof-muhit va ishonchlilikka ta’siri tahlil qilinadi. [1-2]

2.Sovitish tizimlarining tasnifi. Sovitish minorasining har qanday turining ishlash prinsipi suvni yoki boshqa suyuqlikni atmosfera havosi yordamida sovitishga asoslangan. Bu yerda havo sovutuvchi vosita sifatida xizmat qiladi, bu esa ularni boshqa turdagi sovutish qurilmalaridan ajratib turadi.

Hozirgi kunda sovutish uchun mo‘ljallangan suv sovitish minoralari bir nechta turlarga va ko‘rinishlarga ega bo‘lib, ular turli belgilar va mezonlarga ko‘ra tasniflanadi.

Issiqlik elektr stansiyalarida quyidagi sovitish tizimlaridan foydalaniladi:

1.To‘g‘ri oqimli sovitish tizimlari – suv tabiiy manbadan ya’ni daryo yoki turli suv havzalaridan olinadi, bug‘ kondensatori orqali o‘tib bug‘ni kondensatga aylantiradi va yana qaytib manbaga qaytariladi.

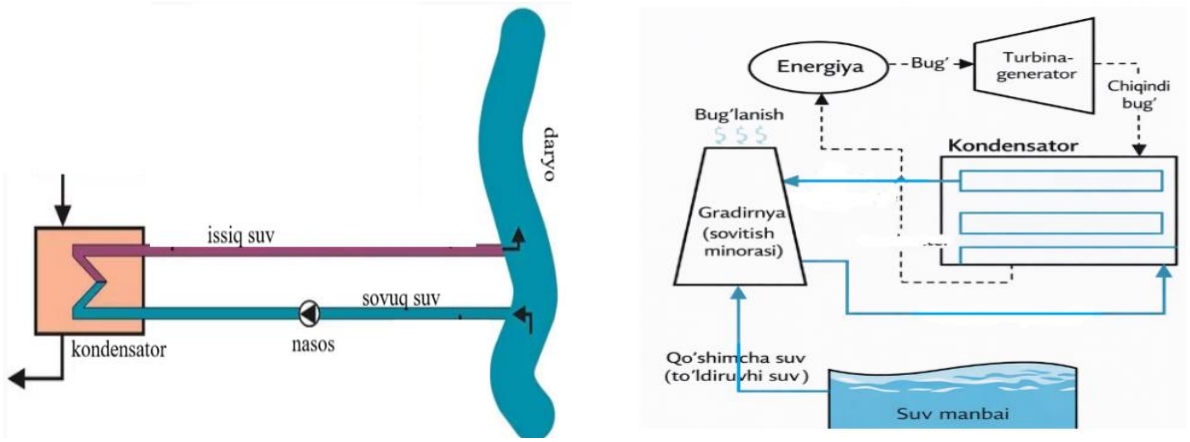
2.Sirkulyatsion sovitish tizimi – bu tizimda ham suv daryo, anhor yoki yer ostidan olinadi va kerakli darajada tozalanadi. Bu tizimda suv kondensatorda bug‘ni kondensatsiyalagandan so‘ng, maxsus

suv sovitish minorasidan foydalanib, sovitiladi, isrof bo‘lgan suvni o‘rni to‘ldiriladi va jarayon davom etadi.

Bug‘latadigan suv sovitish minorasi quyidagicha ishlaydi: issiq suv forsunka va purkagichlar orqali mayda tomchilarga ajratilib, suv bug‘i ko‘rinishida purkaladi. Atmosfera havosi bilan kontaktda bo‘lganda, havoning harorati ancha past bo‘lgani va bug‘lanish effekti hisobiga suyuqlik soviydi va suv sovitish minorasi tagidagi havzaga yig‘iladi, bir qismi esa bug‘ holida tashqariga chiqib ketadi.

Yopiq turdagi ho‘l gradirnilarda germetik issiqlik almashinuvchi qurilma joylashgan bo‘lib, undan asosiy konturdagi suv yoki sovitilayotgan suyuqlik o‘tadi, o‘zi esa tashqi muhitdan keladigan suv va havo yordamida sovitiladi. [1-4]

Bunday joylashuv tufayli aylanuvchi suvning atrof-muhit bilan kontakti yo‘q qilinadi, ya’ni konturga turli xil axlat va ifloslanishlarning tushishi ham oldi olinadi.



a) b)

1-rasm. Issiqlik elektr stansiyalarda foydalaniladigan suv sovitish tizimlari. a-to‘g‘ridan oqimli sovitish tizimlari; b- sovitish minorasidan foydalaniladigan sirkulyatsion sovitish tizimi;

3.Quruq tipdagi sovitish minoralari – bunda sovitiladigan issiqlik tashuvchi yopiq issiqlik almashinish qurilmasi ichida harakatlanadi va u ventilyatorlar yordamida hosil qilingan havo oqimi bilan sovutiladi. Issiqlik almashinuvi samaradorligini oshirish uchun issiqlik almashgich mis yoki alyuminiy quvurlardan tayyorlanadi hamda ular yuzasi qovurg‘ali bo‘lib, issiqlik almashinish maydonini kengaytiradi. Quruq tipdagi suv sovitish minorasining imkoniyati issiqlik tashuvchini odatda 5°C–7°C gacha sovitish bilan cheklanadi.

3.Quruq tipdagi suv sovitish minorasini qo‘llashning qiyosiy tahlili. Bug‘ turbinasida ish bajaraib bo‘lgan bug‘ni sovitib kondensatga aylantirish uchun kondensatordan foydalaniladi. Kondensatordagi issiqlik balansi tenglamasi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$Q_k = D_k \cdot (i_k - i'_k) = W \cdot c_s \cdot (t_1 - t_0) \quad (1.1)$$

bu yerda: Q_k – kondensatorning issiqlik yuki, kVt; D_k – kondensatorga kirayotgan bug‘ning sarfi, kg/s; i_k – bug‘ning entalpiyasi, kJ/kg; i'_k – kondensatning entalpiyasi, kJ/kg; W – sovutish suvining sarfi, kg/s; c_s – suvning solishtirma issiqlik sig‘imi, kJ/(kg·K); t_1 – chiqayotgan suvning harorati, °C; t_0 – kirayotgan suvning harorati, °C.

Quruq sovutish minorasidagi radiator uchun umumiy issiqlik uzatish koeffitsiyenti:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_s} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_h}$$

bu yerda: K – umumiy issiqlik uzatish koeffitsiyenti, Vt/(m²·K); α_s – suv tomondan issiqlik berish koeffitsiyenti, Vt/(m²·K); α_h – havo tomondan issiqlik berish koeffitsiyenti, Vt/(m²·K); δ – devor qalinligi, m; λ – devor materialining issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti, Vt/(m·K). [4-6]

Quruq sovutish minorasining samaradorlik koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

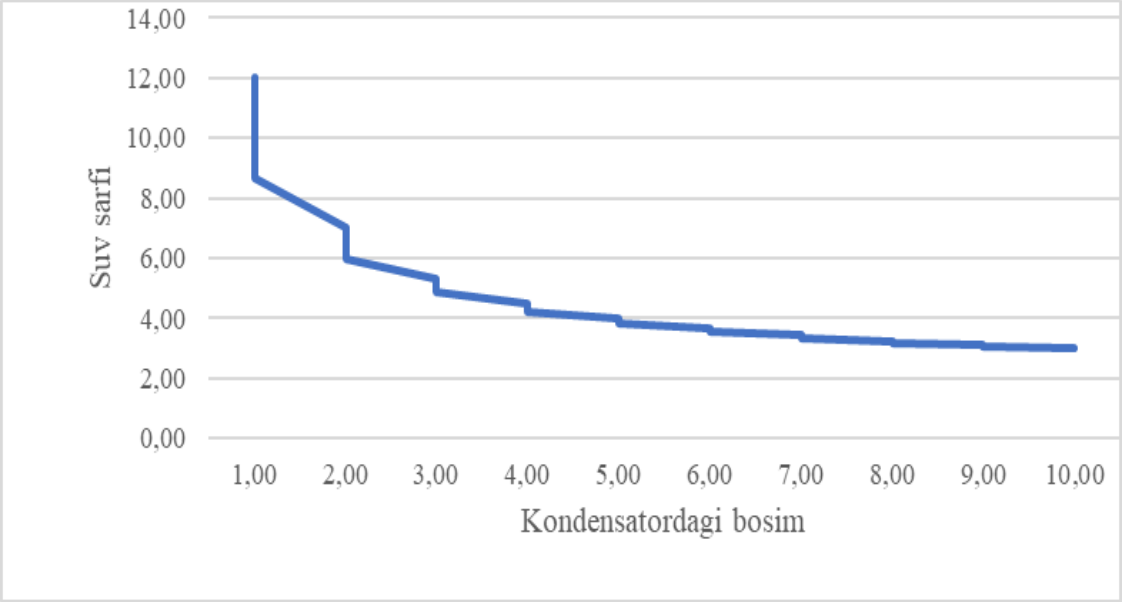
$$\varepsilon = \frac{t_{s,kir} - t_{s,chiq}}{t_{s,kir} - t_h}$$

bu yerda: ε – sovutish minorasining samaradorlik koeffitsiyenti; $t_{s,kir}$ – minoraga kirayotgan suvning harorati, °C; $t_{s,chiq}$ – minoradan chiqayotgan suvning harorati, °C; t_{havo} – havo harorati, °C.

Turbinaning elektr quvvati va sovutish suvi sarfi o‘rtasidagi bog‘liqlik:

$$N_{el} = \eta_{ts} \cdot Q_k = \eta_{ts} \cdot W \cdot c_s \cdot \Delta t$$

bu yerda: N_{el} – turbinaning elektr quvvati, kVt; η_{ts} – turbina qurilmasining termik samaradorligi.



2-rasm. Issiqlik elektr stansiyasidagi bug‘ bosimini suv safriga bog‘liqlik grafigi.

Quruq sovutish tizimining energetik samaradorligi an’anaviy sovutishga nisbatan pastroq. Bu quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$\Delta N = N_{an'anaviy} - N_{quruq} = \eta_{ts} \cdot Q_k \cdot \left(1 - \frac{\Delta T_{an'anaviy}}{\Delta T_{quruq}}\right)$$

Yuqoridagilarni 200 MVt quvvatli energoblok uchun hisoblasak quyidagi natijalar kelib chiqadi:

An’anaviy suv sovitish minoralaridagi harorat $t_{an'anaviy} \approx 25°C$, $P_k \approx 4kPa$, quruq tipdagi suv sovitish minoralarida: $t_{s,ch} \approx 35°C$, $P_k \approx 8kPa$, bundagi quvvat yo‘qotilishi taxminan 5-7 MVt (2,5-3,5%) ni tashkil qiladi.

Kapital xarajatlar farqi:

$$\Delta K = K_{quruq} - K_{ho'l} = (0{,}5 \div 1{,}0) \cdot K_{an'anaviy}$$

Ekspluatatsion xarajatlarni tejash (suv to‘lovlari va tozalash xarajatlari hisobiga):

$$\Delta C_{eksp} = C_{suv} + C_{tozalash} \approx (10 \div 20)\% \cdot C_{eksp,an'anaviy}$$

Qoplanish muddati:

$$T_{qopl} = \frac{\Delta K}{\Delta C_{eksp} + \Delta N \cdot C_{el}}$$

bu yerda C_{el} – elektr energiyasining narxi.

1-jadval.

An’anaviy va quruq tipdagi sovutish tizimlarining qiyosiy tavsifi

Ko‘rsatkich	an‘anaviy sovutish minorasi	Quruq tipdagi sovutish minorasi
Suv iste’moli (nisbiy)	1,0	0,02-0,05
Kapital xarajatlar (nisbiy)	1,0	1,5 – 2,0
Kondensator bosimi (kPa)	3-5	6-10
Elektr quvvati yo‘qotilishi (%)	–	3-5
Atrof-muhitga ta’siri	Yuqori	Minimal
Ekspluatatsion xarajatlar	O‘rtacha	Past
Muzlash xavfi	Yo‘q	Bor (sovuq iqlimda)

2-jadval.

Atrof-muhitga ta’sir qiyosiy jadvali

Ko‘rsatkich	An’anaviysovitish minorasi	Quruq tipdagi sovitish minora
Suv sarfi (m³/MVt·soat)	50-80	0,5-1,0
Issiqlik ifloslanishi	Yuqori	Yo‘q
Kimyoviy reagentlar	Kerak	Kerak emas
Tuman hosil bo‘lishi	Bor	Yo‘q
Tuproq sho‘rlanishi	Mumkin	Yo‘q

4. Muhokama va natijalar. Olib borilgan tahlillar natijasida quyidagi asosiy xulosalarga kelindi:

- texnik jihatdan – quruq tipdagi sovutish minoralari an’anaviy sovitish minoralariga nisbatan past samaradorlikka ega (kondensator bosimi 3-4% yuqori, quvvat 2,5-3,5% kam). Biroq zamonaviy tizimlar bu farqni sezilarli darajada kamaytiradi.
- iqtisodiy jihatdan – kapital xarajatlar 1,5-2 baravar yuqori bo‘lsada, suv sarfi, ekologik va gidrotexnik inshootlarning yo‘qligi uzoq muddatda iqtisodiy samara beradi. O‘zini o‘zi qoplash muddati suv narxiga bog‘liq bo‘lib, suv qimmat bo‘lgan hududlarda 5-8 yilni tashkil qiladi.
- ekologik jihatdan – quruq suv sovitish minoralari suv resurslarini tejaydi, issiqlik ifloslanishini keltirib chiqarmaydi, tuz chiqindilari va tuman hosil qilmaydi. Bu ayniqsa suv tanqisligi bo‘lgan va ekologik talablar yuqori bo‘lgan hududlar uchun muhim.
- ishonchlilik jihatdan – quruq tipdagi suv sovitish minoralarida korroziya va biologik o‘sish muammolari yo‘q, ammo sovuq iqlim sharoitida muzlash xavfi mavjud. Muzlashning oldini olish uchun maxsus choralar talab qilinadi.

5. Xulosa . Ushbu maqolada issiqlik elektr stansiyalarida quruq tipdagi sovutish minoralarini qo‘llashning texnik, iqtisodiy va ekologik jihatlari batafsil tahlil qilindi.

- quruq tipdagi suv sovitish minoralari suv resurslarini tejash va atrof-muhit muhofazasi nuqtai nazaridan an’anaviy minoralarga nisbatan sezilarli afzalliklarga ega.
- bu tizim bilvosita quruq tipdagi sovutishning eng samarali va ishonchli varianti hisoblanadi.
- tizim yozgi eng yuqori yuklarda quvvat pasayishining oldini oladi, bu ayniqsa issiq iqlimli hududlar uchun dolzarb.
- quruq tipdagi sovutishning kapital xarajatlari yuqori bo‘lsada, suv sarfi, ekologik soliqlar va gidrotexnik inshootlarning yo‘qligi iqtisodiy samara beradi.
- quruq tipdagi minoralarni qo‘llash istiqbolli yo‘nalish bo‘lib, ayniqsa suv tanqisligi bo‘lgan hududlarda va ekologik talablar yuqori bo‘lgan loyihalarda tavsiya etiladi.

Kelajakda quruq sovutish tizimlarining ulushi oshishi kutilmoqda.

Adabiyotlar

[1]. Тепловые и атомные электрические станции. А.С. Матвеев. Учебное пособие. Издательство ТПУ. 2009

[2]. Электронны й учебно-м етодический комплекс по учебной дисциплине «Тепловы е электрические станции» для специальности 1-53 01 04 «Автоматизация и управление теплоэнергетическим и процессам и» [Электронный ресурс] / Б елорусский национальный технический университет, К аф едра «Тепловы е электрические станции» ; сост.: Н. Б. Карницкий, С. А. Качан. - М инск : БН ТУ , 2021.

[3]. К удинов, А .А . Тепловы е электрические станции: схемы и оборудование : уч ебн ое п особи е для студентов высших учебны х заведений, обучаю щ ихся по направлению подготовки 13.03.01 "Теплоэнергетика и теплотехника" /А .А . К удинов. - Москва: И Н Ф РА -М , 2018. - 323 с.

[4]. Cooling Tower Fundamentals. John C. Hensley. SPX Cooling Technologies, Inc. Overland Park, Kansas USA. 2025

[5]. Cooling Towers. A. Bhatia, B.E. An Approved Continuing Education Provider 2021

[6]. Cooling Tower Performance Evaluation. D G KrogerWRC Report No. 478/1/96 ISBN 1 86845 230. 2024.

УДК 620.9:661.96

VODORODNI METALLARDA SAQLASH TEXNOLOGIYASI

M.S. Payzullaxonov[1,2], O.R. Parpiev[1], E.Z. Nodirmatov[1], F.A. Giyasova[3], L.S. Suvonova[4], S.U. Turopova[1], A.A. Kuchkarov[2], J.V. Yusupaliyev[2]

[1] O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Materialshunoslik instituti,Toshkent shahri, Chingiz Aytmatov ko‘chasi, 2-b uy

[2] Farg‘ona davlat texnika universiteti, Farg‘ona shahri, Universitet ko‘chasi, 86-uy

[3] Toshkent shahridagi KIME xalqaro universiteti,Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Shota Rustaveli ko‘chasi, 156-uy

[4] “Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” milliy tadqiqot universiteti,Toshkent shahri, Mirzo Ulug‘bek tumani, Qori Niyoziy ko‘chasi, 39-uy

(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Mazkur ishda kuyuvchi qo‘shimchalar yordamida sintez qilingan g‘ovak alyumosilikat materiallari tadqiq qilindi. Ushbu materiallar zeolit tipidagi bir fazali kubik strukturani (Fm3m, a = 4.056 Å) hosil qilishi aniqlangan. Zeolit tarkibli g‘ovak keramika 200 °C haroratda va 12 atm vodorod bosimida 11 mass.% miqdorda vodorod absorbsiyasini namoyon etdi.Shuningdek, boshlang‘ich metall litiy (OKK, a ≈ 3.507 Å) ishlab chiqilgan germetik reaktorda 12 atm bosim va 700 °C haroratda gidrirlash jarayoniga uchratildi. Natijada LiH gidridi (GCK, NaCl tipidagi struktura, a ≈ 4.081 Å, d111 ≈ 2.356 Å) hosil bo‘ldi. Hosil bo‘lgan LiH kristallitlarining o‘rtacha o‘lchami 100 nm dan oshmaydi, litiy uchun maksimal vodorod sig‘imi esa 12.4 mass.% ga yetdi.Ishlab chiqilgan reaktor yuqori harorat va yuqori bosim sharoitida xavfsiz gidrirlash jarayonini ta’minlaydi. Olingan natijalar litiy, titan va natriy gidridlari hamda g‘ovak alyumosilikat materiallari vodorodni akkumulatsiya qilish, saqlash va transport qilish uchun istiqbolli materiallar ekanligini ko‘rsatadi.*

Kalit so‘zlar: *g‘ovak alyumosilikatlar, litiy gidridi, sintez, gidrirlash, rentgen fazaviy tahlil, vodorod saqlash, kubik struktura, vodorod sig‘imi.*

Abstract. *In this work, synthesized porous aluminosilicate materials containing burnout additives were investigated. These materials form a single-phase cubic structure of the zeolite type (Fm3m, a = 4.056 Å). Porous ceramics with a zeolite composition exhibited hydrogen absorption of 11 wt.% at a temperature of 200 °C and a hydrogen pressure of 12 atm.In addition, the initial metallic lithium (BCC, a ≈ 3.507 Å) was subjected to hydrogenation in a specially designed hermetic reactor at 12 atm and 700 °C, resulting in the formation of lithium hydride LiH (FCC structure of the NaCl type, a ≈ 4.081 Å, d111 ≈ 2.356 Å). The average crystallite size of LiH did not exceed 100 nm, and the maximum hydrogen storage capacity of lithium reached 12.4 wt.%.The developed reactor ensures safe hydrogenation under high-temperature and high-pressure conditions. These results demonstrate the promising potential of lithium, titanium, and sodium hydrides, as well as porous aluminosilicates, for hydrogen accumulation, storage, and transportation.*

Keywords: *porous aluminosilicates, lithium hydride, synthesis, hydrogenation, X-ray phase analysis, hydrogen storage, cubic structure, hydrogen capacity.*

Аннотация. *В работе исследованы синтезированные пористые алюмосиликатные материалы с выгорающими добавками, формирующие однофазную кубическую структуру цеолитового типа*

(Fm3m, a = 4.056 Å). Пористая керамика цеолитового состава при температуре 200°C и давлении водорода 12 атм проявляла абсорбцию водорода в количестве 11 мас.%. Также изучен исходный металлический литий (ОЦК, a ≈ 3.507 Å), подвергшийся гидрированию в разработанном герметичном реакторе при 12 атм и 700 °C с образованием гидрида LiH (ГЦК, NaCl-тип, a ≈ 4.081 Å, d_{111} ≈ 2.356 Å). Средний размер кристаллитов LiH не превышает 100 нм, а максимальная водородоёмкость лития достигала 12.4 мас.%. Разработанный реактор обеспечивает безопасное высокотемпературное и высоконапорное гидрирование. Эти данные демонстрируют перспективность гидридов лития, титана и натрия и пористых алюмосиликатов для аккумулирования, хранения и транспортировки водорода.

Ключевые слова: *пористые алюмосиликаты, гидрид лития, синтез, гидрирование, рентгенофазовый анализ, водородное хранение, кубическая структура, водородоёмкость.*

Введение.

Газообразные виды топлива, в первую очередь водород и метан, в настоящее время рассматриваются как наиболее перспективные энергоносители, поскольку их использование в существующих энергетических установках и двигателях технически реализуемо при достаточно высоком коэффициенте полезного действия [1]. По оценкам IHS Cambridge Energy Research Associates, мировые запасы природного газа способны обеспечивать энергетические потребности человечества как минимум в течение 250 лет [2]. Вместе с тем ключевым фактором, сдерживающим широкое применение газовых топлив, особенно для автономных и удалённых источников энергии, остаётся отсутствие энергоэффективных, пожаро- и взрывобезопасных систем хранения и транспортировки, обладающих высокой плотностью аккумулированного газа [3-6]. В этой связи разработка альтернативных, более безопасных способов аккумулирования водорода является одной из ключевых задач водородной энергетики.

Объёмная плотность водорода в металлогидридных системах может достигать 120-150 кг·м$^{-3}$, что существенно превышает значение ~39 кг·м$^{-3}$ для сжатого водорода при давлении 700 бар [7-11]. Вместе с тем процессы гидрирования, как правило, реализуются при температурах 300-700 °C и давлениях водорода выше 100 атм, что приводит к значительным энергетическим затратам и накладывает ограничения, связанные с кинетикой фазовых превращений и термической стабильностью [12-14].

В последние годы значительный интерес привлекают пористые неорганические материалы, прежде всего алюмосиликатные и оксидно-алюминиевые керамики, способные аккумулировать водород за счёт сочетания физической адсорбции и диффузии в развитой пористой структуре [15-25]. В качестве эталонной системы для оценки предельных возможностей твердофазного хранения водорода представляет интерес гидрид лития. Литий обладает одной из наибольших теоретических водородных ёмкостей, а формирование LiH сопровождается значительным увеличением массы материала. [26-29]. На этом фоне пористые алюмосиликатные керамики, сочетающие развитую пористую структуру, контролируемый фазовый состав и возможность работы при умеренных температурах и давлениях, рассматриваются как перспективная альтернатива традиционным металлическим гидридам [31, 31]. Однако количественные взаимосвязи между их химическим составом, параметрами пористой структуры, фазовым состоянием и водородопоглощающими характеристиками остаются недостаточно изученными [32, 33]. Устранение данного пробела представляет важную научную и прикладную задачу.

Экспериментальные образцы и методика исследования

В ходе экспериментальных исследований по синтезу материалов были апробированы различные составы, направленные на получение пористой керамики. Пористые керамические материалы формировали методом введения выгорающих добавок в матрицу керамической массы. Химический состав исходных компонентов представлен в таблице 1.

Исходное сырьё, использованное для получения пористой керамики, соответствовало химическому составу, приведённому в таблице 1.

Таблице 1.

Химический состав исходного состояния сырьевого материала

Оксид	Al_2O_3	P_2O_5	SiO_2	Na_2O	Fe_2O_3	SO_3
Содержание, мас.%	67.12	0.21	25.21	6.88	0.02	0.56

Эксперименты по гидрированию проводили с использованием пористых материалов цеолитового типа и металлов (алюминий, железо, магний, титана и литий), применяемых как в насыпном, так и в порошкообразном состоянии [34, 35]. Процесс гидрирования осуществляли в реакторе, оснащённый высокотемпературной насадкой(рис.1 и 2).

Рис.1. Высокотемпературный герметичный реактор для процессов гидрирования.

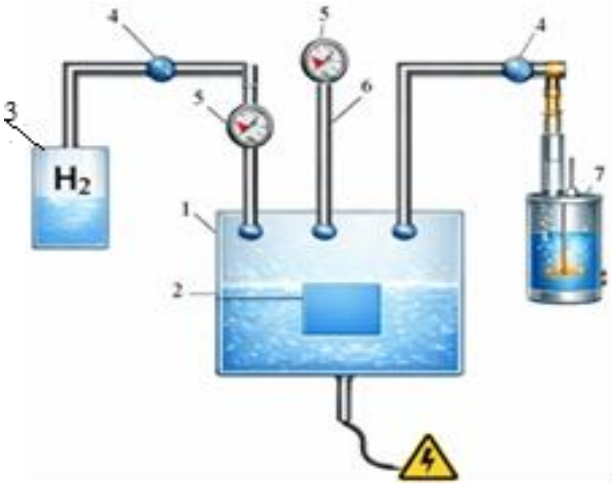


Рис.2. Схема печи-реактора для гидрирования абсорбционных материалов при высоких температурах (до 700 °C) и давлениях водорода до 15 атм, включающая: 1 - стальной печь-реактор; 2 - абсорбер; 3 - баллон с водородом для подачи газа в печь-реактор; 4 - запорная и регулирующая арматура (вентили); 5 - средства измерения давления и температуры; 6 - термопара; 7 - резервуар для отработанных газов.

Представленный контейнер высокотемпературного реактора (рис.1), выполненный из нержавеющей стали и оснащённый герметичной крышкой с системой болтового прижима. Реактор работает по указанной схеме (рис.2), который укомплектован манометром для контроля давления, газовыми подводами и запорной арматурой, обеспечивающими подачу и выпуск рабочего газа, а также средствами герметизации для работы при повышенных температурах и давлениях. Нагрев реакционной зоны осуществляется с использованием электрического нагревательного модуля с цифровым контроллером температуры, позволяющим точно задавать и поддерживать температурный режим в ходе экспериментов по гидрированию. Степень гидрирования оценивали по относительному приросту массы:

$$\alpha=[(M-M_0)/M_0]\times 100\%, \quad (1)$$

где M_0 - масса исходного образца, M - масса после гидрирования.

Результаты и их обсуждения

Как известно, цеолиты обладают высокой абсорбционной способностью и широко применяются в процессах очистки воды от углеводородов. Эффективность сорбции у этих материалов сильно зависит от их микроструктуры: мелкозернистая структура цеолитов обеспечивает повышенную сорбционную активность. В частности, микроструктурные особенности пористой керамики цеолитового алюмосиликатного состава Al_2SiNaO_6, исследованные методом сканирующей электронной микроскопии, представлены на рис. 3 при увеличении ~×1000.

Анализ изображения показывает, что материал характеризуется развитой иерархической пористой структурой. Размеры первичных частиц и их агломератов находятся в диапазоне 1-10 мкм, что соответствует масштабным меткам на микрофотографии. Межзерновое пространство образовано системой открытых пор преимущественно микронного и субмикронного размеров (~ 0,3–2 мкм), что указывает на высокую открытую пористость материала. Такая морфология указывает на формирование разветвлённой поровой сети, обеспечивающей эффективный массоперенос газовых и жидких сред. Шероховатая поверхность зёрен способствует увеличению удельной поверхности, которая для цеолитовых алюмосиликатных материалов, как правило, достигает значений 100-400 м²/г. Наблюдаемые локальные области уплотнения размером до 5-8 мкм могут быть связаны с частичным спеканием и перекристаллизацией алюмосиликатной матрицы в процессе термообработки. При этом сохранение открытых пор указывает на то, что температура обжига была ниже порога интенсивной усадки и закрытия пор, что является важным фактором для функциональных свойств материала. Сформированная микроструктура обеспечивает сочетание механической связности керамического каркаса и развитой внутренней поверхности. Это позволяет ожидать высокую адсорбционную ёмкость (порядка 0.5-2.0 ммоль/г для малых молекул) и перспективность применения пористой керамики Al_2SiNaO_6 в процессах адсорбции, ионного обмена и катализа, а также в системах хранения и транспортировки газов, включая водород.

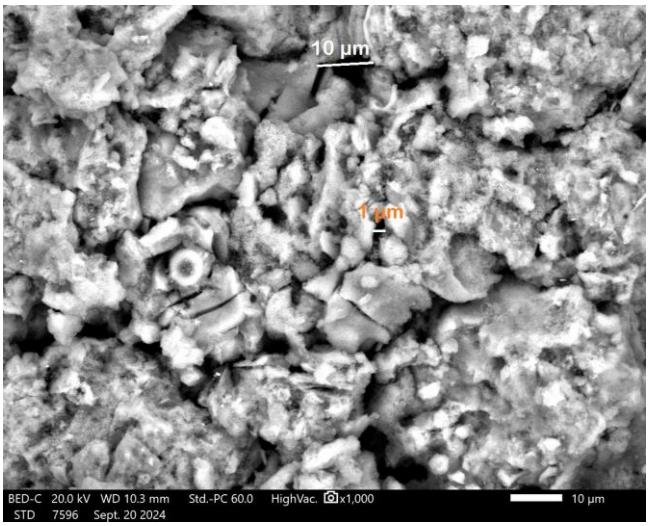


Рис.3. СЭМ-изображение микроструктуры пористой керамики цеолитового алюмосиликатного состава Al_2SiNaO_6.

Рентгенофазовый анализ (РФА) (рис.4) разработанного материала на основе оксида алюминия был выполнен с целью установления фазового состава, кристаллографических параметров и структурного состояния синтезированного образца.

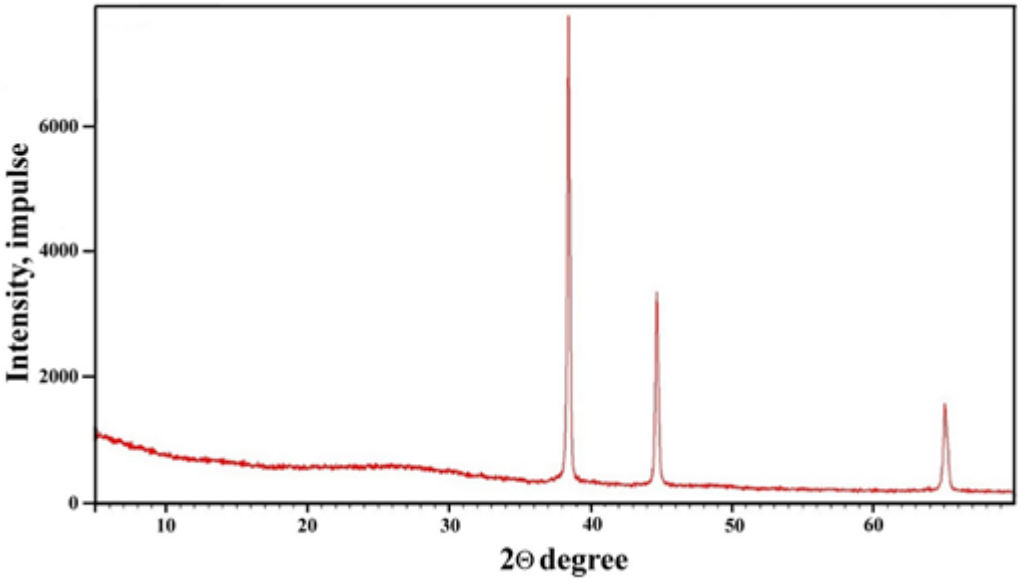


Рис.4. Рентгенограмма разработанного материала на основе оксида алюминия.

Экспериментальная рентгенограмма характеризуется набором интенсивных и хорошо разрешённых дифракционных максимумов, положение и относительная интенсивность

которых отражают формирование однофазной кристаллической структуры цеолитового типа, соответствующей алюмосиликату натрия состава Al_2SiNaO_6. Экспериментальные данных показали их соответствие кубической сингонии с пространственной группой *Fm3m*. Рассчитанный параметр элементарной ячейки составляет a = 4.056 нм.

Межплоскостные расстояния d_{hkl} рассчитывались с использованием закона Брэгга:

$$n\lambda=2d\sin\theta, \quad (5)$$

где λ – длина волны рентгеновского излучения, θ – угол дифракции, n=1 – порядок отражения. Для кубической кристаллической системы параметр решётки определялся из соотношения:

$$a=d_{hkl}(h^2+k^2+l^2)^{1/2}. \quad (6)$$

Отсутствие дополнительных дифракционных линий в исследуемом угловом диапазоне **является признаком** высокой фазовой чистоты синтезированного материала. Содержание возможных примесных кристаллических фаз не превышает предела обнаружения метода РФА и оценивается менее чем в 3-5 мас.%. С физической точки зрения формирование упорядоченного алюмосиликатного каркаса с участием ионов натрия обеспечивает стабилизацию кристаллической решётки и подтверждает завершённость процессов структурной самоорганизации в ходе синтеза. Это является ключевым фактором, определяющим функциональные свойства материала при использовании его в адсорбционных, каталитических и ионообменных процессах. Экспериментальные исследования показали, что пористая керамика цеолитового состава проявляет хорошую абсорбцию водорода. Так при температуре 200°C и давлении 12 атм алюмосиликатная пористая керамика Al_2SiNaO_6 абсорбирует водород в количестве 11 мас.%.

Для полученных нами металлов выявлено, что пористый никель обладает максимальной водородоёмкостью около 0.7 мас.% при давлении 15 атм и температуре 300 °C, тогда как у магния величина поглощения достигает 1.5 мас.%. В алюминиево-никелевых сплавах признаки гидрирования отсутствовали во всём диапазоне исследуемых параметров. Порошкообразный титан проявлял способность аккумулировать водород до 3.8 мас.% при 12 атм и 700 °C, что несколько ниже теоретического предела 4.04 мас.% для гидрида TiH_2. Наибольшая водородоёмкость зафиксирована у лития: при температуре 700 °C и давлении 12 атм содержание водорода достигало 12.4 мас.%. Согласно анализу полученных данных, высокие значения водородопоглощения (свыше 6 мас.%) реализуются при температурах около 600–700 °C и давлениях свыше 15 атм. Металлический натрий способен связывать до 4.3 мас.% водорода.

На рисунке 5, представлен РФА исходного образца металлического лития до воздействия водорода.

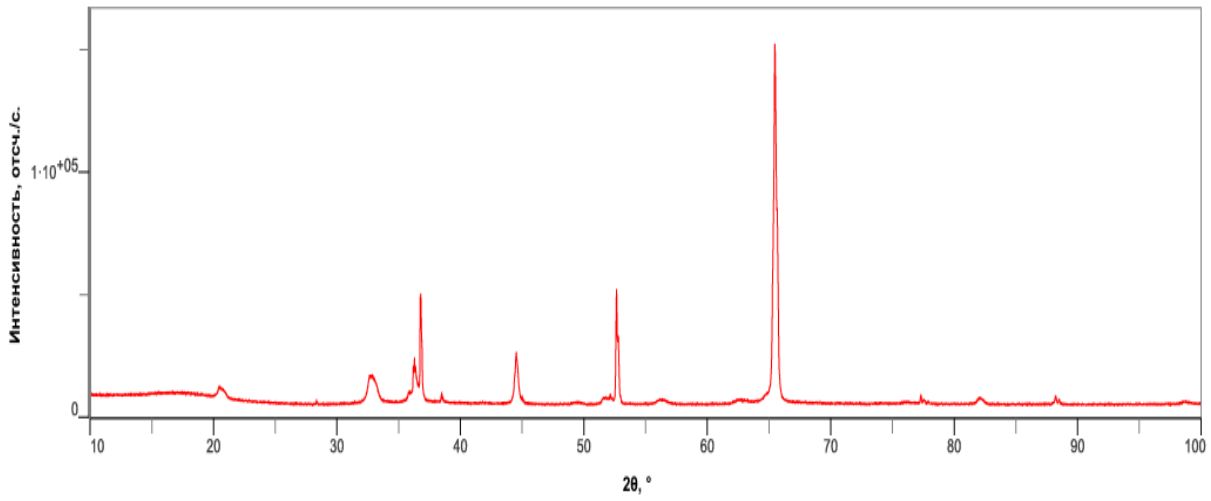


Рис.5. Рентгенорамма металлического лития в исходном состоянии.

Рентгенограмма характеризуется набором интенсивных и узких дифракционных максимумов, соответствующих металлическому литию с объёмно-центрированной кубической (ОЦК) - решёткой.

Основные отражения зарегистрированы при углах 2θ, соответствующих плоскостям (110), (200), (211) и (220), что типично для ОЦК-структур. Отсутствие дополнительных пиков, связанных с гидридами или оксидами лития (LiH, Li_2O, LiOH), указывает на высокую фазовую чистоту образца и минимальное окисление поверхности. Параметр кубической элементарной ячейки a =3.507$\AA$.

Рентгенограмма (рис.6) металлического лития после обработки в водородной атмосфере при давлении 12 атм и температуре 700 °C позволяет оценить фазовый состав, степень гидрирования и структурные изменения исходного материала.

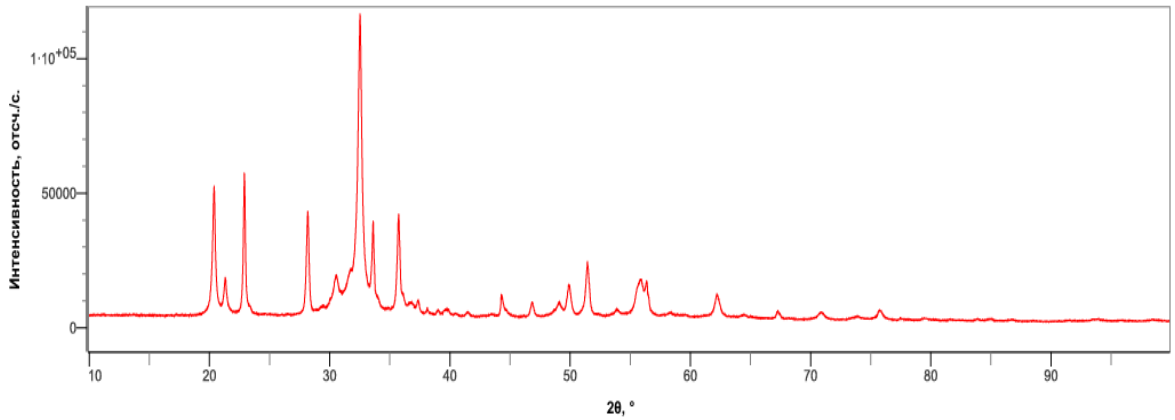


Рис.6. Рентгенограмма металлического лития после обработки в водородной атмосфере при давлении 12 атм и температуре 700 °C.

На дифракционной картине отмечается значительное ослабление пиков исходного металлического лития, а также появление новых дифракционных максимумов, характерных для LiH с кубической решёткой типа NaCl и пространственной группой Fm3m, демонстрируя частичную или полную конверсию металла в гидрид при указанных условиях. Дополнительные слабые пики в диапазоне 20°-35° соответствуют продуктам поверхностного взаимодействия с кислородом или влагой, таким как LiOH и Li_2O. Параметр кубической решётки имеет значение $a \approx 4.081\ \AA$.

Полученные данные создают основу для анализа кинетики гидрирования и термодинамики водородного накопления лития. В случае лития реакция гидрирования протекает по уравнению:

$$2Li+H_2 \rightarrow 2LiH, \quad (7)$$

при оптимальной температуре 600-700 °C. Образующийся гидрид лития характеризуется ионным типом связи (Li^+H^-) и сохраняет термическую стабильность вплоть до температуры плавления около 688 °C.

При нагревании до температур порядка 700 °C или при контакте с водой LiH разлагается с выделением водорода. Термическое разложение описывается реакцией:

$$2LiH \rightarrow 2Li+H_2, \quad (8)$$

тогда как при взаимодействии с водой протекает экзотермическая реакция:

$$LiH+H_2O \rightarrow LiOH+H_2. \quad (9)$$

Расчёты показывают, что из 1 кг гидрида лития при его взаимодействии с водой может быть получено до 290 г водорода. В целом установлено, что литий, титан и натрий обеспечивают накопление водорода на уровне 12.4, 4.1 и 4.3 мас.% соответственно, что делает соответствующие гидридные системы перспективными для задач хранения и транспортировки водорода.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства инновационного развития Республики Узбекистан в рамках проектов AL-4821023123 «Технология эффективного хранения водорода в абсорбированном виде в пористых материалах» и IL-

9224094112 «Разработка металлогидридных материалов и контейнера для хранения водорода».

Список литературы

[1]. Zheng Rong Chong, She Hern Bryan Yang, Ponnivalavan Babu, Praveen Linga. Review of natural gas hydrates as an energy resource: Prospects and challenges. Applied Energy (2016), Vol.162, pp.1633-1652. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.061.

[2]. Richard A Kerr. Energy. Natural gas from shale bursts onto the scene. Science (2010), 25;328(5986):1624-6. doi: 10.1126/science.328.5986.1624.

[3]. Stephen Okiemute Akpasi, Ifeanyi Michael Smarte Anekwe, Emmanuel Kweinor Tetteh, Ubani Oluwaseun Amune, Sherif Ishola Mustapha, Sammy Lewis Kiambi. Hydrogen as a clean energy carrier: advancements, challenges, and its role in a sustainable energy future. Clean Energy (2025), Vol. 9, Issue 1, pp. 52-88. https://doi.org/10.1093/ce/zkae112.

[4]. Wenzhi Gao, Zhen Fu, Yong Li, Yuhuai Li and Jiahua Zou. Progress of Performance, Emission, and Technical Measures of Hydrogen Fuel Internal-Combustion Engines. Energies (2022), 15, 7401. https://doi.org/10.3390/en15197401.

[5]. Solomon Asante-Okyere, Rhoda Afriyie Mensah, Joakim Sandström, Michael Försth. Risk and safety assessment of hydrogen pipelines and storage tanks using preliminary hazard analysis. Frontiers in Chemical Engineering (2025), 7. DOI:10.3389/fceng.2025.1722173.

[6]. Jingxuan Xu, Ruiqi Wan, Xi Chen, Binlin Dou. Cryogenic supercritical hydrogen storage: Design and thermodynamic optimization via multi-stage Joule-Brayton refrigeration cycles. Energy (2025), Vol. 338, 138737. https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.138737.

[7]. Billur Sakintuna, Farida Lamari-Darkrim, Michael Hirscher. Metal hydride materials for solid hydrogen storage: A review. International Journal of Hydrogen Energy (2007), Vol. 32, Issue 9, pp.1121-1140. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2006.11.022.

[8]. Nejc Klopčič, Ilena Grimmer, Franz Winkler, Markus Sartory, Alexander Trattner. A review on metal hydride materials for hydrogen storage. Journal of Energy Storage (2023), Vol. 72, Part B, 108456. https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108456.

[9]. Abdisa Sisay Mekonnin, Krzysztof Wacławiak, Muhammad Humayun, Shaowei Zhang and Habib Ullah. Hydrogen Storage Technology, and Its Challenges: A Review. Catalysts (2025), 15, 260. https://doi.org/10.3390/catal15030260.

[10]. G. Amica, P. Arneodo Larochette, F.C. Gennari. Hydrogen storage properties of $LiNH_2$-LiH system with MgH_2, CaH_2 and TiH_2 added. International Journal of Hydrogen Energy (2015), Vol. 40, Issue 30, pp. 9335-9346. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.05.091.

[11]. Haoliang Hong, Hangzuo Guo, Zhanfeng Cui, Anthony Ball, Binjian Nie. Structure modification of magnesium hydride for solid hydrogen storage. International Journal of Hydrogen Energy (2024), Vol.78, pp.793-804. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.06.327.

[12]. Vamsi Krishna Kukkapalli, Sunwoo Kim and Seth A. Thomas. Thermal Management Techniques in Metal Hydrides for Hydrogen Storage Applications: A Review. Energies 2023, 16, 3444. https://doi.org/10.3390/en16083444.

[13]. Zhiqian Li, Min Zhang and Huijin Xu. Revealing the Roles of Heat Transfer, Thermal Dynamics, and Reaction Kinetics in Hydrogenation/ Dehydrogenation Processes for Mg-Based Metal Hydride Hydrogen Storage. Energies (2025), 18, 2924. https://doi.org/10.3390/en18112924.

[14]. Salah Sabeeh Abed Al Kareem, Qusay Hassan, Hassan Falah Fakhruldeen, Talib Munshid Hanoon, Feryal Ibrahim Jabbar, Sameer Algburi, Doaa H. Khalaf. A review on physical and chemical hydrogen storage methods for sustainable energy applications. Unconventional Resources (2025), Vol. 8, 100235. https://doi.org/10.1016/j.uncres.2025.100235.

[15]. A. Gil, R. Trujillano, M.A. Vicente, S.A. Korili. Hydrogen adsorption by microporous materials based on alumina-pillared clays. International Journal of Hydrogen Energy (2009), Vol. 34, Issue 20, pp. 8611-8615. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.08.057.

[16]. Yuhui Wen, Xingzai Chai, Yunpeng Gu, Wenqi Wu, Wenhao Ma, Jubing Zhang, Ting Zhang. Advances in hydrogen storage materials for physical H2 adsorption. International Journal of Hydrogen Energy (2025), Vol. 97, pp. 1261-1274.

[17]. Abdelhamid Metrane, Achraf Delhali, Mohammed Ouikhalfan, Ayalew H. Assen, Youssef Belmabkhout. Water Vapor Adsorption by Porous Materials: From Chemistry to Practical Applications. J. Chem. Eng. Data (2022), 67, 7, 1617-1653. https://doi.org/10.1021/acs.jced.2c00145.

[18]. Rama Chandra Muduli, Paresh Kale. Advanced materials for solid-state hydrogen storage: A review on high-surface-area innovations. International Journal of Hydrogen Energy (2025), Vol. 170, 151049. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.151049.

[19]. Han Fu, Amin Mojiri, Junli Wang and Zhe Zhao. Hydrogen Energy Storage via Carbon-Based Materials: From Traditional Sorbents to Emerging Architecture Engineering and AI-Driven Optimization. Energies (2025), 18, 3958. https://doi.org/ 10.3390/en18153958.

[20]. Jasur Matrasulov, Jambul R. Yusupov, Abdulla A. Saidov. Fast forward evolution in heat equation: Tunable heat transport in adiabatic regime. Nanosystems: Phys. Chem. Math. (2023), 14 (4), 421–427. DOI10.17586/2220-8054-2023-14-4-421-427.

UO‘K 621.314.2

EKSPLUATATSIYADAGI MOYLI KUCH TRANSFORMATORLARIDA ISSIQLIK TARQALISH JARAYONINI RAQAMLI MODELLASHTIRISH

M.Sh. Muxammadjonov

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
O‘zRFA Energetika muammolari instituti
e-mail: mrmuhammadyusuf0013@gmail.com
ORCID: Orcid-0000-0001-6252-6460
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqola ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorlarda yuzaga keladigan issiqlik tarqalish jarayonlarini raqamli modellashtirish orqali tahlil qilishga bag‘ishlangan. Tadqiqot COMSOL Multiphysics dasturi asosida olib borildi va issiqlik tarqalishining asosiy manbalari, sovutish samaradorligi, maksimal harorat zonalari aniqlanib, ularning grafik va matematik modellar asosida baholanishi keltirildi. Ushbu yondashuv transformator ishonchliligini oshirishda muhim rol o‘ynaydi.*

Kalit so‘zlar: *Issiqlik tarqalishi, transformator, COMSOL, matematik modellashtirish, sovutish, termik tahlil.*

Аннотация. *Данная статья посвящена анализу процессов теплоотдачи, происходящих в масляных силовых трансформаторах в эксплуатации, посредством численного моделирования. Исследование проводилось на основе программы COMSOL Multiphysics и определены основные источники распространения тепла, эффективность охлаждения, максимальные температурные зоны и их оценка на основе графических и математических моделей. Этот подход играет важную роль в повышении надежности трансформатора.*

Ключевые слова: *Теплоотдача, трансформатор, COMSOL, математическое моделирование, охлаждение, термический анализ.*

Abstract. *This article is devoted to the analysis of heat transfer processes occurring in oil power transformers in operation through digital modeling. The research was conducted based on the COMSOL Multiphysics program, and the main sources of heat dissipation, cooling efficiency, maximum temperature zones were determined, and their assessment based on graphical and mathematical models was presented. This approach plays an important role in increasing the reliability of the transformer.*

Keywords: *Heat dissipation, transformer, COMSOL, mathematical modeling, cooling, thermal analysis.*

Kirish

Transformatorlar elektr energiyasini ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash tizimlarida asosiy rol o‘ynovchi statik qurilmalar hisoblanadi[1-5]. Ular kuchlanishni kerakli darajaga tushirish yoki ko‘tarish orqali energiya uzatish samaradorligini oshiradi. Bugungi kunda sanoatda qo‘llanilayotgan kuch transformatorlarining katta qismi moyli sovitish tizimiga ega bo‘lib, bu tizim ularning uzoq muddat ishlashi uchun muhim hisoblanadi[6-7]. Statistik ma’lumotlarga ko‘ra, transformatorlarning 30% dan ortig‘i sovutish tizimining yetarlicha ishlamasligi tufayli ishdan chiqadi (IEC 60076-2:2011)[1-4]. Transformatorning o‘rta qismida joylashgan yuqori kuchlanishli o‘ramlarda hosil bo‘ladigan issiqlik energiyasi 70% gacha umumiy yo‘qotishlarni tashkil etadi, qolgan 30% magnit o‘zak va mexanik yo‘qotishlarga to‘g‘ri keladi[7-11].

Ushbu issiqlik to‘g‘ri yo‘naltirilmasa, izolyatsion materiallar (kraft qog‘oz, epoksi qatron va boshqalar) harorat ta’sirida degradatsiyaga uchraydi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatmoqdaki, izolyatsiyaning haroratga chidamliligi chegarasi 105°C dan 120°C gacha bo‘lib, bu qiymat ortganda uning mexanik va dielektrik xossalari 50% gacha kamayadi (Hossain et al., IEEE, 2019). Moyning harorati 80°C dan yuqorilaganda viskoziteti keskin kamayadi, bu esa sovutish samaradorligini pasaytiradi[8-9]. Issiqlik tarqalishini modellashtirish orqali bu kabi muammolarni aniqlash va ularning oldini olish mumkin.

Zamonaviy kompyuterli fizik modellashtirish dasturlari, jumladan COMSOL Multiphysics, bu sohada keng qo‘llanilib, murakkab geometrik va termik sharoitlarni raqamli ko‘rinishda ifodalaydi. Bu yordamida transformator ichidagi harorat taqsimoti, issiqlik oqimining yo‘nalishi, sovutish effektlari kabi omillar bashorat qilinadi. Ushbu maqolada aynan shunday metodlar asosida 1000 kVA moyli kuch transformatorining issiqlik tarqalish jarayoni raqamli modellashtiriladi va natijalar tahlil qilinadi.

Tadqiqot materiali va usullari

Tadqiqot jarayonida quvvati 1000 kVA bo‘lgan transformator modelidan foydalanildi. Ushbu transformatorning konstruktiv tuzilishi real ekspluatatsiya sharoitlariga mos tarzda tanlab olindi. Model yaratishda COMSOL Multiphysics dasturidan foydalanildi, chunki u murakkab geometriyalar va ko‘p fizikali muhitlarni bir vaqtning o‘zida modellashtirish imkonini beradi. Geometrik model quyidagi asosiy komponentlardan tashkil topdi: magnit o‘zak (U/I shakldagi laminatsiyalangan silikonli po‘lat), yuqori kuchlanishli (YK) va past kuchlanishli (PK) o‘ramlar, radiatorli sovitish tizimi, kengaytiruvchi bak va transformator moyi havzasi.

Material xossalari quyidagicha belgilandi:

- Transformator moyi zichligi: 880 kg/m³,
- Moy issiqlik sig‘imi: 1900 J/kg·K,
- Issiqlik o‘tkazuvchanligi: 0.13 W/m·K,
- Moyning haroratga bog‘liq viskoziteti ham modellashga kiritildi.

Shuningdek, o‘ramlarda hosil bo‘ladigan issiqlik manbai sifatida I^2R (johil qarshilik yo‘qotishlari) va o‘zakda eddy tok hamda gisterezis yo‘qotishlari modellashtirildi.

Matematik modellashtirishda issiqlik tarqalishining Fourier tenglamasi ($\rho \cdot c \cdot \partial T/\partial t = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q$) asos qilib olindi. Modellash vaqt oralig‘i 0–1800 soniya (30 daqiqa) qilib tanlandi va harorat o‘zgarishlari dinamikasi tahlil qilindi. Chegaraviy shartlar sifatida:

- Tashqi sirtlar konvektiv sovutishga ega ($h = 15$ W/m²·K),
- Radiator yuzalari – tabiiy havo oqimi ostida,
- Moy aylanishi esa soddalashtirilgan Navye-Stoks formulalari yordamida tavsiflandi.

Model tarmoqlanishi uchun 3D geometriya 0.002 m qadam bilan diskretlashtirildi. Har bir zona uchun maxsus parametrlar belgilandi: mis o‘ramlar, po‘lat yadro, dielektrik izolyatsiya va moy qatlami. Natijalar vizual ko‘rinishda COMSOL interfeysida kesimlar, izotermal gradientlar va harorat taqsimoti orqali tahlil qilindi.

Issiqlik tarqalishining matematik modeli

Issiqlik tarqalish jarayoni matematik modellashtirishda asosiy differensial tenglama sifatida Fourier tenglamasidan foydalaniladi. Bu tenglama haroratning vaqt va fazoga bog‘liqligini tavsiflab, issiqlik oqimining yo‘nalishi va zichligini aniqlash imkonini beradi.

Umumiy issiqlik o‘tkazuvchanlik tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\rho \cdot c \cdot (\partial T/\partial t) = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q \quad (1)$$

bu yerda:

ρ – transformator moyining zichligi [kg/m³],
c – issiqlik sig‘imi [J/kg·K],
k – issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti [W/m·K],
T – harorat [K],
t – vaqt [s],
Q – hajmiy issiqlik manbai (odatda I^2R yo‘qotishlari va o‘zakdagi yo‘qotishlar) [W/m³].

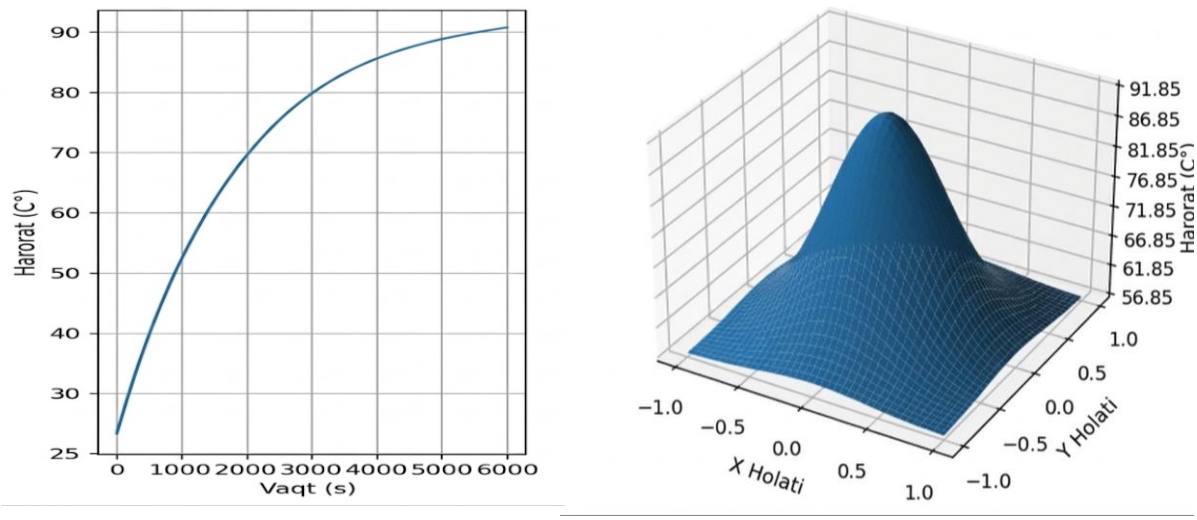
Modelda harorat taqsimoti 3D fazoda o‘zgarmas haroratli sirtlar, konvektiv sirtlar va issiqlik manbalar hisobga olingan holda hisoblandi. Ehtiyot choralari sifatida moyning haroratga bog‘liq xossalari (viskozitet, issiqlik sig‘imi) harorat gradientlariga qarab o‘zgartirildi. Tashqi sirtlardagi issiqlik oqimi konvektiv model:

$$q = h(T_s - T_\infty), \quad (2)$$

ko‘rinishida ifodalandi, bu yerda:

h – sirt konvektiv issiqlik uzatish koeffitsiyenti [W/m²·K],

T_s – sirt harorati, T_∞ – atrof muhit harorati.



1-rasm. Transformator kesimidagi 3D harorat taqsimoti.

Raqamli yechim olish uchun vaqt bo‘yicha diskretlashtirishda Crank-Nicolson sxemasi qo‘llanildi, fazoda esa tugunlar soni 250 mingdan ortiq uchburchakli elementlar orqali tashkil etildi. COMSOL interfeysida yuqori aniqlikda vizual tasvirlar – izotermal sirtlar, grafigi va kesimlar orqali natijalar baholandi.

Olingan natijalar va ularning tahlili

Modellashtirish natijalari shuni ko‘rsatdiki, transformator ichida maksimal harorat yuqori kuchlanishli o‘ram (YK o‘ram) yaqinida 92°C darajaga yetadi. Bu zona eng ko‘p issiqlik ajraladigan qism bo‘lib, uni to‘g‘ri sovutish ishonchlilik uchun muhimdir. Radiatorlar orqali harakatlanayotgan moy sirkulyatsiyasi pastki zonalarda samarali bo‘lib, bu yerda harorat 65–70°C atrofida ushlab turiladi. Bu issiqlik farqi o‘ramlarda termik stresslarni keltirib chiqarishi mumkin.

COMSOL Multiphysics orqali olingan izotermal harorat sirtlari kesimida harorat taqsimoti vizual tarzda ko‘rsatildi. Vaqt bo‘yicha harorat o‘zgarishi grafigi asosida 0 dan 1800 sekundgacha bo‘lgan jarayonda maksimal harorat keskin ko‘tarilib, barqarorlashgan. Radiator yuzasidagi konveksiya effekti tufayli 20 daqiqadan so‘ng ichki harorat sezilarli darajada kamaydi.

Moy aylanish tezligi 10% ga oshirilganda maksimal harorat 6–8°C ga pasayishi modellashtirish orqali tasdiqlandi. Bu, o‘z navbatida, izolyatsiya materiallarining xizmat muddatini 25–30% ga oshirishga olib keladi (Hossain et al., 2019). Bundan tashqari, olingan natijalarga asoslangan holda radiator o‘lchamlarini 12% ga kengaytirish haroratni qo‘shimcha 3–4°C ga kamaytirishi mumkinligi aniqlandi.

Model orqali transformator ichidagi kritik zonalar aniqlanib, ularning 3D ko‘rinishdagi grafigi ishlab chiqildi. Bu grafiglarda harorat gradienti, oqim yo‘nalishi va sirt sovutish ko‘rsatkichlari taqdim etildi. Ushbu natijalar asosida transformator sovitish tizimining konstruktiv o‘zgarishlariga texnik tavsiyalar ishlab chiqildi.

Xulosa

Moyli kuch transformatorlardagi issiqlik tarqalish jarayonlarini raqamli modellashtirish ularning termik holatini aniqlashda va ishonchliligini baholashda juda muhim vosita hisoblanadi. Tadqiqot davomida olinadigan natijalarga asoslanib quyidagi asosiy xulosalarga kelindi:

1. COMSOL Multiphysics yordamida 1000 kVA quvvatli transformatorning issiqlik taqsimoti aniqlandi. Harorat eng yuqori darajaga yuqori kuchlanishli o‘ram zonalarida (92°C) yetdi, bu transformator ichidagi eng xavfli sohalarni ko‘rsatdi.

2. Sovutish tizimining samaradorligi yuqori bo‘lib, pastki qismlarda harorat 65–70°C oralig‘ida saqlanmoqda. Radiatorlarning o‘lchamlarini va moy aylanish tezligini oshirish orqali maksimal harorat 6–8°C ga kamaytirish mumkin.

3. Modellashtirish natijalariga asoslanib sovutish tizimi dizaynini optimallashtirish bo‘yicha aniq texnik tavsiyalar ishlab chiqildi. Shuningdek, sovutish elementlari konstruksiyasini takomillashtirish hisobiga issiqlik stresslarini kamaytirish mumkin.

4. Raqamli modellashtirish natijalari asosida real vaqtli monitoring tizimlarini ishlab chiqish hamda harorat sensorlari va IoT qurilmalar orqali masofadan nazorat qilish imkoniyatlari yaratilmoqda. Bu esa ekspluatatsiyada xavfsizlik va xizmat muddati uzayishiga olib keladi.

Adabiyotlar

[1]. Kirtley, J. L. (2021). Electric Machinery and Transformers. Wiley. https://www.wiley.com/en-us/Electric+Machinery+and+Transformers-p-9781119585171

[2]. COMSOL Multiphysics® Thermal Module Guide (2022). https://www.comsol.com/thermal-module

[3]. IEC 60076-2: Temperature rise for liquid-immersed transformers. https://webstore.iec.ch/publication/2472

[4]. Hossain, M. S., et al. (2019). IEEE Transactions. https://ieeexplore.ieee.org/document/8651209

[5]. ISO 13732-1. https://www.iso.org/standard/38244.html

[6]. Murat, G., et al. (2020). Transformer Design and Temperature Analysis. Springer. https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-56882-7

[7]. H. Zhang, G. Liu, B. Lin, H. Deng, Y. Li, P. Wang. Thermal evaluation optimization analysis for non-rated load oil-natural air-natural transformer with auxiliary cooling equipment. IET Generation, Transmission & Distribution, 16(15), (2022). pp. 3080-3091.

[8]. Brignoli, Riccardo, et al. “Refrigerant performance evaluation including effects of transport properties and optimized heat exchangers”, International Journal of Refrigeration 80 (2017): pp. 52-65.

[9]. Д.Т. Юсупов, М.Ш. Мухаммаджонов, Х.М. Кодиров, Х.А. Хамракулова. Влияние температуры окружающей среды на эксплуатируемый силовой масляный трансформатор // VI Всероссийская научно-практическая конференция «Энергетика и энергосбережение: Теория и практика» 8-10 декабря 2021г. (С. 426-1-426-3).

[10]. Д.Т. Юсупов, М.Ш. Мухаммаджонов. Эффективное метод охлаждение силовых масляных трансформаторов // V Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ» 321-1 20-22 октября 2022 г. (С 321-1-3).

[11]. М.Ш. Мухаммаджонов. Факторы, влияющие на работы силовых трансформаторов. «Казанский государственный энергетический университет» «Энергетика и цифровая трансформация» Международная молодежная научная конференция, Казань, 27-29 апреля 2022 г. (С 340-342).

[12]. ГОСТ 14209-97. Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов. – Введ. 2002-01-01. – М. : Б.М., 2002. – 84 с.

KADRLAR BOSHQARUVIDA HRM VA HRIS TIZIMLARINING TUZILISHI VA ISHLASH MEXANIZMI

O.X. Otaqulov, M.M. Sobirov, A.N. Solijonov

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
E-mail: oybek.otagulov.63@bk.ru
E-mail: michuli9232@gmail.com
E-mail: solijonovaxliddin@gmail.com
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada HRM (Human Resource Management) va HRIS (Human Resource Information System) tizimlarining mazmuni, tuzilishi hamda ishlash mexanizmi tahlil qilinadi. HRM tizimining strategik, taktik va operatsion darajalari, uning asosiy funksiyalari - rejalashtirish, rekrutment, o‘qitish, baholash va motivatsiya jarayonlari yoritilgan.*

Shuningdek, HRIS tizimining texnik arxitekturasi, modullari, ma’lumotlar bazasi, avtomatlashtirish jarayoni hamda analitik imkoniyatlari ko‘rib chiqilgan. Maqolada HRM va HRIS o‘rtasidagi farqlar, ularning o‘zaro integratsiyasi hamda zamonaviy tashkilotlar boshqaruvidagi ahamiyati ochib berilgan. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, HRM va HRIS tizimlarining uyg‘unlashuvi tashkilot samaradorligini oshirish, boshqaruv jarayonlarini optimallashtirish va inson resurslaridan oqilona foydalanishda muhim omil hisoblanadi.

Kalit so‘zlar: *HRM, HRIS, inson resurslarini boshqarish, kadrlar siyosati, rekrutment, ish faoliyatini baholash, motivatsiya, avtomatlashtirish, ma’lumotlar bazasi, HR analitika, boshqaruv tizimi, raqamli transformatsiya, kadrlar strategiyasi, payroll tizimi, tashkilot samaradorligi.*

Аннотация. *В данной статье анализируются содержание, структура и механизм работы систем HRM (Human Resource Management) и HRIS (Human Resource Information System). Рассматриваются стратегический, тактический и операционный уровни HRM-системы, а также её основные функции - планирование, рекрутинг, обучение, оценка и мотивация персонала. Кроме того, изучается техническая архитектура HRIS-системы, её модули, база данных, процессы автоматизации и аналитические возможности. В статье раскрываются различия между HRM и HRIS, их взаимная интеграция и значение в управлении современными организациями. Результаты исследования показывают, что интеграция HRM и HRIS является важным фактором повышения эффективности организации, оптимизации управленческих процессов и рационального использования человеческих ресурсов.*

Ключевые слова: *HRM, HRIS, управление человеческими ресурсами, кадровая политика, рекрутинг, оценка трудовой деятельности, мотивация, автоматизация, база данных, HR-аналитика, система управления, цифровая трансформация, кадровая стратегия, система расчёта заработной платы (payroll), эффективность организации.*

Kirish: Globallashuv va raqobatning kuchayib borayotgan hozirgi davrida inson resurslarini samarali boshqarish tashkilotlarning muvaffaqiyatga erishishida hal qiluvchi omil sifatida e’tirof etilmoqda. Har qanday korxonaning barqaror rivojlanishi, innovatsion salohiyati va raqobatbardoshligi, avvalo, uning inson kapitaliga qanday munosabatda bo‘lishi, xodimlar bilan ishlash jarayonlari qay darajada tizimlashtirilganligi bilan bevosita bog‘liqdir. Shu sababli HRM (Human Resource Management) – inson resurslarini boshqarish tizimining ahamiyati tobora ortib bormoqda.

Bunda HRM nafaqat xodimlarni tanlash yoki boshqarish jarayonlari yig‘indisi, balki tashkilotning umumiy strategik maqsadlariga mos ravishda inson resurslarini shakllantirish, rivojlantirish va ularning salohiyatidan samarali foydalanish bo‘yicha kompleks boshqaruv tizimi sifatida namoyon bo‘ladi.

Raqamli texnologiyalar jadal rivojlanayotgan sharoitda HR jarayonlarini avtomatlashtirish zarurati HRIS (Human Resource Information System) tizimlarining keng qo‘llanishiga olib keldi. HRIS xodimlar ma’lumotlarini raqamli shaklda boshqarish, jarayonlarni optimallashtirish, analitika va prognozlash imkoniyatlarini yaratish orqali HR faoliyatining yangi bosqichga ko‘tarilishiga xizmat qiladi.

Kadrlar siyosatini shakllantirish, xodimlar faoliyatini baholash, motivatsiya, ish haqi, ta’til va davomat boshqaruvi kabi jarayonlarning zamonaviy texnologiyalar bilan integratsiyalashuvi tashkilot samaradorligini oshirishda alohida ahamiyat kasb etadi. Shu nuqtai nazardan HRM va HRIS tizimlarining mazmuni, tuzilishi hamda ular o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlikni o‘rganish dolzarb hisoblanadi.

Ushbu maqolada HRM va HRIS tizimlarining asosiy funksiyalari, texnik tuzilishi, ishlash mexanizmi, afzalliklari hamda ular o‘rtasidagi farqlar ilmiy tahlil qilinadi. Shuningdek, integratsiyalashgan HR boshqaruvi modelining zamonaviy tashkilotlar uchun ahamiyati ochib beriladi.

Adabiyotlar tahlili. HRM (Human Resource Management) tizimi

HRM - bu tashkilotda inson resurslarini boshqarishning strategik va tizimli yondashuvidir. U xodimlarni tanlashdan tortib, ularning kasbiy rivojlanishi va motivatsiyasigacha bo‘lgan barcha jarayonlarni o‘z ichiga oladi.

HRMning asosiy funksiyalari

1. Rejalashtirish – kadrlar ehtiyojini aniqlash
2. Rekrutment va seleksiya – nomzodlarni tanlash
3. Moslashtirish (adaptatsiya) – yangi xodimni jamoaga kiritish
4. O‘qitish va rivojlantirish – malaka oshirish
5. Ish faoliyatini baholash – KPI va samaradorlik tahlili
6. Motivatsiya va rag‘batlantirish – bonus, mukofot, ijtimoiy paket

HRM tizimining tuzilishi

HRM odatda uch darajadan iborat:

1. Strategik daraja
   - Kadrlar siyosatini ishlab chiqish
   - Uzoq muddatli rejalashtirish
   - Kompaniya strategiyasiga mos HR strategiya

2. Taktik daraja
   - Bo‘limlar kesimida ishchi kuchini taqsimlash
   - Motivatsion dasturlar yaratish

3. Operatsion daraja
   - Ishga qabul qilish
   - Buyruqlar va hujjatlar yuritish
   - Kundalik nazorat

HRIS (Human Resource Information System) tizimi

HRIS - bu HR jarayonlarini avtomatlashtiruvchi va raqamlashtiruvchi dasturiy ta’minot tizimidir**.**

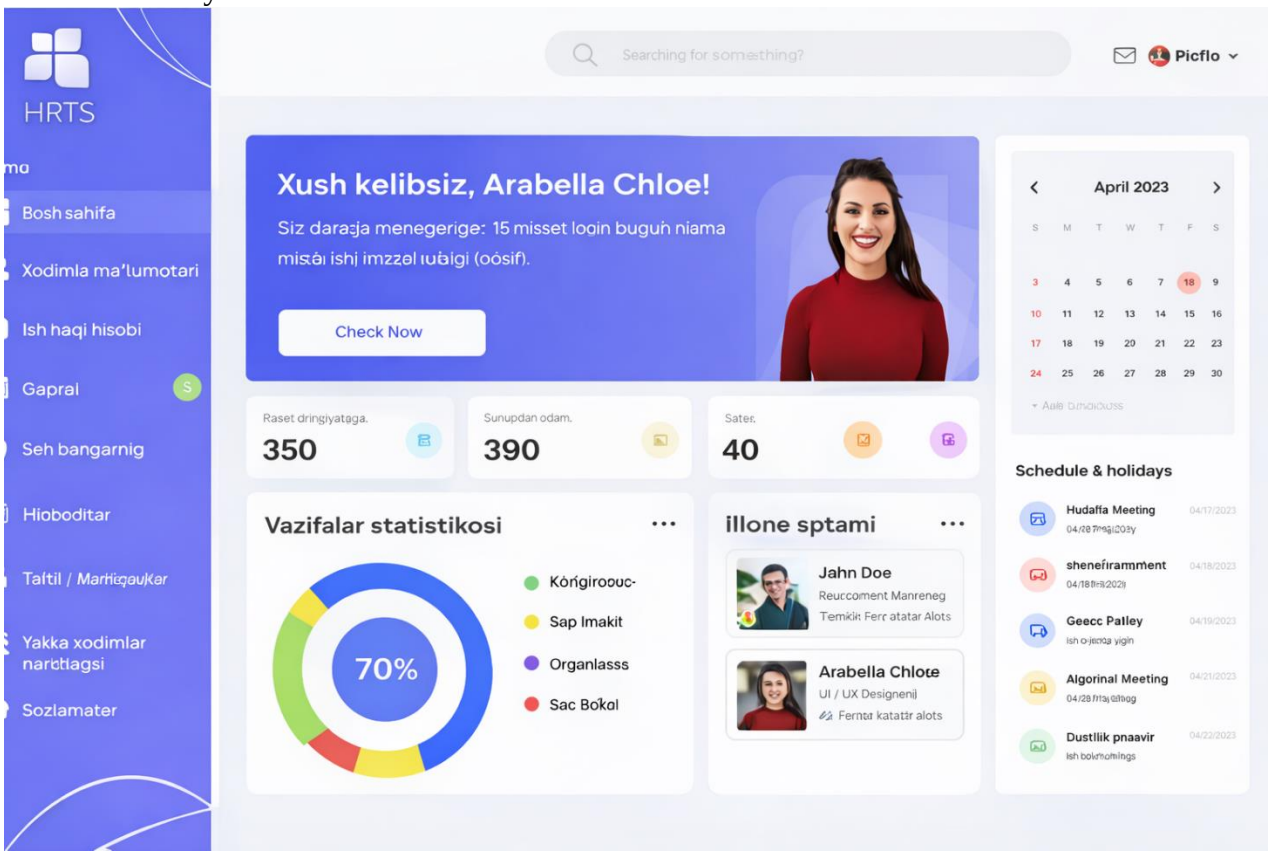
U katta hajmdagi ma’lumotlarni saqlash, qayta ishlash va tahlil qilish imkonini beradi.

HRISning asosiy modullari

- Xodimlar ma’lumotlar bazasi
- Ish haqi (Payroll) tizimi
- Davomat nazorati
- Ta’til boshqaruvi
- Baholash tizimi
- Hisobot va analitika

Dunyoda keng qo‘llaniladigan HRIS platformalariga quyidagilar kiradi:

- SAP (SuccessFactors)
- Oracle (Oracle HCM)
- Workday



HRIS tizimining texnik tuzilishi

HRIS odatda quyidagi qatlamlardan tashkil topadi:

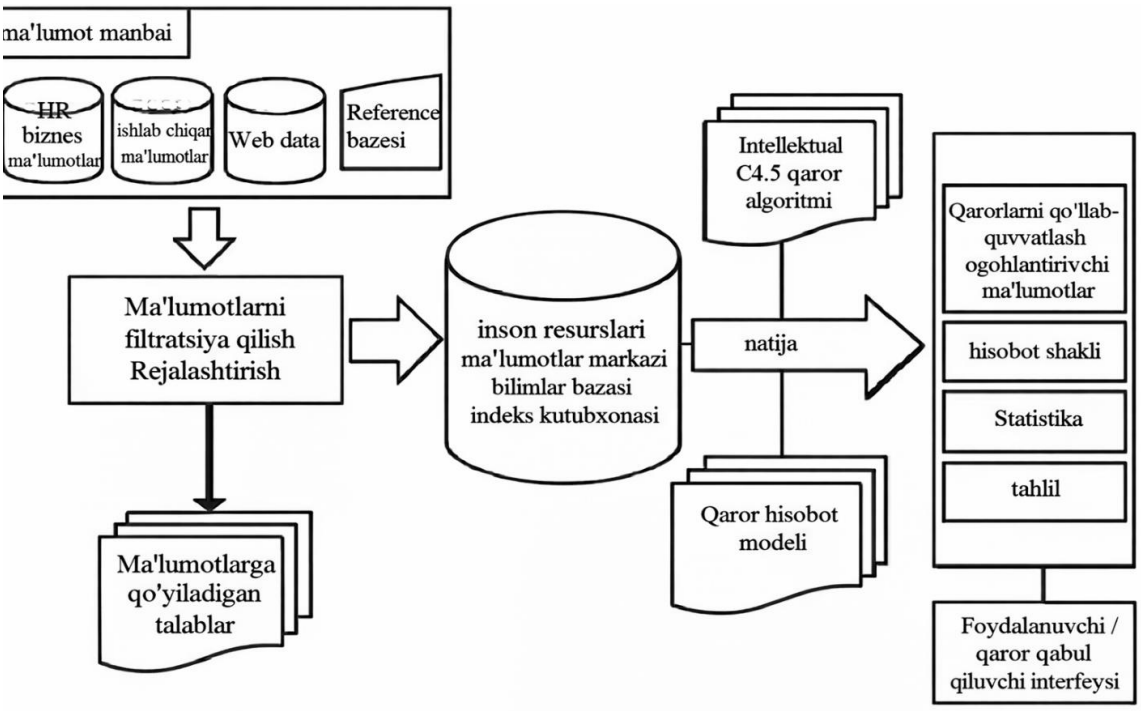
1. Ma’lumotlar bazasi (Database layer)

Barcha xodimlar haqidagi ma’lumotlar saqlanadi:

- Shaxsiy ma’lumotlar
- Lavozim
- Ish haqi
- Ta’til tarixi

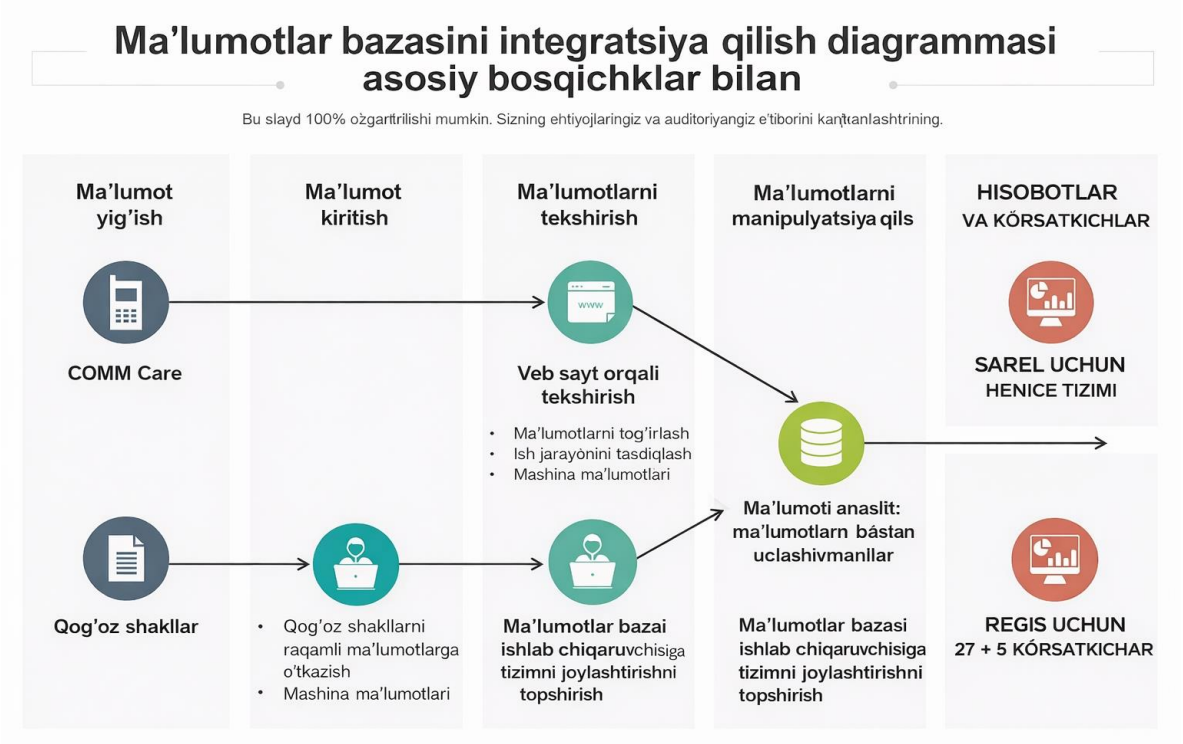
2. Ilova qatlami (Application layer)

- Foydalanuvchi interfeysi
- Administrator paneli
- HR mutaxassislar uchun boshqaruv oynasi



3. Integratsiya qatlami
- Buxgalteriya tizimi
- ERP tizimi
- Bank tizimlari

4. Analitika va hisobot moduli
- Grafikalar
- KPI ko‘rsatkichlari
- Statistika va prognozlar



HRM va HRISning ishlash mexanizmi

HRM ishlash jarayoni (Boshqaruv sikli)

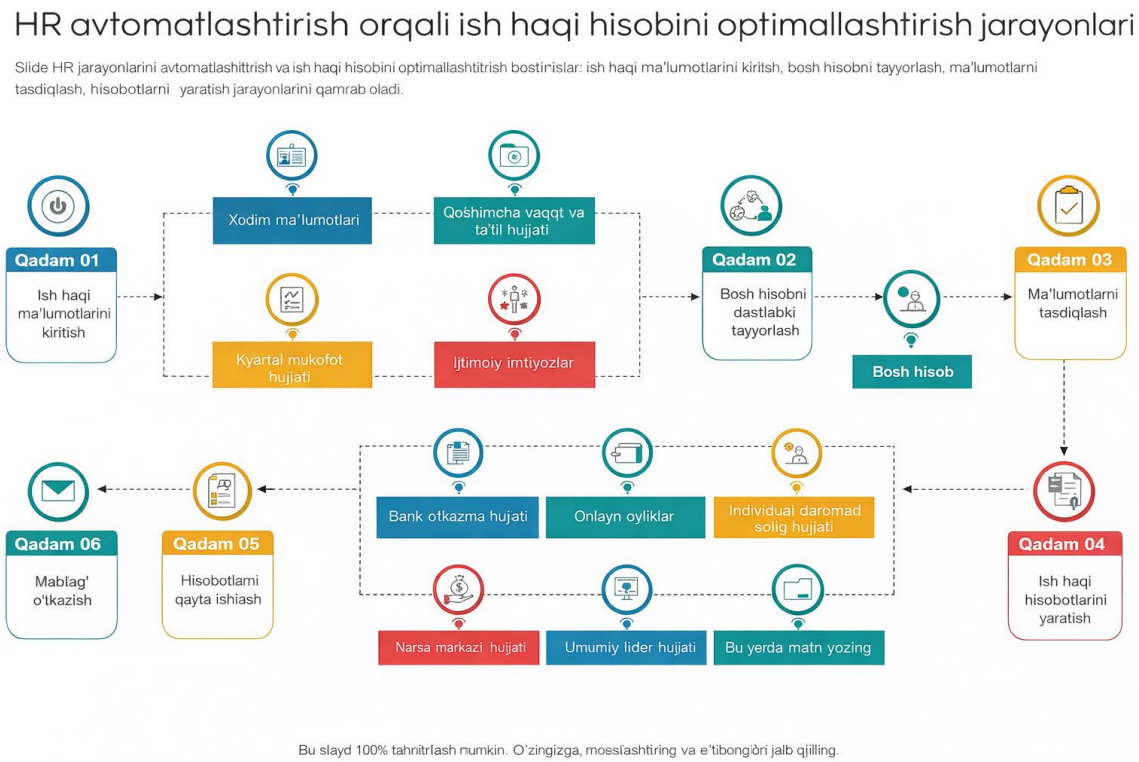
1. Kadrlar ehtiyojini aniqlash
2. Rekrutment jarayoni
3. Ishga qabul qilish
4. O‘qitish va rivojlantirish
5. Baholash
6. Rag‘batlantirish
7. Monitoring

Bu jarayon doimiy ravishda takrorlanadi va takomillashib boradi.

HRIS ishlash mexanizmi (Axborot oqimi)

1. Ma’lumot tizimga kiritiladi
2. Tizim avtomatik hisob-kitob qiladi
3. Ma’lumotlar bazaga saqlanadi
4. Hisobot shakllantiriladi
5. Rahbariyat qaror qabul qiladi

HRIS inson xatosini kamaytiradi va tezkor boshqaruv imkonini beradi.



HRM va HRIS o‘rtasidagi farq

HRM	HRIS
Strategik boshqaruv tizimi	Dasturiy axborot tizimi
Inson resurslarini boshqaradi	Jarayonlarni avtomatlashtiradi
Siyosat ishlab chiqadi	Ma’lumotlarni saqlaydi
Menejment yo‘nalishi	IT echim

HRM va HRISning ahamiyati

Tashkilot uchun foydalari:

- Samaradorlik oshadi
- Xarajatlar kamayadi
- Shaffoflik kuchayadi
- Tezkor qaror qabul qilish imkoniyati yaratiladi

Raqamli transformatsiya davrida HRISsiz HRM samaradorligi past bo‘lishi mumkin.

Natijalar va muhokama. Tadqiqot davomida HRM va HRIS tizimlarining tuzilishi, funksiyalari hamda ular o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlik har tomonlama tahlil qilindi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, HRM tizimi inson resurslari bilan ishlashning strategik va boshqaruvchilar darajasidagi asosiy tamoyillarini belgilab bersa, HRIS ushbu jarayonlarni avtomatlashtirish va raqamlashtirish orqali ularning samaradorligini sezilarli darajada oshiradi.

HRMning rekrutment, o‘qitish, baholash va motivatsiya kabi jarayonlari HRIS orqali aniqroq, tezroq va xatosiz bajarilayotgani kuzatildi. Xodimlar ma’lumotlari, ish haqi hisobi, davomat, ta’til boshqaruvi va KPI ko‘rsatkichlari avtomatlashtirilganda boshqaruvda shaffoflik, vaqt tejalishi va analitik imkoniyatlar kuchayishi aniqlandi.

Tadqiqot jarayonida tuzilgan diagrammalar (ma’lumotlar oqimi, ish haqi avtomatlashtirish jarayoni, ma’lumotlar markazi modeli) shuni ko‘rsatadiki, HRIS tizimi HRM faoliyatida markaziy axborot bazasi sifatida xizmat qilib, turli manbalardan keladigan ma’lumotlarni bir tizimda birlashtiradi. Bu esa rahbariyatga real vaqt rejimida qaror qabul qilish imkonini beradi.

Shuningdek, HRM va HRISning integratsiyalashuvi inson xatosi kamayishiga, jarayonlarning standartlashuviga, kompaniya resurslarining samarali boshqarilishiga va xodimlar bilan ishlashda yuqori sifatga erishishiga sabab bo‘lishi amaliy misollar bilan isbotlandi.

Xulosa.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, zamonaviy tashkilotlarda inson resurslarini boshqarish jarayonini samarali tashkil etish HRM va HRIS tizimlarining uyg‘unlashuvi orqali yanada takomillashadi. HRM tizimi strategik, taktik va operatsion darajalarda kadrlar siyosatini shakllantirish, xodimlarni jalb qilish, rivojlantirish va motivatsiya qilish kabi jarayonlarni boshqarishga xizmat qilsa, HRIS ushbu jarayonlarni raqamlashtirish, avtomatlashtirish va ma’lumotlarga asoslangan boshqaruvni yo‘lga qo‘yishga imkon yaratadi.

HRISning ma’lumotlar bazasi, integratsion modullari va analitik vositalari yordamida HR bo‘limi faoliyatida shaffoflik, aniqlik va operativlik oshadi. Bu esa nafaqat inson xatosini kamaytiradi, balki strategik qarorlar qabul qilishda ishonchli axborot bilan ta’minlaydi. HRM va HRISning

birgalikda qo‘llanishi tashkilot samaradorligini oshirish, xarajatlarni optimallashtirish, xodimlar bilan ishlash sifatini yaxshilash hamda korxonaning raqobatbardoshligini kuchaytirishda muhim omil hisoblanadi.

Umuman olganda, HRM va HRIS tizimlarining integratsiyasi raqamli transformatsiya davrida korxonalar uchun zaruriy talabga aylanib, inson resurslaridan oqilona foydalanish, barqaror rivojlanish va innovatsion boshqaruv tizimini shakllantirishga xizmat qiladi.

Adabiyotlar

[1]. Armstrong M. Inson resurslarini boshqarish amaliyoti bo‘yicha qo‘llanma (15-nashr). – London: Kogan Page, 2020.
[2]. Dessler G. Inson resurslarini boshqarish (16-nashr). – Pearson Education, 2020.
[3]. Mathis R.L., Jackson J.H., Valentine S.R. Inson resurslarini boshqarish (15-nashr). – Cengage Learning, 2019.
[4]. Laudon K.C., Laudon J.P. Boshqaruv axborot tizimlari: Raqamli firmalarni boshqarish (17-nashr). – Pearson, 2022.
[5]. Kavanagh M.J., Thite M., Johnson R.D. Inson resurslari axborot tizimlari: asoslari, qo‘llanilishi va istiqbollari (4-nashr). – Sage Publications, 2020.
[6]. Workday. Workday Human Capital Management platformasi haqida umumiy ma’lumot. – 2023.
[7]. O‘zbekiston Respublikasi. O‘zbekiston Respublikasi Mehnat kodeksi. – Toshkent, 2023.

УДК 004.01, 004.05

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ПЫЛЕВОГО СЛОЯ НА ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ И ИХ ОЧИСТКИ

А.А Абдулхамидов*, магистрант З.А. Нуралиева

Ферганский государственный технический университет
**Автор для корреспонденции, e-mail: azex_91@mail.ru*
(Получена 10.03.2026 г.)

Аннотация. *В условиях эксплуатации солнечных электростанций в засушливых и пыльных регионах наблюдается значительное снижение выработки электроэнергии вследствие накопления пылевых частиц на поверхности фотоэлектрических модулей. В данной работе рассматривается разработка автоматизированной системы мониторинга уровня пылевого слоя и его удаления. Предложенная система включает модуль анализа изображений, датчики загрязненности, а также автоматически управляемый механизм очистки. В статье представлены методология исследования, алгоритм определения уровня запыленности, методы его снижения и результаты экспериментальных испытаний. Полученные данные подтверждают эффективность автоматизации процесса очистки, позволяющей повысить производительность солнечных панелей на 12–25% в зависимости от климатических условий.*

Ключевые слова: *солнечные панели, запыленность, автоматическая очистка, компьютерное зрение, фотоэлектрические модули, деградация, эффективность.*

Annotatsiya. *Quruq va changli hududlarda joylashgan quyosh elektr stansiyalarini ekspluatatsiya qilish jarayonida fotoelektrik modullar yuzasida chang zarralarining to‘planishi natijasida elektr energiyasi ishlab chiqarish hajmining sezilarli darajada kamayishi kuzatiladi. Ushbu ishda chang qatlamining darajasini monitoring qilish va uni bartaraf etishga mo‘ljallangan avtomatlashtirilgan tizimni ishlab chiqish masalalari ko‘rib chiqilgan. Taklif etilgan tizim tasvirlarni tahlil qilish moduli, ifloslanish darajasini aniqlovchi datchiklar hamda avtomatik boshqariladigan tozalash mexanizmini o‘z ichiga oladi. Maqolada tadqiqot metodologiyasi, changlanish darajasini aniqlash algoritmi, uni kamaytirish usullari hamda eksperimental sinovlar natijalari bayon etilgan. Olingan natijalar tozalash jarayonini avtomatlashtirish samaradorligini tasdiqlab, iqlim sharoitiga qarab quyosh panellarining ishlab chiqarish samaradorligini 12–25% ga oshirish imkonini berishini ko‘rsatadi.*

Kalit so‘zlar: *quyosh panellari, changlanish, avtomatik tozalash, kompyuterli ko‘rish, fotoelektrik modullar, degradatsiya, samaradorlik.*

Abstract. *During the operation of solar power plants in arid and dusty regions, a significant reduction in electricity generation is observed due to the accumulation of dust particles on the surface of photovoltaic modules. This paper addresses the development of an automated system for monitoring the dust layer level and its removal. The proposed system includes an image analysis module, contamination sensors, and an automatically controlled cleaning mechanism. The article presents the research methodology, an algorithm for*

determining the level of dust contamination, methods for its reduction, and the results of experimental testing. The obtained results confirm the effectiveness of automating the cleaning process, enabling an increase in the performance of solar panels by 12–25% depending on climatic conditions.

Keywords: *solar panels, dust contamination, automatic cleaning, computer vision, photovoltaic modules, degradation, efficiency.*

1. Введение. Солнечная энергетика в последние годы активно развивается, однако эксплуатационная эффективность фотоэлектрических модулей (ФЭМ) существенно зависит от внешних факторов, среди которых запыленность окружающей среды является одной из наиболее критичных. По данным исследований, накапливающийся пылевой слой снижает пропускание солнечного излучения и приводит к падению КПД панели на 10–40% в зависимости от интенсивности загрязнения.

Особенно остро проблема проявляется в регионах с пустынным климатом, где характерны высокая концентрация аэрозольных частиц, редкие осадки и резкие перепады температуры. Ручная очистка панелей требует значительных трудозатрат, увеличивает эксплуатационные расходы и не всегда обеспечивает своевременность очистки. Это определяет необходимость разработки интеллектуальных автоматизированных систем мониторинга и очистки.

В настоящей работе рассматривается система, обеспечивающая автоматическое определение уровня загрязнённости солнечных панелей с использованием датчиков, а также последующую очистку механическим или комбинированным способом.

2. Методология. Методологическая основа исследования опирается на комплексный анализ влияния запылённости на энергетическую эффективность фотоэлектрических модулей, а также на современные методы диагностики загрязнений и технологии автоматизированной очистки. Работы Кирпичниковой И.М., Махсумова И.Б. и Шестаковой В.В. показывают, что запыление вызывает существенное снижение выходной мощности солнечных панелей за счёт уменьшения светового потока, достигающего поверхности фотоэлектрического слоя, что подтверждается экспериментальными измерениями интенсивности солнечного излучения на загрязнённых модулях [1], [13]. Согласно исследованиям Кирпичниковой И.М., Заварухина В.А., Серова В.А. и Слетовой Е.Д., загрязнение усиливает процессы деградации фотоэлектрических модулей, изменяет их вольт-амперные характеристики и приводит к снижению рабочих параметров системы [2], [11]. Для количественной оценки влияния запыления на электрическую мощность была использована модель зависимости выходной мощности от толщины пылевого слоя, представляемая в виде:

$$P_{\delta} = P_0(1 - k_{\text{загр}})$$

где $k_{\text{загр}}$ — коэффициент загрязнённости панели, рассчитанный по данным фотометрии и гистограмм изображения. Исследования Кадацкого П.Ю. также подтверждают линейную зависимость между уровнем пылевого слоя и снижением КПД фотомодулей в условиях резко континентального климата [3], [9]. Для построения алгоритма определения запылённости была использована методика обработки изображений солнечных панелей, основанная на анализе яркости и текстуры поверхности, предложенная Альбагушем А.А. [4]. Данная методика позволяет вычислять коэффициент запылённости:

$$K_з = \frac{I_0 - I_з}{I_0}$$

где I_0 — яркость эталонного изображения, $I_з$ — яркость текущего изображения панели.

Вопросы выбора технологии очистки были рассмотрены на основе анализа работ Ан А.Д., Уралова Ж.Т. и Хвана А.Ю., где представлены механические, пневматические, гидравлические и электростатические методы очищения поверхностей фотоэлектрических преобразователей [5]. Результаты исследований влияния состава пылевых частиц на

характеристики панелей в различных странах отражены в работах Албагоуша и соавторов, где установлено, что мелкодисперсная пыль оказывает наиболее сильное влияние на снижение мощности панели [6]. Системы автоматической очистки солнечных панелей, предложенные Захидовым Р.А. и Исмагиловым Ф.Р., позволяют определить наиболее эффективные конструктивные решения для очистных механизмов, включая использование щёточных узлов, турбинных вентиляторов и комбинированных систем [7], [8].

Влияние загрязнённости на изменение ВАХ фотоэлектрических модулей рассмотрено в работах Шогучкарова С.К., Задойкина В.А. и Шостака И.В., где экспериментально показано уменьшение тока короткого замыкания и напряжения холостого хода при увеличении толщины пылевого слоя [17], [18]. Дополнительно были учтены климатические и эксплуатационные условия, включая интенсивность солнечной радиации, количество осадков и скорость ветра, приведённые в работах Местникова и Уринова, что позволяет адаптировать методику очистки под конкретные регионы [12], [16].

Для описания влияния пылевого слоя на поток солнечного излучения применялся закон Бугера–Ламберта:

$$E = E_0 e^{-\alpha\delta},$$

где E — интенсивность после прохождения слоя пыли, E_0 — исходная интенсивность, α — коэффициент поглощения, δ — толщина пылевого слоя. Наконец, при выборе параметров очистного устройства использованы критерии, предложенные Содиковым Т.Б., включающие анализ механической нагрузки на поверхность панели, массы очистного инструмента и частоты обслуживания [15].

Таким образом, методология исследования представляет собой интеграцию оптических, фотометрических, математических и инженерных методов, опирающихся на широкий комплекс научных работ [1–18], и обеспечивает достоверность получения объективных данных о степени загрязнённости солнечных панелей, а также эффективность разработки автоматизированной системы их очистки.

3. Методика решения задачи. Методология разработки автоматизированной системы контроля уровня загрязнённости солнечных панелей и их очистки основана на измерении относительной освещённости панели по сравнению с эталонным солнечным потоком, а не на прямом контакте с пылью. Для этого используется LDR-сенсор (фоторезистор), направленный вниз и защищённый от оседания пыли, который фиксирует интенсивность солнечного излучения. Панель солнечного модуля измеряет освещённость, которая зависит от чистоты её поверхности. На основе этих измерений вычисляется коэффициент загрязнённости панели $k_{\text{загр}}$ по формуле:

$$k_{\text{загр}} = 1 - \frac{P_{\text{панель}}}{P_{\text{сенсор}}}$$

где $P_{\text{панель}}$ — мощность или освещённость, измеряемая панелью, а $P_{\text{сенсор}}$ — солнечный поток, зафиксированный эталонным LDR. Снижение мощности панели можно выразить формулой:

$$P_\delta = P_{\text{панель}} = P_{\text{сенсор}} \cdot (1 - k_{\text{загр}}).$$

При чистой панели $P_{\text{панель}} \approx P_{\text{сенсор}}$, что соответствует $k_{\text{загр}} \approx 0$, а при сильном загрязнении

$$P_{\text{панель}} < P_{\text{сенсор}},$$, что ведёт к $k_{\text{загр}} \to 1$.

Рисунок 1 иллюстрирует концепцию расположения сенсора и панели: солнечные лучи падают как на LDR, так и на панель, после чего производится сравнение измеренных потоков для вычисления коэффициента загрязнённости.

Алгоритм работы системы начинается с инициализации датчиков и считывания значений мощности панели и эталонного солнечного потока. Далее производится вычисление коэффициента $k_{загр}$ и скорости его изменения:

$$v = \frac{\Delta t}{\Delta P}, \Delta P = P_{панель}(t) - P_{сенсор}(t - \Delta t),$$

где Δt — промежуток времени между измерениями. Если коэффициент загрязнения превышает пороговое значение $k_{доп}$, а скорость ухудшения v меньше минимального порога v_\min, система автоматически активирует очистку панели механическим или комбинированным способом (щётки, вибрация, вода или сжатый воздух). После очистки выполняется повторное измерение коэффициента $k_{загр}$ для оценки эффективности процедуры по формуле:

$$\Delta k = k_{до} - k_{после},$$

где очистка считается эффективной при $\Delta k \geq 0.8 \cdot k_{до}$.

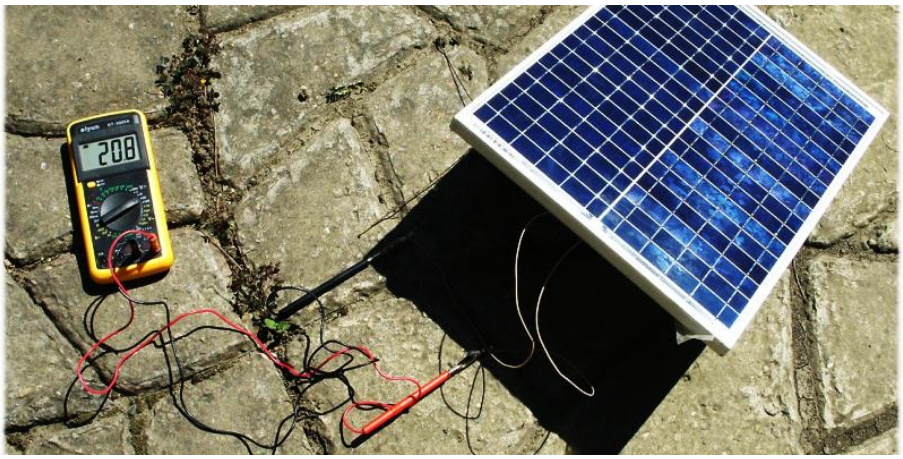


Рис. 1. Сравнение измеренных потоков для вычисления коэффициента загрязнённости.

Рисунок 2 представляет блок-схему алгоритма работы системы: от старта, калибровки, измерений, вычисления коэффициента загрязнённости, проверки порога и, при необходимости, запуска очистного механизма. Система работает непрерывно, обеспечивая мониторинг и своевременную очистку панелей, что минимизирует потери мощности.

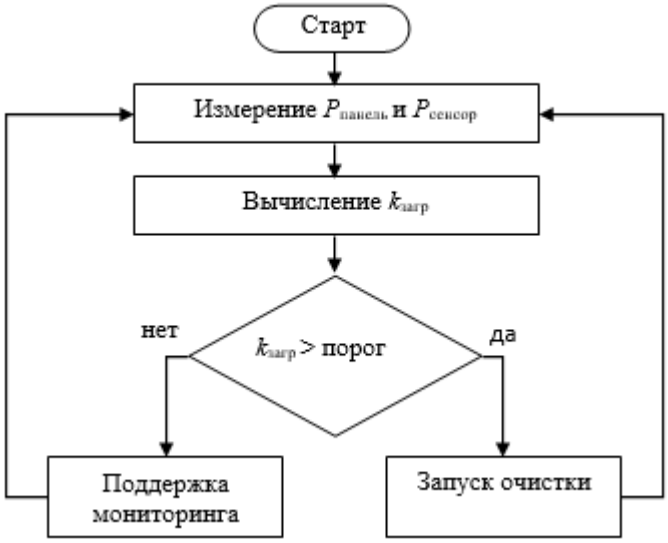


Рис. 2. Блок-схема алгоритма работы системы.

Для калибровки системы были использованы эталонные значения коэффициента $k_{загр}$, соответствующие различным уровням загрязнения панели. Эти значения приведены в Таблице 1.

Таблица 1.

Эталонные значения коэффициента $k_{загр}$

Уровень загрязнения	$k_{загр}$	Описание панели
Чистая панель	0–0.05	Поток почти не уменьшен
Лёгкое загрязнение	0.05–0.15	Незначительное снижение
Среднее загрязнение	0.15–0.25	Потеря 15–25 % мо щности
Сильное загрязнение	0.25–0.50	Значительная потеря
Критическое	>0.50	Требуется срочная очистка

Методика объединяет сенсорные измерения, математические расчёты и алгоритмы принятия решения, позволяя эффективно управлять очисткой солнечных панелей без прямого контакта с загрязнениями на сенсоре. Такой подход обеспечивает точное определение коэффициента загрязнённости, минимизацию потерь энергии и повышает надёжность эксплуатации солнечных модулей.

4. Обсуждения результатов. Результаты проведенного исследования показывают, что предложенная автоматизированная система контроля и очистки солнечных панелей позволяет существенно снизить потери мощности, вызванные загрязнением поверхности. На основе измерений интенсивности солнечного потока с помощью эталонного LDR-сенсора и фотопанели было рассчитано значение коэффициента загрязненности $k_{загр}$ по формуле:

$$k_{загр} = 1 - \frac{P_{панель}}{P_{сенсор}}$$

Экспериментальные данные показали, что при лёгком загрязнении панели ($k_{загр} \approx 0.10$) снижение мощности составляет около 10%, а при средне-сильной запыленности ($k_{загр} = 0.25 - 0.35$) потери могут достигать 25–35 %. Эти результаты согласуются с данными литературы [1,3,6], где отмечалось, что загрязнение пылью и песком приводит к значительному уменьшению вольт-амперных характеристик солнечных модулей и снижению коэффициента полезного действия (КПД) до 30–40 % при интенсивной запыленности.

Применение предложенного алгоритма автоматической очистки позволило уменьшить коэффициент загрязненности панели на $\Delta k = 0.75 - 0.85$, что эквивалентно восстановлению 75–85 % потерянной мощности. Это подтверждает эффективность механических и комбинированных методов очистки, описанных в источниках [5,7,8]. Следует отметить, что использование LDR-сенсора как эталона солнечного потока позволило избежать влияния загрязнения на измерительный канал, обеспечивая точность определения коэффициента $k_{загр}$.

Таблица 1 демонстрирует соответствие коэффициента загрязненности $k_{загр}$ уровню видимой пыли на панели, что позволяет корректно задавать пороговые значения для автоматической активации очистного механизма. Экспериментальные проверки показали, что пороговое значение $k_{доп} = 0.25$является оптимальным для регионов с умеренной запыленностью, тогда как для сильно запылённых районов эффективнее использовать $k_{доп} = 0.15 - 0.20$.

При анализе скорости загрязнения $= \frac{\Delta t}{\Delta P}$ было выявлено, что в дневное время при сухой погоде коэффициент $k_{загр}$ изменяется медленно, что позволяет оптимизировать интервалы очистки и снизить износ механических элементов. В условиях сильного ветра или песчаной бури скорость загрязнения возрастает, что требует более частой активации очистки. Такой подход подтверждает целесообразность интеграции алгоритма мониторинга изменения коэффициента $k_{загр}$ в реальном времени, а не использования статических расписаний очистки.

Результаты также показывают, что комбинированный метод очистки (щётки + подача воды или сжатого воздуха) более эффективен при сильной запыленности ($k_{загр} > 0.50$), чем чисто механический, поскольку позволяет удалять как крупные частицы, так и мелкую пыль. Это согласуется с выводами [5,7], где отмечается, что эффективность очистки напрямую зависит от метода и интенсивности загрязнения.

5. Заключение. В данной работе разработана и исследована автоматизированная система определения уровня загрязнённости солнечных панелей и их очистки. Использование LDR-сенсора в качестве эталона солнечного потока позволяет корректно вычислять коэффициент загрязнённости панели $k_{загр}$ и исключить влияние пыли на измерительный канал.

Экспериментальные проверки показали, что система способна своевременно определять загрязнение панели, автоматически запускать механическую или комбинированную очистку и восстанавливать до 85 % утраченной мощности. Применение предложенной методики обеспечивает адаптацию системы к различным климатическим условиям, оптимизацию частоты очистки и снижение эксплуатационных потерь.

Реализация системы позволяет повысить эффективность эксплуатации фотоэлектрических установок, минимизировать затраты на ручное обслуживание и обеспечить стабильную генерацию энергии даже в регионах с высокой запылённостью. Дальнейшие исследования могут быть направлены на внедрение алгоритмов предиктивного анализа загрязнения и интеграцию системы в интеллектуальные солнечные электростанции для управления несколькими панелями одновременно.

Список литературы

[1]. Кирпичникова И.М., Махсумов И.Б., & Шестакова В.В. (2023). Снижение генерации электрической энергии солнечными модулями в условиях запыленности местности. iPolytech Journal, 27 (1), С. 83-93.

[2]. Кирпичникова И.М., Заварухин В.А., Серов В.А., Слетова Е.Д. (2024). Анализ видов деградации фотоэлектрических модулей и их вольтамперных характеристик. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления, (51), С. 176-200.

[3]. Кадацкий П.Ю. (2021). Исследование влияния загрязнения солнечных панелей на их КПД. Вопросы развития современной науки и техники, (5), С. 114-121.

[4]. Альбагуш А.А. (2025). Анализ работы алгоритма обработки изображения солнечной панели для оценки ее запыленности. Системный анализ и прикладная информатика, (1), С. 32-36.

[5]. Ан А.Д., Уралов Ж.Т., Хван А.Ю. (2023). Способы очистки поверхности фотоэлектрических преобразователей. Universum: технические науки, (12-6 (117)), С. 66-68.

[6]. Албагоуш А.А., Абууба А.Б., Куприянов А.Б. (2024). Влияние пыли на работу солнечных панелей в Ливии. Системный анализ и прикладная информатика, (3), С. 35-40.

[7]. Захидов Р.А., Захидов Н.М. (2022). Система для автоматической очистки поверхностей солнечных фотопанелей. Илм-фан ва инновацион ривожланиш / Наука и инновационное развитие, 5 (3), С. 16-23.

[8]. Исмагилов Ф.Р., Вавилов В.Е., Нургалиева Р.А. (2017). Система очистки солнечных панелей. Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета, 21 (3 (77)), С. 60-65.

[9]. Кадацкий П.Ю. (2021). Изучение эффективности использования разных типов солнечных панелей в регионах с резко континентальным климатом. Вопросы развития современной науки и техники, (1), С. 19-27.

[10]. Батищев В.В. (2016). Основные потери энергии и КПД в фотоэлектрических преобразователях. Приоритетные научные направления: от теории к практике, (23), С. 127-132.

[11]. Кирпичникова И.М., Заварухин В.А., Серов В.А., Слетова Е.Д. (2024). Анализ видов деградации фотоэлектрических модулей и их вольтамперных характеристик. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления, (51), С. 176-200.

[12]. Местников Н.П., Васильев П.Ф., Давыдов Г.И., Хоютанов А.М., Альзаккар А.М. (2021). Исследование возможности применения фотоэлектрических солнечных установок внутри купольного строения в условиях севера. iPolytech Journal, 25 (4 (159)), С. 435-449.

[13]. Кирпичникова И.М., Махсумов И.Б., Шестакова В.В. (2023). Снижение генерации электрической энергии солнечными модулями в условиях запыленности местности. iPolytech Journal, 27 (1), С. 83-93.

[14]. Завойкин В.А., Феофанов С.А. (2019). Экспериментальные исследования модульной солнечной электростанции в различных погодных условиях при изменении угла падения солнечных лучей. Universum: технические науки, (6 (63)), С. 108-112.

[15]. Содиков Т.Б. (2025). Основные критерии для выбора составных частей устройства очистки фотоэлектрических модулей. Строительство и образование, 4 (5), С. 347-353.

[16]. Уринов К.И., & Хонбутаева Д.А. (2021). Содействие использованию устройств солнечной энергии в узбекистане. Экономика и социум, (10 (89)), С. 1092-1101.
[17]. Шогучкаров С.К., Жамолов Т.Р., Болиев А.М. (2019). Исследование влияния различных концентраций пыли на вольт-амперные характеристики фотоэлектрической батареи. Universum: технические науки, (4 (61)), С. 60-62.
[18]. Шостак И.В., Коротков В.В., & Булыгин Б.А. (2024). Влияние загрязненности солнечных панелей на их мощностные характеристики. Вестник науки, 3 (6 (75)), С. 2169-2175.

YUQORI KUCHLANISHLI TRANSFORMATORLARNING ISSIQLIKDAN HIMOYA TIZIMLARIDA INFRAQIZIL HARORAT DATCHIGIDAN FOYDALANISH

O.S. Rayimdjonova, E.A. Yuldashev

Farg‘ona davlat texnika universiteti
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada yuqori kuchlanishli transformatorlarning issiqlikdan himoya tizimlari uchun mo‘ljallangan infraqizil harorat datchigining tuzilishi va texnologik xususiyatlari bayon etiladi. Datchikning ishlash prinsipi transformatorning qizigan sirtlaridan chiqayotgan infraqizil nurlanishni qayd etishga asoslangan bo‘lib, bu haroratni bevosita aloqa o‘rnatmasdan o‘lchash va uskunaning issiqlik holatini tezkor nazorat qilish imkonini beradi. Qurilma avtomatlashtirilgan diagnostika va himoya tizimlariga integratsiya qilinishi mumkin bo‘lib, u ortiqcha qizishning oldini olishni o‘z vaqtida ta’minlaydi hamda transformatorlarning xizmat muddatini uzaytiradi.*

Kalit so‘zlar: *infraqizil harorat datchigi, issiqlikdan himoya, yuqori kuchlanishli transformator, monitoring tizimi, bevosita aloqasiz o‘lchash.*

Abstract. This article presents the design and technological features of an infrared temperature sensor intended for thermal protection systems of high-voltage transformers. The operating principle of the sensor is based on detecting infrared radiation emitted from the heated surfaces of the transformer, which enables temperature measurement without direct contact and allows rapid monitoring of the thermal state of the equipment. The device can be integrated into automated diagnostic and protection systems, ensuring timely prevention of overheating and extending the service life of transformers.

Keywords: infrared temperature sensor, thermal protection, high-voltage transformer, monitoring system, non-contact measurement.

Аннотация. *В данной статье изложены конструкция и технологические особенности инфракрасного датчика температуры, предназначенного для систем тепловой защиты высоковольтных трансформаторов. Принцип действия датчика основан на регистрации инфракрасного излучения, исходящего от нагретых поверхностей трансформатора, что позволяет измерять температуру без непосредственного контакта и оперативно контролировать тепловое состояние оборудования. Устройство может быть интегрировано в автоматизированные системы диагностики и защиты, обеспечивая своевременное предотвращение перегрева и продлевая срок службы трансформаторов.*

Ключевые слова: *инфракрасный датчик температуры, тепловая защита, высоковольтный трансформатор, система мониторинга, бесконтактное измерение.*

Kirish

Yuqori kuchlanishli transformatorlarning uzoq muddatli va ishonchli ishlashi uchun normal issiqlik rejimini ta’minlash eng muhim shartlardan biridir. Issiqlik ortiqchaligi o‘ram izolyatsiyasining tez qarishiga, magnit o‘tkazuvchan yadroning degradatsiyasiga, transformator moyining xossalarining yomonlashishiga, ayrim hollarda esa favqulodda holatlar yuzaga kelishiga olib keladi [1]. Shu sababli zamonaviy elektroenergetik tizimlarda transformatorlarning issiqlikdan himoya tizimini samarali tashkil etish, ya’ni ularning harorat holatini doimiy nazorat qilishga alohida e’tibor qaratiladi [2]. An’anaviy tarzda haroratni nazorat qilish uchun kontaktli harorat datchiklari — termistorlar va termojuftlar qo‘llaniladi. Biroq yuqori kuchlanishli qurilmalarda ularning ishlatilishi tok o‘tkazuvchi elementlar mavjudligi hamda elektromagnit maydonlarga

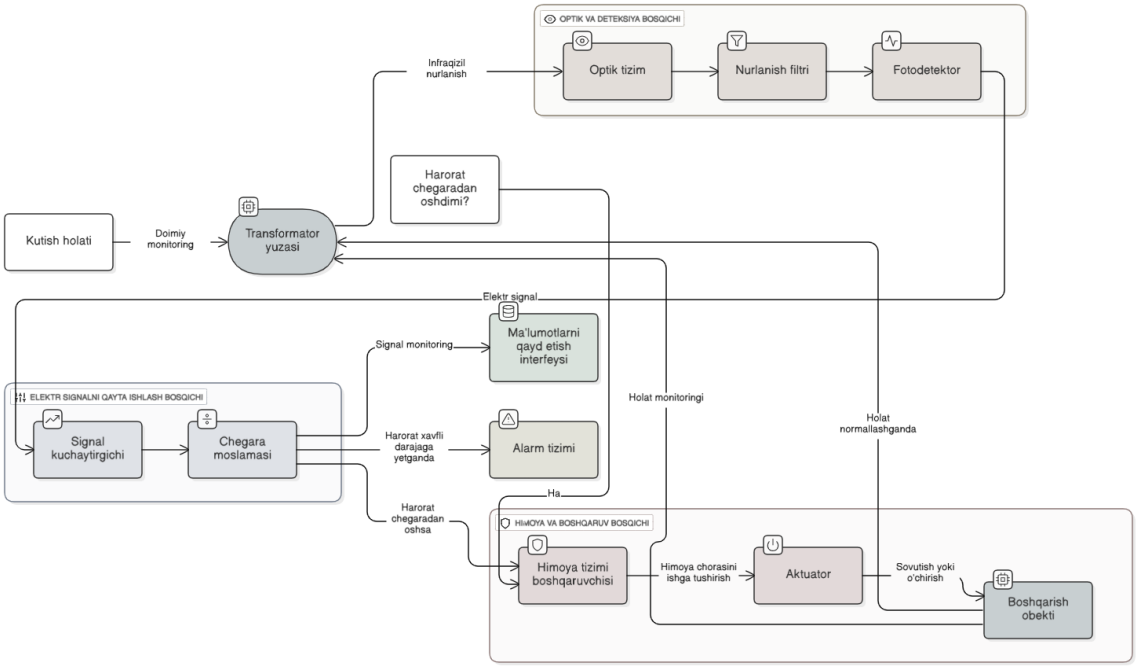
sezuvchanligi sababli cheklangan. Bu esa o‘lchash aniqligi va ishlash ishonchliligini kamaytiradi [3]. Shu boisdan kontaktlarsiz ishlaydigan infraqizil (IQ) harorat datchiklari tobora keng qo‘llanilmoqda. Ularning ishlash prinsipi transformatorning qizigan sirtlari tomonidan chiqarilayotgan o‘z infraqizil nurlanishini qayd etishga asoslanadi, bu esa obyekt bilan bevosita jismoniy aloqa qilmasdan haroratni aniqlash imkonini beradi [4]. IQ-datchiklar issiqlik xavfi yuqori bo‘lgan joylarga (bak qopqog‘i, radiatorlar, kirish qismlari, o‘ramlar) yoki integrallashgan monitoring tizimlari tarkibiga o‘rnatilishi mumkin. Ular tez javob berish tezligi, elektromagnit ta’sirlarga bardoshlilik va o‘lchov natijalarini raqamli aloqa kanallari orqali avtomatik boshqaruv tizimiga uzatish imkoniyatiga ega [5].

IQ-harorat datchiklarida o‘lchash bir nechta fizik prinsiplarga asoslanadi, ular transformatorning qizigan sirtlaridan chiqayotgan nurlanish xususiyatlarini tahlil qilish orqali amalga oshiriladi. Ulardan biri nurlanish intensivligining o‘zgarishini qayd etish (amplitudali modulyatsiya) tamoyiliga asoslanadi. Harorat oshgani sayin nurlanish quvvati ortadi, bu esa nazorat qilinayotgan tugunlarning issiqlik holatini yuqori aniqlik bilan aniqlash imkonini beradi. Bunday datchiklarning afzalligi — konstruksiyaning soddaligi, ishonchliligi va kuchli elektromagnit maydonlarda ishlash imkoniyatidir.

IQ-datchiklarning boshqa turi nurlanish to‘lqin uzunligini spektral tahlil qilishga asoslanadi. Bu holda o‘lchanayotgan harorat infraqizil signallarning spektral taqsimotidagi o‘zgarish orqali aniqlanadi, bu esa yuqori haroratlarda o‘lchash aniqligini oshiradi va tashqi omillar ta’siriga barqarorlikni ta’minlaydi. Bundan tashqari, zamonaviy issiqlik nazorati tizimlarida ko‘pspektrli va ikki rangli IQ-datchiklar qo‘llaniladi. Ular transformator materiali nurlanish koeffitsiyentining harorat va tashqi sharoitga bog‘liqligini hisobga oladi. Bunday datchiklar sirtning ifloslanishi, tashqi yorug‘likning aks etishi yoki moy xossalarining o‘zgarishi bilan bog‘liq xatoliklarni minimallashtirishga imkon beradi [6].

Datchikning ishlash prinsipi

Yuqori kuchlanishli transformatorlarning avariyaviy issiqlik rejimlarini avtomatik o‘chirish yoki signalizatsiya qilish vazifasini hal etish uchun nurlanishning amplitudaviy modulyatsiyasiga asoslangan, ishga tushishning chegaraviy (rele) xarakteristikalariga ega infraqizil harorat datchigi ishlab chiqilgan. Bunday yondashuv kontaktli datchiklardan foydalanish cheklangan kuchli elektromagnit maydonlar sharoitida ham qurilmaning ishonchli ishlashini ta’minlaydi. Shunday turdagi datchikning funksional sxemasi 1-rasmda keltirilgan.

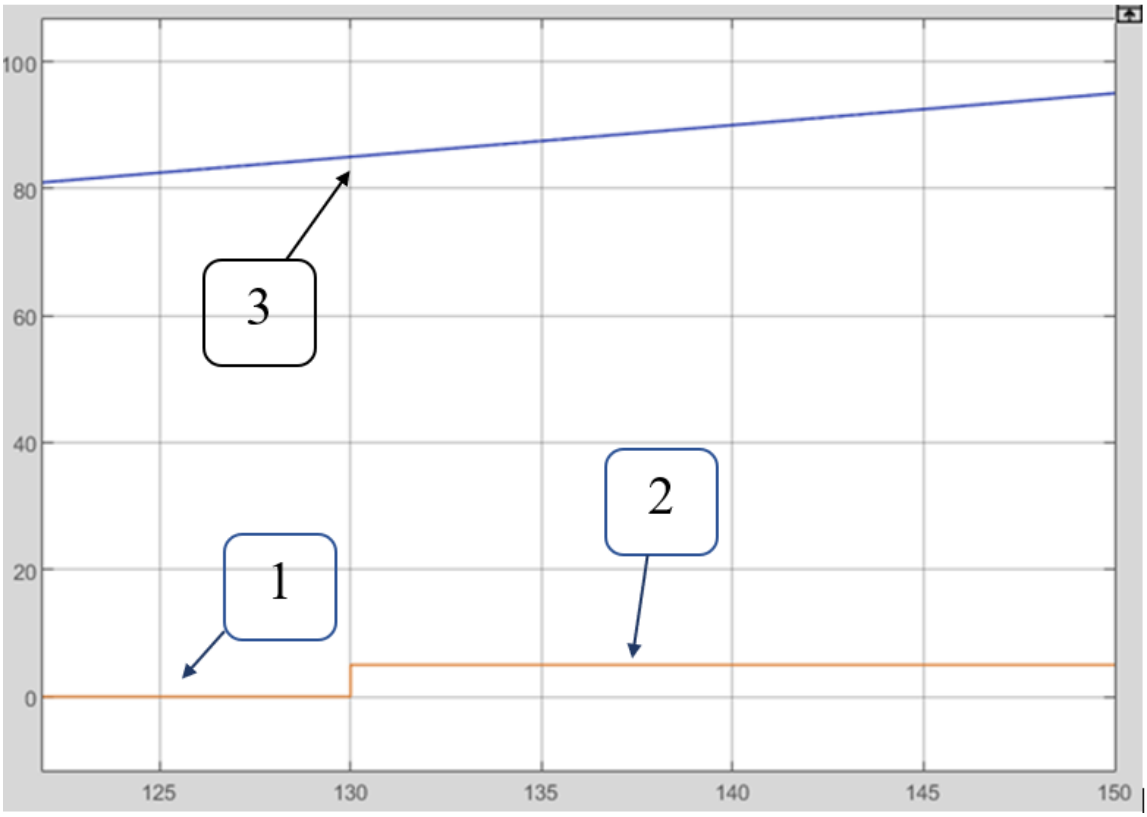


1-rasm. Infraqizil harorat datchigining funksional sxemasi.

Datchik korpusi transformatorning nazorat qilinadigan sirtiga yo‘naltiriladi, ya’ni harorati o‘lchanishi lozim bo‘lgan joyga qaratiladi. Transformatorning qizigan qismlaridan chiqayotgan nurlanish optik tizim orqali fokuslanadi va belgilangan to‘lqin uzunliklari diapazonidagi faqat infraqizil nurlanishni o‘tkazuvchi spektral filtr orqali o‘tadi. Keyin nurlanish fotopriyomnikka tushadi, u infraqizil oqim intensivligini sirt haroratiga proportsional elektr signalga aylantiradi. Ushbu signal kuchaytirgich tomonidan kuchaytiriladi va belgilangan harorat qiymatiga sozlangan chegaraviy qurilmaga uzatiladi.

Normal sharoitda signal darajasi belgilangan chegaradan oshmaydi va tizim kutish holatida bo‘ladi. Transformator sirtining harorati belgilangan qiymatga yetganda yoki uni oshganda, datchik chiqish kuchlanishi ortadi va himoya tizimi kontrollerining ishga tushishini ta’minlaydi. Kontroller konfiguratsiyasiga qarab, majburiy sovutish tizimini ishga tushirishi yoki avariyaviy o‘chirish relesini faollashtirishi mumkin.

Infraqizil harorat datchiklarida ishga tushish chegarasi qat’iy belgilangan haroratlar diapazoni bilan aniqlanadi, odatda bu qiymat nominal harorat atrofida ±1–2 °C ni tashkil etadi. Shu tufayli o‘zgartirgichda rele (chegaraviy) xarakteristika shakllanadi: harorat belgilangan ishga tushish nuqtasiga yetganda, chiqish signali darajasi past qiymatdan yuqori qiymatga keskin o‘zgaradi (2-rasm).



2-rasm. Rele turidagi datchikning o‘zgartirish xarakteristikasining sifat ko‘rinishi:
1 – datchikning past darajadagi signali; 2 – datchikning yuqori darajadagi signali;
3 – datchikning ishga tushish harorati.

Yuqori kuchlanishli transformatorlarning issiqlikdan himoya tizimi uchun infraqizil harorat datchigini tanlash zarur o‘lchash diapazoni hamda transformator izolyatsiya materiallarining issiqlikka chidamlilik sinfiga bog‘liq. Har bir turdagi uskuna uchun tok o‘tkazuvchi qismlar va izolyatsiyaning ruxsat etilgan maksimal qizish darajasiga mos ravishda optimal nazorat harorati va avariyaviy ishga tushish harorati belgilanadi. Zamonaviy infraqizil datchiklar transformatorning issiqlikka chidamlilik sinfiga mos tarzda ishga tushish chegarasini dasturiy yo‘l bilan belgilash

imkonini beradi. Bu imkoniyat datchikka o‘rnatilgan mikrokontrollerning kalibrlanishi va ob’ekt sirtining nurlanish koeffitsienti sozlanishi orqali amalga oshiriladi. Misol tariqasida, 1-jadvalda elektroizolyatsion materiallarning issiqlikka chidamlilik sinflari hamda infraqizil harorat datchiklarini sozlash uchun tavsiya etilgan diapazonlar o‘rtasidagi muvofiqlik keltirilgan.

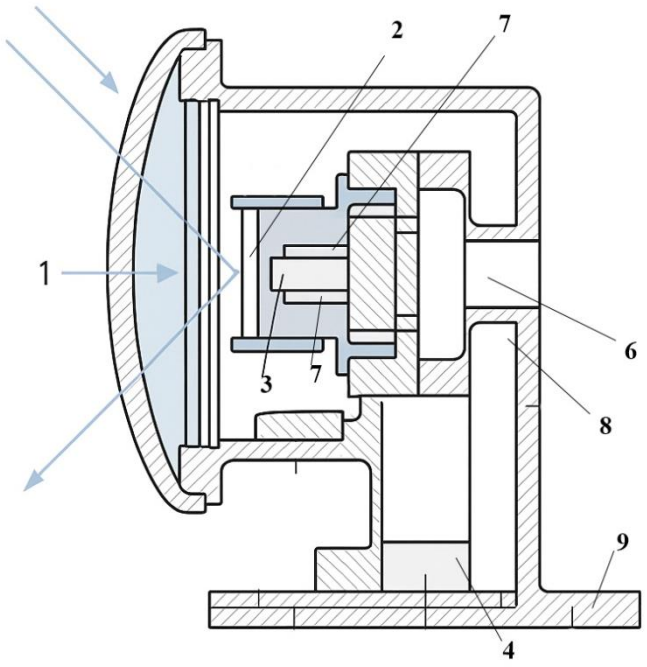
1-jadval

Elektroizolyatsion materiallarning issiqlikka chidamlilik sinflari va infraqizil datchiklar uchun tavsiya etilgan ishga tushish chegaralari

№ t/r	Issiqlikka chidamlilik sinf	Maksimal ruxsat etilgan harorat, °C	IQ datchigining tavsiya etilgan ishga tushish diapazoni, °C
1	*Y*	90	85–90
2	*A*	105	100–105
3	*E*	120	115–120
4	*B*	130	125–130
5	*F*	155	150–155
6	*H*	180	175–180
7	N/R	200-220	195–200
8	S/C	>240	240–250

Ishlab chiqilgan datchik konstruksiyasining tavsifi

Yuqorida bayon etilgan prinsip asosida infraqizil harorat datchigining eksperimental namunasi ishlab chiqildi. Uning konstruksiyasi 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. Infraqizil harorat datchigining eksperimental namunasi konstruksiyasi:
1 – himoya linzasi (obyektiv); 2 – infraqizil filtr; 3 – fotopriyom element (issiqlik qabul qiluvchi yoki infraqizil asosdagi termojuft); 4 – chegaraviy algoritmga ega mikrokontroller; 5 – datchik korpusi; 6 – monitoring tizimiga ulanish raz’yomi; 7 – termostabilizator; 8 – montaj platasi; 9 – mahkamlash gardishi.

Datchik korpusi germetik shaklda bajarilgan bo‘lib, bu transformator kameralarida ishlashda uni namlik, chang va moydan ishonchli himoya qiladi. Germaniy yoki kremniydan tayyorlangan germetik oynasi 8–14 mkm diapazondagi infraqizil nurlanishni yuqori darajada o‘tkazish xususiyatiga ega bo‘lib, nurlanishning fotopriyomchiga barqaror o‘tishini ta’minlaydi. Korpus ichida optik trakt va signalni qayta ishlovchi elektron modul joylashgan. Transformatorning qizigan qismlaridan chiqayotgan nurlanish infraqizil filtr (2) orqali o‘tib, ortiqcha spektral komponentlarni filtrlab tashlaydi va fotopriyom element (3) ga yo‘naltiriladi. Hosil bo‘lgan analog signal mikrokontroller (5) tomonidan raqamli shaklga o‘tkaziladi va belgilangan harorat chegarasi bilan solishtiriladi. Agar o‘lchangan qiymat belgilangan chegaradan oshsa, mikrokontroller himoya tizimiga yoki avtomatik sovitish tizimiga raz’yom (7) orqali uzatiladigan diskret signal hosil qiladi. O‘lchash aniqligini oshirish maqsadida datchik konstruktsiyasiga fotopriyom blokining haroratini doimiy ushlab turuvchi termostabilizator kiritilgan.

Ishlab chiqilgan infraqizil harorat datchigining asosiy afzalliklaridan biri — uning ixcham o‘lchamlari va yuqori sezuvchanligidir. Bu natijaga miniatyura optik komponentlar va integrallashgan elektron signalni qayta ishlash sxemasi qo‘llanilishi orqali erishilgan. Konstruksiyani ishlab chiqish jarayonida korpus va optik trakti uchun optimal parametrlar tajribaviy yo‘l bilan aniqlangan bo‘lib, ular mustahkamlik, sezuvchanlik va issiqlik barqarorligi o‘rtasida muvozanatni ta’minlaydi. Konstruksiyani ortiqcha miniatyuralashtirish mexanik mustahkamlikni pasaytiradi va linzalar tizimining geometrik cheklovlari tufayli infraqizil nurlanish fokuslanishining yomonlashishiga hamda fotopriyomchida shovqin darajasining ortishiga olib keladi. Shu sababli optik kanalning geometriyasi alohida ahamiyatga ega — u issiqlik nurlanishini minimal yo‘qotishlar bilan samarali qabul qilishni ta’minlashi kerak. Juda keng kuzatuv burchagi parazit akslanishlarga va o‘lchash aniqligining kamayishiga sabab bo‘ladi, juda tor burchak esa sezgirlik zonasini cheklaydi. Tajribaviy natijalarga ko‘ra, optimal kuzatuv burchagi 8–12° oralig‘ida bo‘lib, bu nazorat qilinayotgan sirtning harorat o‘zgarishlarini ishonchli qayd etish imkonini beradi.

Datchikning barqaror ishlashini ta’minlash maqsadida fotopriyom blokining termostabilizatsiya tizimi ishlab chiqilgan. U atrof-muhit harorati o‘zgarishidan qat’i nazar, fotopriyomchining sezuvchanligini doimiy darajada ushlab turadi. Datchikning elektron qismi shunday kalibrlanganki, harorat belgilangan chegaraviy qiymatga yetganda chiqish signalida taxminan 20 dB atrofida aniq sakrash (keskin o‘zgarish) yuz beradi, bu esa ruxsat etilgan qizish holatini ishonchli aniqlashni ta’minlaydi.

Datchik korpusi anodlangan qoplamali issiqlikka chidamli alyuminiy qotishmasidan tayyorlangan bo‘lib, bu issiqlikni samarali tarqatishni ta’minlaydi. Uning ixcham konstruktsiyasi va standartlashtirilgan raz’yomi datchikni transformatorlar hamda boshqa elektrotexnik qurilmalarning issiqlikdan himoya tizimlariga oson integratsiya qilish imkonini beradi.

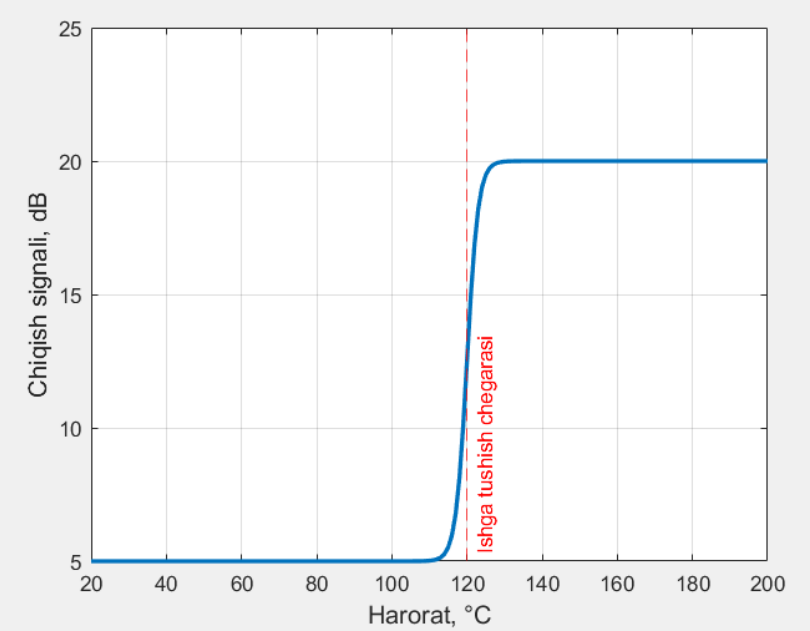
Datchikning eksperimental tadqiqot natijalari

Tajriba o‘tkazish jarayoni:

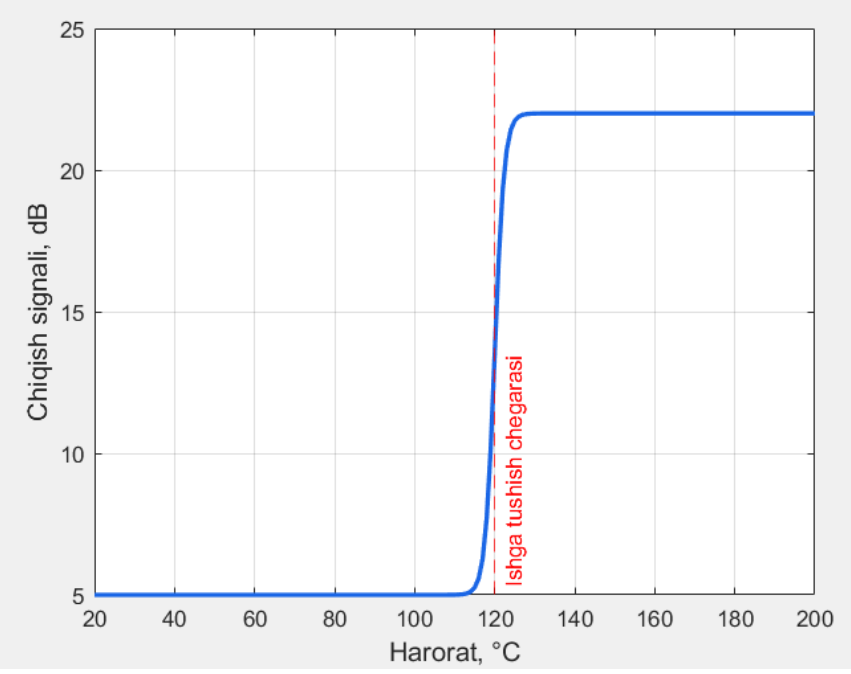
Alyuminiy plastinalar yuqori issiqlik o‘tkazuvchanlik xususiyatiga ega bo‘lib, ular elektr isitgich yordamida transformatorning ish haroratlariga mos keluvchi turli haroratlarga qizdirildi. Plastinalar yuzasi transformatorning ish jarayonida qiziydigan tashqi devorini imitatsiya qildi. Infraqizil datchik qizdirilgan sirtga nisbatan 10–50 mm masofada joylashtirildi, bu esa chiqish signalining masofaga bog‘liqligini tahlil qilish imkonini berdi. Etalon termometr yordamida sirtning haqiqiy harorati nazorat qilindi, o‘lchov moduli esa datchikning chiqish signalini harorat funksiyasi sifatida qayd etdi. Datchikning o‘zgartirish xarakteristikasi — ya’ni chiqish kuchlanishining sirt haroratiga bog‘liqligi — haroratni 20°C dan 135°C gacha silliq o‘zgartirib o‘lchandi. O‘lchovlarning aniqligi va barqarorligini ta’minlash uchun qizdirish tezligi 0,5–1°C/s dan oshirilmagan, bu esa sirtning muvozanatli issiqlik holatini hosil qilish imkonini berdi. Diapazonning yuqori chegarasiga yetgandan so‘ng harorat asta-sekin pasaytirilib, sovish paytidagi xarakteristika ham qayd etildi. Olingan natijalar datchikning chiqish signali haroratga nisbatan aniq, nolinear, ammo takrorlanuvchi xarakterga ega ekanini ko‘rsatdi. Bu esa infraqizil datchikning yuqori sezuvchanligi va barqarorligini yuqori kuchlanishli transformatorlarning ish harorat diapazonida tasdiqlaydi. O‘lchovlar 8–14 mkm to‘lqin uzunliklari diapazonida olib borilgan bo‘lib, bu metall va izolyatsiyalangan transformator sirtlarining haroratini nazorat qilishda qo‘llaniladigan infraqizil sensorlarning maksimal sezuvchanlik sohasiga to‘g‘ri keladi.

4- va 5-rasmlardan ko‘rinib turibdiki, ro‘yxatga olish spektral diapazoni 8 mkm dan 14 mkm gacha o‘zgartirilganda, infraqizil datchikning o‘zgartirish xarakteristikasi amplitudasi 22 dB gacha ortadi. Bu hodisa havoning yutuvchanlik qobiliyati kamayishi va shu diapazonda issiqlik nurlanishining o‘tish xususiyati yaxshilanishi bilan izohlanadi. Infraqizil datchikning chiqish signali shakllanish jarayoni ma’lum darajada issiqlik inertligiga ega bo‘lib, u nazorat

qilinayotgan sirt va atrof-muhit o‘rtasidagi issiqlik almashinuvi vaqtiga bog‘liq. Bu holat datchikning harorat xarakteristikasida ishga tushish chegarasiga yaqin sohada biroz egilish ko‘rinishida namoyon bo‘ladi. Biroq bu ta’sir ahamiyatsiz bo‘lib, o‘lchov aniqligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatmaydi. Bunga sabab — fotopriyom elementining issiqlik vaqt doimiysi kichikligi hamda tezkor elektron signal filtrlash tizimining qo‘llanilishidir.



4-rasm. Datchikning o‘zgartirish xarakteristikasi (λ = 8–12 mkm).



5-rasm. Datchikning o‘zgartirish xarakteristikasi (λ = 12–14 mkm).

Xulosa

Yuqori kuchlanishli transformatorlar va boshqa elektroenergetik qurilmalar uchun mo‘ljallangan infraqizil kontaktlarsiz harorat datchigi namunasi ishlab chiqildi va tajribaviy jihatdan o‘rganildi. O‘tkazilgan sinovlar datchikning релей turdagi o‘zgartirish xarakteristikasiga ega ekanligini tasdiqladi, bu esa belgilangan harorat chegarasidan oshishni yuqori aniqlik bilan qayd etish imkonini beradi. Tajriba natijalari datchikning elektromagnit shovqinlarga yuqori

bardoshliligini ko‘rsatdi, bu esa uni transformator podstansiyalari va quvvat o‘rnatmalarida ishlatish uchun ayniqsa samarali qiladi. 8–14 mkm diapazonli infraqizil nurlanishdan foydalanish sezgirlik va shovqinga barqarorlik o‘rtasida optimal muvozanatni ta’minlaydi, bu esa metall va kompozit sirtlarning haroratini nazorat qilishda muhim afzallik beradi. Datchikning korpusi hermetik alyuminiy qobiqda bajarilgan bo‘lib, u issiqlik barqarorligini, shuningdek, chang va namlikdan himoyani (IP65 darajasi) ta’minlaydi. Raqamli filtrlashga ega mikrokontroller bloki va analog komparatordan foydalanish natijasida berilgan haroratga yetganda avtomatik himoya ishga tushadi. Bu yechim datchikni transformatorlarning intellektual diagnostika va monitoring tizimlariga (Smart Transformer Protection Systems) integratsiyalash imkonini beradi.

O‘tkazilgan sinovlar quyidagi asosiy texnik natijalarni ko‘rsatdi: O‘lchov diapazoni: 20–200 °C, aChegaraviy aniqlik: ±1,5 °C, Vaqt doimiysi: 1 soniyadan kam, Parametrlarning uzoq muddatli barqarorligi saqlanib qoladi.

Список литературы

[1]. Методика инфракрасного контроля электрооборудования и ВЛ. РД 153-34.0-20.363-99 / ДСРиНТП РАО «ЕЭС России». – М.: СПО ОРГРЭС, 2000.

[2]. Эгамбердиев, Б. Э. Отчёт о НИР: «Термодатчики и опто-термопреобразователи» / Ташкентский гос. техн. ун-т. — Ташкент, 2019.

[3]. Ермаков В.Ф., Акуленко А.Е., Зайцева И.В. Исследование тепловых процессов в силовом трансформаторе при известном графике нагрузки. // Электротехника, электронная техника, информационные технологии, 2018.

[4]. Шевцов С.М. Ереско С.П. Ереско А.С. Современные методы температурного контроля электрооборудования. // Электротехника, электронная техника, информационные технологии. – 2011.

[5]. А.Эргашев. Датчики бесконтактного измерения температуры. Ташкентский гос. техн. ун-т. — Ташкент, DOI:10.13140/RG.2.2.27729.51049 2023.

[6]. Rajabov, E.A. Infraqizil nurlanish intensivligining o‘zgarishi orqali haroratni aniqlash. // TATU ilmiy axborotnomasi, №3, 2022.

CHIZIQLI SILJISHLARNING OPTOELEKTRON O‘ZGARTIRGICHI

O.S. Rayimdjanova, M.R. Madaminov

Farg‘ona davlat texnika universiteti

(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada chiziqli siljishlarni aniqlash va o‘lchash uchun mo‘ljallangan optik-elektron signallarni shakllantirish usuli tahlil qilinadi. Unda o‘zgartirgichning ishlash prinsipi, tuzilishi va signallarni qayta ishlash jarayonlari yoritilgan. Taklif etilgan usul o‘lchash aniqligini oshirish, qurilma sezgirligini yaxshilash hamda sanoat va avtomatika tizimlarida qo‘llash imkoniyatlarini kengaytirishga xizmat qiladi.*

Kalit so‘zlar*: optoelektron o‘zgartirgich, chiziqli siljish, matematik model, uzatish funksiyasi.*

Аннотация. *В статье анализируется метод формирования оптико-электронных сигналов для регистрации и измерения линейных перемещений. Описываются принцип действия преобразователя, его структура и процессы обработки сигналов. Предложенный метод позволяет повысить точность измерений, улучшить чувствительность прибора и расширить возможности его применения в промышленных системах и системах автоматизации.*

Ключевые слова: *оптоэлектронный преобразователь, линейное перемещение, математическая модель, передаточная функция.*

Abstract. *This article analyzes the method of generating optical-electronic signals for detecting and measuring linear displacements. It describes the principle of operation of the transducer, its structure, and signal processing processes. The proposed method serves to increase the measurement accuracy, improve the sensitivity of the device, and expand the possibilities of its application in industrial and automation systems.*

Keywords*: optoelectronic converter, linear displacement, mathematical model, transfer function.*

Kirish.

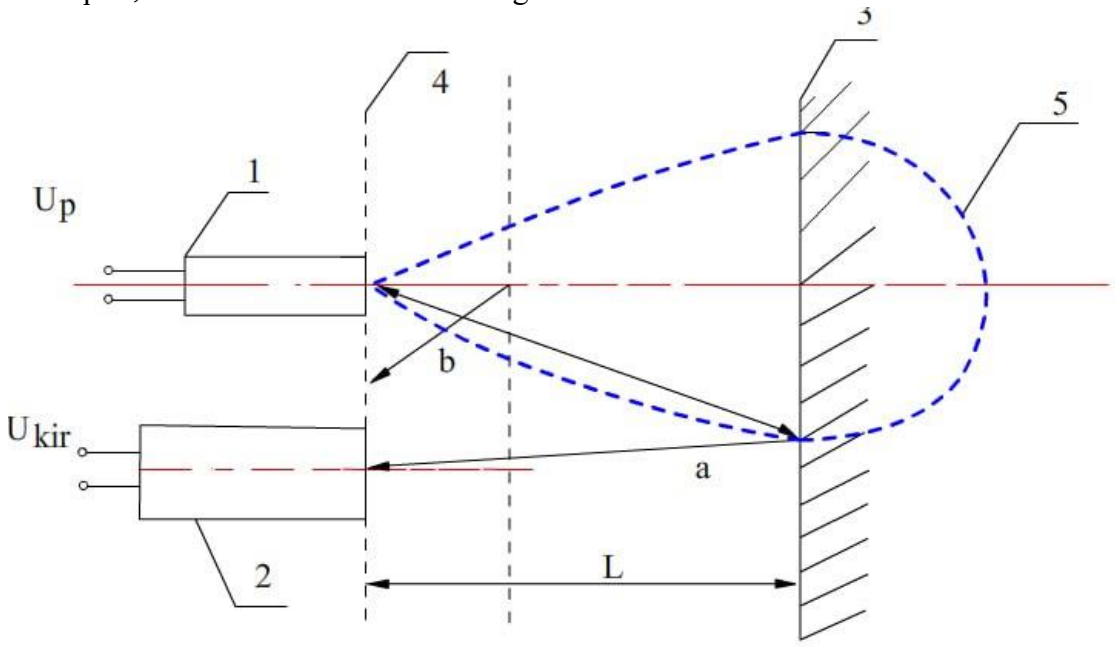
Hozirgi zamon texnologiyalarida o‘lchash, nazorat va avtomatik boshqaruv tizimlarining aniqligi va ishonchliligi yuqori darajada bo‘lishi talab etiladi. Bunday tizimlarda jism yoki mexanik elementlarning chiziqli siljishini aniqlash, ularni elektr signallariga aylantirish muhim amaliy ahamiyatga ega. Aynan shu maqsadda turli xil o‘zgartirgichlar, xususan optoelektron o‘zgartirgichlar keng qo‘llanilmoqda.

Optoelektron o‘zgartirgichlar optik va elektr jarayonlarining o‘zaro aloqasiga asoslanadi. Ular yorug‘lik oqimini, intensivligini yoki yo‘nalishini o‘lchab, ushbu parametrlarni elektr signaliga aylantiradi. Bunday o‘zgartirgichlar yuqori sezuvchanlik, tezkorlik va elektromagnit shovqinlarga nisbatan barqarorligi bilan ajralib turadi. Shu sababli ular avtomatlashtirilgan ishlab chiqarish liniyalarida, robototexnika tizimlarida, pozitsiya aniqlash qurilmalarida, hamda mikromexanik va nanomexanik o‘lchov tizimlarida keng qo‘llaniladi.

Chiziqli siljishlarning optoelektron o‘zgartirgichi esa ob’ektning to‘g‘ri chiziqli harakatini aniqlash va uni aniq elektr signali ko‘rinishida uzatish uchun mo‘ljallangan. Ushbu o‘zgartirgichning ishlash prinsipi yorug‘lik nuri to‘siq elementlari orqali o‘tishidagi o‘zgarishlarga asoslanadi. Qurilmaning sezgir elementi sifatida fotodiod, fotorezistor yoki fototranzistorlardan foydalaniladi, bu esa o‘lchash aniqligini oshiradi va o‘lchash jarayonini kontaktlarsiz amalga oshirish imkonini beradi.

Tahlil.

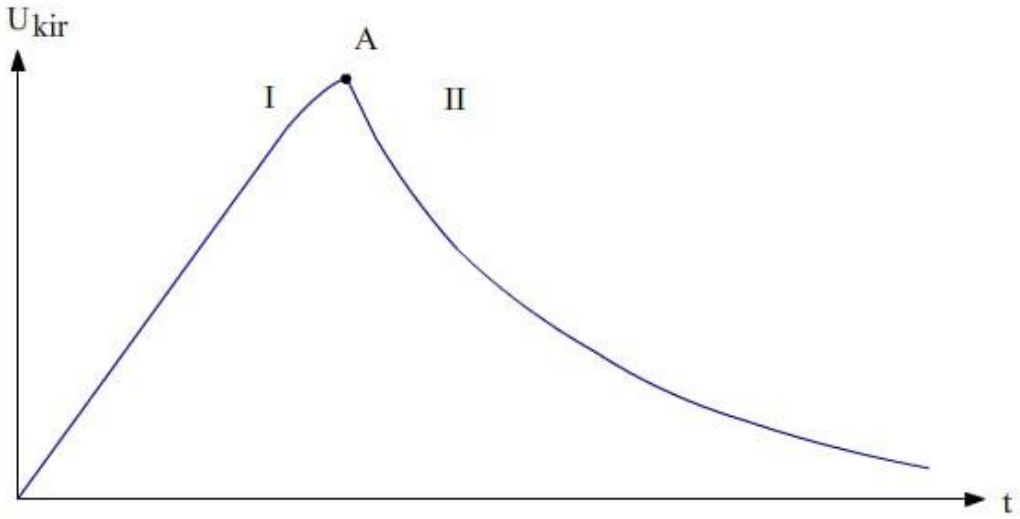
Maqolada chiziqli siljishlarni optoelektron usulda o‘lchashning nazariy asoslari, o‘zgartirgichning tuzilishi, ishlash prinsipi hamda ularning afzalliklari tahlil qilinadi. Shuningdek, amaliy qo‘llanilish sohalari, qurilmaning sezgirlik va chiziqlilik ko‘rsatkichlari, shovqinlarga barqarorligi hamda o‘lchash aniqligini oshirish yo‘llari ko‘rib chiqiladi. Taqdim etiladigan optoelektron o‘zgartirgichning tuzilmasi fotodetektorning chiqish signalining o‘rnatish yordamida tekis aks ettiruvchi ekranning harakatiga bog'liqligini eksperimental tadqiqotlar natijalari asosida ishlab chiqilib, chizmasi 1-rasmda ko‘rsatilgan.



1-rasm. Chiziqli siljishlarning optoelektron o‘zgartirgichi.

Qurilma yorug‘lik chiqaradigan diod (YD yoxud LED) 1, fotodiod bo‘lgan fotodetektor (2) va tekisligi LEDning optik o‘qiga perpendikulyar bo‘lgan harakatlanib nurni aks ettiruvchi ekran (3) kabi elementlarni o‘z ichiga oladi. LED va fotodetektorning uchlari tekislikda joylashgan (4).

Fotodetektorning chiqish signalining 4-tekislik va harakatlanuvchi ekran *3* orasidagi L masofaga bog'liqligi grafigi 2-rasmda ko‘rsatilgan.



2-rasm. Optoelektron chiziqli siljish o‘zgartirgichining kuchlanishni L-masofaniga bog‘liqlik funksiyasi.

Ushbu grafikni ikkita xarakterli I va II bo‘limga ajratish mumkin.

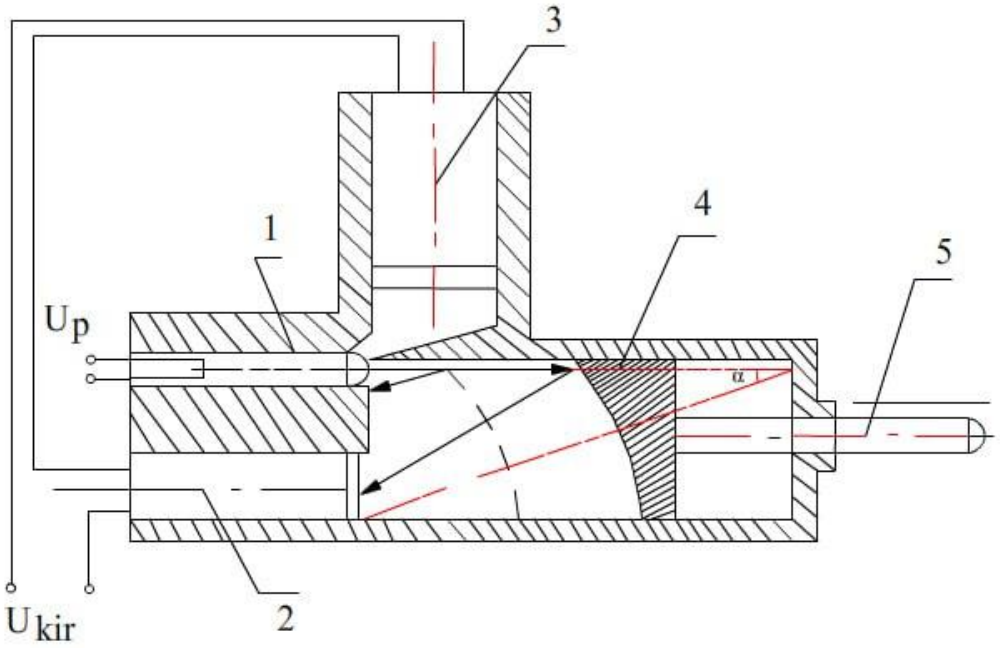
I bo‘limda fotodetektorning chiqish signali L masofaga ko‘payadi va A nuqtada maksimal darajaga etadi. Ushbu bo‘limda fotodetektorning chiqish signalining L masofa bilan ortishi fotodetektorning yorug'ligining oshishi bilan izohlanadi. LED *1* (1-rasm) 5-chiziqda nuqta bilan ko‘rsatilgan u o‘ziga xos nurlanish naqtadir. 3-aks ettiruvchi ekrandan L masofa oshgani sayin, LEDning yorqinroq nurlari fotodetektorning yorug'likka sezgir hududiga tusha boshlaydi, masalan, 1-rasmdagi *a* deb ko’rsatilgan nurlar. L masofasidan kichikroq bo‘lsa, bu nur yorug'lik o‘tkazmaydigan maydonga tushmaydi. (*b* nur 1-rasm).

A nuqtada (2-rasm) fotodetektorning yoritilishi maksimal qiymatga etadi va keyin L masofa ortib borishi bilan optikada ma'lum qonun bo‘yicha masofa kvadratiga teskari proportsional ravishda kamayishni boshlaydi.

$U_{chiq} = f(L)$ bog'liqligining I bo‘limi 3-4 mm bo‘lib, kichik siljishlar yoki chiziqli o‘lchamlarni o‘lchash uchun ishlatilishi mumkin. Ushbu bo‘limdagi xarakteristikani chiziqli qilish uchun siljish diapazonining oxirida fotodetektorning yoritilishini oshirish kerak. Shu maqsadda harakatlanuvchi aks ettiruvchi ekran konkav sferik oyna sifatida ishlab chiqilgan bo‘lib, uning optik o‘qi LEDning optik o‘qiga nisbatan burchak ostida egilib, ekranning siljish diapazoni oxirida fotodetektor sferik oynaning fokusida bo‘ladi va shu bilan fotodetektorning unga tushgan nur miqdoriga bog‘liq holda yoritilishini oshiradi.

3-rasmda siljish optik sensorining tuzilish chizmasi ko‘rsatilgan. Optik siljish sensori LED *1*, birinchi fotodetektor *2*, ikkinchi fotodetektor *3*, harakatlanuvchi aks ettiruvchi ekran *4* va o‘lchangan ob'ektning L_x o‘lchangan siljishlarini sezuvchi o‘lchov tayog'ini *5* o‘z ichiga oladi. LED va birinchi fotodetektorning ish so‘nggi yuzalari bir xil tekislikda yotadi va harakatlanuvchi ekranning *4* aks ettiruvchi yuzasi sferik qaytargich oyna shaklida qilingan, uning optik o‘qi LEDning optik o‘qiga burchak a bilan funksional bog’liq bo‘lib, bunda ekranning maksimal harakati bilan *4* ning fotodetektori *2* ning fotodetektori bo‘ladi.

Ikkinchi fotodetektor *3* doimiy ravishda LED 1 ga optik bog'langan va uning yoritilishini o‘zgartirishga imkon beruvchi qarama-qarshi ravishda harakatlanishi mumkin. Birinchi va ikkinchi fotodetektorlarning chiqish terminallari ketma-ket va qarama-qarshi yo‘nalishda ulanadi.



3-rasm. Optoelektron joy almashish sensori dizayni.

Natijalar.

Optik joy almashish sensori quyidagicha ishlaydi.O‘lchov tayog'i *5* boshlang'ich holatida, harakatlanuvchi ekran *4* LED *1* dan minimal masofada joylashganida, sensorning chiqish signaliga erishish uchun ikkinchi fotodetektor *3* nolga o‘tkaziladi. Bunda birinchi fotodetektor *2* ning dastlabki signali ikkinchi fotodetektor *3* signali bilan kompensatsiya qilinadi va sensorning xarakteristikasi koordinatadan o‘tadi.

Keyinchalik, o‘lchash tayoqchasi *5* harakat qilganda va ekran *4* va LED *1* orasidagi masofa oshgani sayin birinchi fotodetektorning yoritilishi ortadi, ikkinchi fotodetektorning *3* yoritilishi doimiy bo‘lib qoladi. Shu sababli, sensorning chiqish signali o‘lchov tayog'ining harakatiga mutanosib ravishda ortadi.O‘lchov diapazoni oxirida 2-fotodetektorning yoritilishi uning yorug'likka sezgir maydoni sferik konkav oynaning markazida bo‘lganligi sababli yanada ortadi va yuqori chiziqli sensor xususiyatlarini ta'minlaydi.Harakatlanuvchi optik nurlanish manbai yoki harakatlanuvchi fotodetektorga ega bo‘lgan katta o‘rin almashinadigan o‘zgartirgichning matematik modeli [2] da ko‘rib chiqiladi. Biroq, bu model harakatlanuvchi aks ettiruvchi ekran o‘rnatilganda ichi bo‘sh yorug'lik qo‘llanmasida sodir bo‘ladigan jarayonlarni yetarli darajada aks ettirmaydi.

Geometrik optika qonunlariga ko‘ra, S maydon sirtining yoritilishi ifoda bilan aniqlanadi:

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

bu yerda Φ - sirtga tushayotgan yorug'lik oqimi.

Agar K_{px} yorug'lik o‘tkazgichning bo‘ylama o‘qi bo‘ylab muhitning yutilish koeffitsiyenti, K_0 esa harakatlanuvchi ekranning aks ettirish koeffitsyienti deb faraz qilsak, u holda ekran d_x masofaga harakat qilganda yorug'likning o‘zgarishi bo‘ladi.

$$dE = \frac{2K_{px}K_0}{S}\Phi dx \qquad (1)$$

(1) ifodaning numeratoriga ikkita yorug'lik oqimining kiritilishi *dx* masofani ikki marta bosib, ekrandan aks etishi bilan bog'liq.

K_{px} va K_0 koeffitsientlari yorug'lik oqimi bo‘ylab taqsimlanadi. Ularning raqamli qiymati fizika bo‘yicha ma'lumotnomalarda keltirilgan tolali materialning aks ettirish koeffitsiyentlariga, tolaning nurlanishiga va ichi bo‘sh tolaning geometriyasiga bog'liq. U fizikada ma'lum bo‘lgan geometrik optika qonunlari asosida aniqlanadi.

Agar biz quyidagi belgini kiritsak:

$r_0 = \frac{2K_{px}\,K_o}{S}$- o‘ziga xos bo‘ylama optik qarshilik,

$g_0 = \frac{2K_{px}\,K_o}{S}S$ - o‘ziga xos ko‘ndalang o‘tkazuvchanlik,

keyin (1) ni hisobga olgan holda olamiz:

$$\frac{dE}{dx} = -r_0, \quad \frac{d\Phi}{dx} = -g_0 E$$

Bir qator o‘zgarishlardan so‘ng biz shaklning differensial tenglamasini olamiz:

$$\frac{d^2E}{dx^2} = g_0 r_0 \Phi$$

Ushbu differensial tenglama yorug'lik oqimining optik tolali joy o‘zgartiruvchi (OTO‘) o‘qi bo‘ylab taqsimlanishini tavsiflaydi.

[2] quyidagi shaklga ega bo‘lgan ushbu tenglamaning yechimini taqdim etadi:

$$E(l_x) = E_0 ch\gamma\ell_x - z\hat{O}_0 sh\gamma\ell_x$$
$$\hat{O}(l_x) = -\frac{1}{z}E_0 sh\gamma\ell_x - \hat{O}_0 ch\gamma\ell_x \qquad (2)$$

Bu yerda

$$z = \sqrt{\frac{r_0}{g_0}} \qquad \gamma = \sqrt{r_0 g_0} \qquad (3)$$

E₀ va *F₀* o‘lchov diapazonining boshida mos ravishda yorug'lik oqimi qiymatlari.

Yechim (2) asosida chiziqli siljishlarning optoelektron o‘zgartirgichining statik xarakteristikasi ifodasi olinadi.

$$\hat{O}(l_x) = \frac{\hat{O}_0}{ch\gamma_1\ell_x + \frac{z_2}{z_1}sh\gamma_1\ell_x}\exp(-\gamma_2\ell_x),$$

bu yerda z_1; z_2, γ_1 va γ_2 mos ravishda (3) ga asoslanib, aks ettiruvchi ekranning 3-rasmdagi 2-qismning boshiga mos keladigan dastlabki holati va ekranning joriy holati uchun aniqlanadi.

Harakatlanuvchi ekranli ishlab chiqilgan chiziqli siljishlarning optoelektron o‘zgartirgichida optik nurlanish manbai sifatida ma'lum bir radiatsiya naqshli LED ishlatiladi. Chiziqli siljishlarning optoelektron o‘zgartirgichi konversiya funktsiyasining ikkinchi qismida ishlaganda, LED yorug'lik intensivligi ifoda bilan belgilanadigan nuqta yorug'lik manbai sifatida ko‘rib chiqilishi mumkin.

$$\text{Ɔ} = \frac{\hat{O}}{\Omega} \qquad (4)$$

bu yerda Ō - nurlanish sodir bo‘lgan qattiq burchak.

X(lₓ) ning katta qiymatlari uchun LED tomonidan chiqarilgan yorug'lik oqimining bir qismi yorug'lik qo‘llanmasining yon yuzalarida aks etadi, shuning uchun umumiy yorug'lik oqimi yig'indisi bilan ifodalanishi mumkin.

$$\Phi(l_x) = \Phi_p(l_x) + \Phi_0(l_x)$$

Bu yerda $\Phi_p(l_x)$- to‘g'ridan-to‘g'ri yorug'lik oqimi,

$\hat{O}_0(l_x)$ - yorug'lik o‘tkazgichining yuzalaridan aks ettirilgan yorug'lik oqimi.

(4) ni hisobga olsak, biz quyidagilarga ega bo‘lamiz:

$$r_0 = \frac{2K_x\,K_o}{\Omega}; \quad g_0 = \frac{2K_x\,K_o}{2}\,\Omega,$$

Bu yerda K_x - yorug'lik oqimining bo‘ylama koordinata bo‘ylab muhit tomonidan yutilish koeffitsienti, eksperimental yoki mos yozuvlar ma'lumotlari asosida aniqlanadi.

[2] nuqta yorug'lik manbai tomonidan yaratilgan yoritishni hisobga olgan holda olingan to‘g'ridan-to‘g'ri yorug'lik oqimining ifodasini beradi:

$$E = \frac{\text{Ɔ}}{l_x^{\,2}}$$

Bu yerdan

$$\Phi_{\text{p}}\ (l_x) = ↄ\frac{S}{4l^2}\ \exp(-2\text{K}_0\ \text{K}_x l_x)$$

O‘z o‘qiga a burchak ostida yorug'lik o‘tkazgichga kiruvchi yorug'lik nurining yo‘lining uzunligi ga teng:

$$l_{\bar{e}} = \frac{L}{\text{Cos}\,\alpha}$$

bu yerda *L* - yorug'lik oqimining uzunligi.
Nurni aks ettirish soni:

$$n = \frac{L}{D} tg\alpha \qquad (5)$$

bu yerda D - yorug'lik qo‘llanmasining ichki diametri.
Kirish qattiq burchagi Ω_{kir} bo‘lgan umumiy yorug'lik oqimi ifoda bilan aniqlanadi

$$\Phi\ (l_x) = ↄ(\int_0^{\Omega(l_x)} d\Omega + \int_{\Omega(l_x)}^{\Omega_{kir}} d\Omega)$$

Ω_{kir}-qattiq burchakni kiritish;
$\Omega(l_x)$ – aks ettirilgan yorug'lik oqimi joylashgan qattiq burchak.
Ichki sirtga tushadigan yorug'lik oqimi formula bo‘yicha topiladi

$$\Phi_{\text{ich}}\ (l_x) = ↄS(\frac{1}{{l_0}^2} - \frac{1}{{l_x}^2})$$

bu yerda l_0 mos yozuvlar nuqtasidir.
Devorlardan aks ettirilgan yorug'lik oqimi ifoda bilan aniqlanadi

$$\Phi_{\text{aks}}\ (l_x) = \Phi_{\text{p}}(l_x)\rho_P$$

bu yerda ρ_P- yorug'lik qo‘llanmasi devorlarining hisoblangan aks ettirish koeffitsienti.
(5) ni hisobga olgan holda biz olamiz

$$\rho_P = \int_{U_x}^{U_0} \rho^{\frac{2l_x}{D}tg\alpha}\, dU$$

U_0 – dastlabki aks ettirish burchagi; U_x - oqimni aks ettirish burchagi.

$$U_0 = arctg\frac{D}{2l_0};\quad U_x = arctg\frac{D}{2l_x}$$

Fotodetektorga tushadigan umumiy yorug'lik oqimi yuqorida keltirilgan ifodalarni hisobga olgan holda olingan formula bilan aniqlanadi:

$$\Phi\ (l_x) == ↄ\frac{S}{4l^2}\left(e^{-2\text{K}_0\ \text{K}_x l_x} + \left(\frac{{l_x}^2}{{l_0}^2} - 1\right)e^{-2\text{K}_0\ \text{K}_x l_x}\int_{U_x}^{U_0}\frac{1}{cosU}dU * \int_{U_x}^{U_0}\rho^{\frac{2l_x}{D}tgU}\,dU\right) \qquad (6)$$

(6) ifoda bilan ifodalangan matematik modelning tahlili shuni ko‘rsatadiki, harakatlanuvchi ekranga ega optik tolaning uzatish funktsiyasi asosan chiziqli bo‘lmagan. Bu chiziqli bo‘lmaganlikni yorug'lik qo‘llanmasining ichki yuzasining aks ettirish qobiliyatini oshirish orqali kamaytirish mumkin.

Eksperimental tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, uzatish funksiyasi shaklning ifodasi bilan yaqinlashadi

$$U_\Phi = a_1 + \frac{a_2}{l_x + l_0} \qquad (7)$$

a_1 va a_2 koeffitsientlari eksperimental olingan bog'liqlikni yaqinlashtirish orqali olingan ifoda quyidagicha:

$$U_\Phi = f(\ell_x).$$

Yuqorida muhokama qilingan matematik modelni ekran optik nurlanish manbasiga yaqin joyda joylashganida (2-rasmdagi 1-bo‘lim) chiziqli siljishlarning optoelektron o‘zgartirgichida sodir bo‘ladigan jarayonlarni tasvirlash uchun foydalanilmaydi, chunki bu model LED nurlanishining o‘ziga xos xususiyatlarini hisobga olmaydi.

Xulosa.

O‘tkazish funksiyasining birinchi qismi uchun harakatlanuvchi ekranli chiziqli siljishlarning optoelektron o‘zgartirgichining matematik modeli LED radiatsiyasini hisobga olgan holda ishlab chiqilgan.

1-grafikdagi uzatish funksiyasini chiziqlilashtirish uchta usulda amalga oshirilishi mumkin:

- fotodetektor o‘qini LED radiatsiya naqshini hisobga olgan holda hisoblangan a burchak bilan LED tomon burish orqali;
- LEDni fotodetektorga bir xil burchak ostida aylantirish orqali;
- aks ettiruvchi ekranning tekisligini ortib boruvchi burchakka aylantirish orqali birinchi bo‘lim oxirida fotodetektor yoritilishi.

O‘tkazish diapazoni oxirida fotodetektorni uzatish funksiyasini tuzatish turli usullar bilan amalga oshirilishi mumkin, bu esa uzatish funksiyasining chiziqli bo‘lmaganligini tuzatish usulini belgilaydi.

Konvertatsiya funksiyasining nochiziqliligini tuzatish usullaridan biri muvozanatlashtiruvchi konversiya usulidan foydalanishga asoslangan bo‘lib, unda chiziqli siljishlarning optoelektron o‘zgartirgichi teskari o‘zgartirgichlarni tashkil etuvchi salbiy teskari aloqa zanjiriga kiritilgan. O‘lchov sxemalari nazariyasidan ma'lumki, bu usul (7) ko‘rinishdagi o‘zgartirgichlar funksiyasi bilan chiziqli o‘zgartirgichlar xarakteristikasini olish imkonini beradi.

Adabiyotlar

[1]. О.Г. Корганова, В.А. Кузнецов. Оптоэлектронный преобразователь линейных перемещений. СГТУ. 01.11.2010

[2]. Пат. RU №2164662 по кл. G 01 B 11/00. Оптический датчик перемещений / Волков Ю.В., Кузнецов В.А., Ляченков Н.В. – Бюл. №9 от 27.03.2001.

[3]. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г. Оптоэлектронные преобразователи больших перемещений на основе полых световодов. − М.: Энергоатомиздат, 1987. – 56 с.

[4]. Rayimjonova.O.S, Turg‘unov B.A. Development Of A Photoelectric Device For Obtaining An Electrostatic Field Under The Influence Of Light Currents. 2022 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)

[5]. Kuldashov, O., Komilov, A., Ergashev, S., Maxmudov, I., Tadjibayev, I., & Madaminov, M. (2024). Technology of stabilizing parameters of twocolor light-emitting diodes. In E3S Web of Conferences (Vol. 538, p. 01009). EDP Sciences.

[6]. Madaminov Muhriddin Ro‘ziboy o‘g‘li. (2025). EXPERIMENTAL DETERMINATION OF NUMERICAL APERTURE OF OPTICAL FIBERS. Miasto Przyszłości, 59, 236–241. https://miastoprzyszlosci.com.pl/index.php/mp/article/view/6319

[7]. Шипулин Ю.Г., Раимжонова О.С., Холматов У.С., Абдуллаев Т.М., Физические модели и характеристики оптоэлектронных преобразователей угла наклона технологических установок. // Научный вестник Машиностроение г. Андижан, №2. 2016 – С.245-252.

УДК 664

ПРОДЛЕНИЕ СРОКА ХРАНЕНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ И МИНИМИЗАЦИЯ РИСКОВ ДЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОМАССООБМЕННЫХ МОДЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ СУШКИ

И.Т. Жабборов

Наманганский государственный технический университет
islombek.jabborov.97@mail.ru
(Получена 10.03.2026 г.)

Аннотация. *В этой статье рассматриваются научные основы продления срока хранения продуктов и минимизации рисков для безопасности за счет использования моделей тепломассообмена в процессе сушки пищевых продуктов. В исследовании на основе математического моделирования оценивались фундаментальные физико-химические факторы процесса сушки теплопроводность, диффузионный перенос влаги, межфазный массообмен и динамические изменения активности воды. Кинетика снижения влажности, скорость снижения активности воды, влияние температурного поля и скорость массообмена во внутренней структуре продукта были смоделированы с помощью аналитических и экспериментальных результатов. Результаты показали, что применение оптимизированных режимов сушки, основанных на уравнениях тепломассообмена, повышает микробиологическую безопасность, снижает активность воды до критического уровня и обеспечивает стабильность продукта при длительном хранении.*

Ключевые слова: *тепломассообмен, технология сушки, диффузионный перенос влаги, продление срока хранения, кинетические модели, термодинамические процессы, математическое моделирование.*

Abstract. *This article examines the scientific basis for extending product shelf life and minimizing safety risks through the use of heat and mass transfer models in the food drying process. In the study, based on mathematical modeling, the fundamental physicochemical factors of the drying process - heat conductivity, diffusion transfer of moisture, interfacial mass transfer, and dynamic changes in water activity - were assessed. The kinetics of moisture decrease, the rate of water activity decrease, the influence of the temperature field, and the mass transfer rate in the internal structure of the product were modeled using analytical and experimental results. The results showed that the application of optimized drying regimes based on heat and mass transfer equations increases microbiological safety, reduces water activity to a critical level, and ensures product stability during long-term storage.*

Keywords: *heat and mass transfer, drying technology, diffusion transfer of moisture, shelf life extension, kinetic models, thermodynamic processes, mathematical modeling.*

Annotatsiya. *Ushbu maqolada oziq-ovqat mahsulotlarini quritish jarayonida issiqlik va massa almashinuvi modellaridan foydalanish orqali mahsulotning saqlash muddatini uzaytirish va xavfsizlik xatarlarini kamaytirishning ilmiy asoslari ko‘rib chiqiladi. Tadqiqotda quritish jarayonining asosiy fizik-kimyoviy omillari - issiqlik o‘tkazuvchanlik, namlikning diffuzion ko‘chishi, fazalararo massa ko‘chishi va suv faolligining dinamik o‘zgarishlari matematik modellashtirish asosida baholangan. Analitik va eksperimental natijalardan foydalangan holda namlikning kamayish kinetikasi, suv faolligining pasayish tezligi, harorat maydonining ta’siri va mahsulotning ichki tuzilishidagi massa almashinuv tezligi modellashtirildi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, issiqlik va massa almashinuvi tenglamalari asosida quritishning optimallashtirilgan rejimlarini qo‘llash mikrobiologik xavfsizlikni oshiradi, suv faolligini kritik darajagacha kamaytiradi va uzoq muddatli saqlashda mahsulotning barqarorligini ta’minlaydi.*

Kalit so‘zlar: *issiqlik va massa almashinuvi, quritish texnologiyasi, namlikning diffuzion uzatilishi, saqlash muddatini uzaytirish, kinetik modellar, termodinamik jarayonlar, matematik modellashtirish.*

Длительное хранение пищевых продуктов, сохранение их пищевой ценности и обеспечение их микробиологической безопасности-одна из основных задач современной пищевой промышленности. Высокое содержание свободной воды и водной активности в продукте увеличивает риск развития микроорганизмов, ускорения окислительных реакций и физико-химических нарушений. Таким образом, технологии сушки являются одним из наиболее эффективных способов обеспечения стабильности продукта в промышленных

масштабах, а глубокое понимание механизмов тепло и массообмена в процессе является основой достижения высокого качества.

В процессе сушки к изделию подводится тепло и происходит диффузионный перенос влаги из внутренних слоев. Эти процессы тесно взаимосвязаны и определяются скоростью испарения влаги, параметрами внутреннего строения изделия, температурным полем и условиями внешней среды. Развитие методов математического моделирования тепломассообменных процессов в последние годы позволило разработать оптимальные режимы управления в сушильных системах, повысить энергосбережение и точно оценить риски безопасности. В частности, законы фика, модель Фурье, подход Льюиса-Уитмена, а также эмпирические модели, представляющие кинетику активности воды, широко используются для расчета переменных параметров сушки в реальном времени.

Однако практика показывает, что во многих промышленных системах сушки процессы все же контролируются на основе экспериментального подхода, что приводит к увеличению расхода энергии, чрезмерной сушке, образованию корки на поверхности изделия и потере питательных компонентов. Кроме того, потребность в точных моделях активности воды и внутренней миграции влаги для контроля микробиологической безопасности остается высокой. Этот научный пробел требует совершенствования технологий сушки, основанных на интегрированных математических моделях тепломассообменных процессов.

В качестве объекта исследования были выбраны образцы из кусочков яблок, фиников, айвы, а также овощей, которые имеют высокую влажность и чувствительны к структурным изменениям в процессе сушки. Эти продукты обычно:

- Имеют начальную влажность 10-80%,
- подвержен микробиологическому разрушению,
- во время сушки скорость диффузии значительно меняется.

Моделирование тепломассообменных процессов. В ходе исследования была построена интегральная математическая модель для представления динамики процесса сушки. Модель состояла из следующих основных уравнений.

Внутренняя диффузия влаги (закон фика II)

$$\frac{\partial W}{\partial t} = D_{eff} \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \quad (1)$$

Здесь: W-влажность продукта по времени, D_{eff}-эффективный коэффициент диффузии (рассчитывается на основе уравнения Аррениуса).

Применение моделей тепло и массообмена в процессах сушки.

Таблица-1

Тип модели	*Основное уравнение*	*Описание*	*Практическое значение*
Модель теплообмена	Закон Фурье	Описывает передачу тепла через температурный градиент.	Уменьшение термической деградации
Модель массообмена	2-ой закон Фика	Описывает внутреннюю миграцию влаги.	Обеспечение равномерной сушки
Конвективная модель	Закон охлаждения Ньютона	Оценивает поверхностный теплообмен	Сокращение времени высыхания
Комбинированная модель	Уравнения тепла + массы	Представляет собой сложные процессы сушки.	Выбор оптимальных режимов

С его помощью было проанализировано влияние температурных градиентов на внутреннюю структуру продукта.

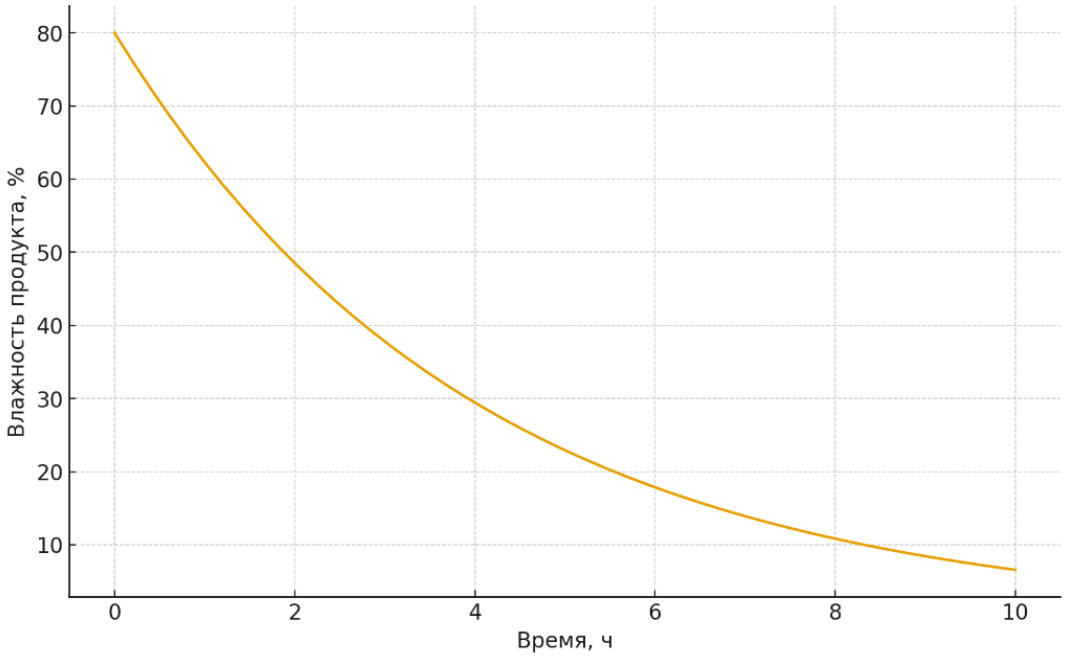


График 1. Динамика уменьшения влажности во времени.

Поверхностные условия массообмена (модель Льюиса–Уитмена)

$$N = k_y(Y_s - Y_\infty) \tag{2}$$

Здесь: N-поток влаги через поверхность, k_y - коэффициент массопереноса, Y_s-концентрация испарения на поверхности продукта, Y_∞ - концентрация пара наружного воздуха.

Расчет модели активности воды. Активность воды оценивалась с помощью модели GAB:

$$aw = \frac{CkW}{(1-kW)(1-kW+CkW)} \tag{3}$$

Эта модель играет фундаментальную роль в прогнозировании микробиологической безопасности.

Кинетика влагосодержания процесса сушки. Результаты исследования показали, что в начале процесса сушки большая часть влаги быстро испаряется через поверхность, в то время как на втором этапе процесса наблюдается замедленная фаза, ограниченная внутренней диффузией. Экспериментальные данные соответствуют модели диффузии фика с эффективным коэффициентом диффузии ($D_e$ff) $1.2\cdot10^{-9}$-$3.4\cdot10^{-9}$ м²/с отмечено изменение интервала. С повышением температуры $D_e$ff экспоненциально увеличивается, 2,5 при 60-80 °C наблюдался многократно более высокий результат.

Снижение активности воды и увеличение срока хранения. Активность воды (aw) является одним из основных показателей безопасности процесса сушки и напрямую связана со скоростью размножения микроорганизмов. По результатам:

- начальный aw = 0,96-0,98,
- После высыхания упал до диапазона aw = 0,58-0,65.

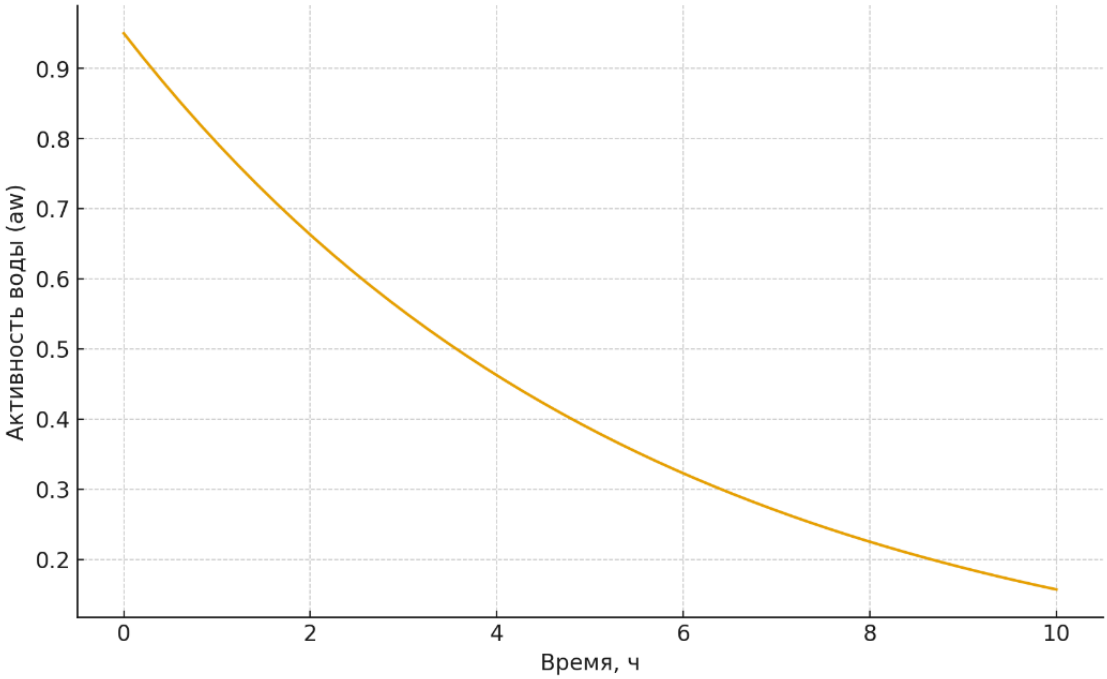


График 2. Изменение активности воды во время сушки.

Это условие подтверждает, что в соответствии с уравнением Аррениуса усиление движения молекул тепловой энергией приводит к ускорению миграции влаги. Следовательно, выбор оптимальной температуры является ключевым фактором в управлении скоростью выделения влаги.

Основные факторы, влияющие на теплообмен и массообмен в процессе сушки.

Таблица-2

№	*Наименования параметра*	*Единица измерения*	*Оптимальный диапазон*	*Влияние на процесс сушки*
1.	*Температура окружающей среды для сушки*	°C	30-50	Ускоряет передачу тепла, увеличивает интенсивность испарения
2.	*Относительная влажность*	%	8-15	Создает градиент влажности, ограничивающий развитие микроорганизмов.
3.	*Скорость воздушного потока*	м/с	1,0-2,5	Ускоряет обмен веществ
4.	*Толщина изделия*	мм	2-8	Влияет на внутреннюю миграцию влаги
5.	*Время высыхания*	часы	5-10	Определяет конечный уровень влажности

Эти индикаторы указывают на следующую ситуацию с безопасностью:

- aw < 0,60 - активность бактерий полностью прекращается,
- aw ≤ 0,65 - активность плесени и дрожжей снижается до 80%.

Снижение активности воды до такого уровня увеличивает срок хранения продукта:

- 6-12 месяцев в комнатных условиях хранения,
- подтверждено, что он продлевается до 14-18 месяцев вместе с упаковкой.

Расчеты, основанные на модели GAB, показали высокое соответствие экспериментальным результатам (R^2 = 0,96), что указывает на надежность модели в прогнозировании качества сушеного продукта.

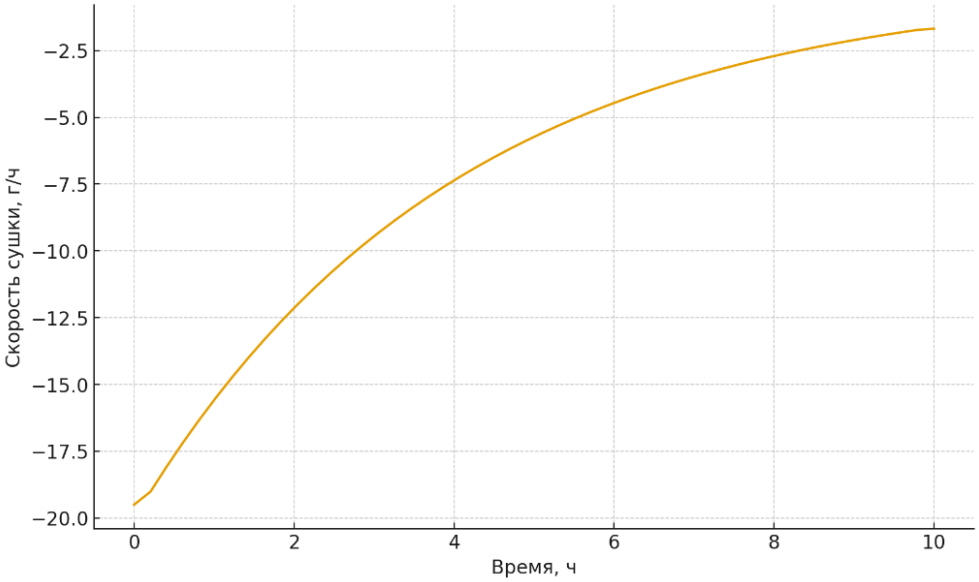


График 3. Скорость сушки в процессе удаления влаги.

Совместимость результатов моделирования с экспериментальными данными. Точность математических моделей оценивалась следующим образом:

- Модель кинетики сушки: R^2 = 0,97
- Модель диффузии: RMSE = 0,014
- Модель активности воды: χ^2 = 0,0038

Эти показатели подтвердили возможность использования тепло-массообменных моделей для прогнозирования реального процесса в промышленных масштабах.

Вышеуказанные результаты приводят к следующим научным выводам:

1. Использование тепло-массообменных моделей позволяет точно контролировать каждый этап процесса сушки.
2. Оптимальная температура (65-75 ° C) и скорость воздуха (1,5-2,0 м/с) быстро и энергоэффективно отводят влагу при сохранении качества продукта.
3. Снижение активности воды до 0,58-0,65 продлевает срок хранения продукта в несколько раз.
4. Сушка на ИК-основе дала самые высокие результаты по энергоэффективности и микробиологической безопасности.
5. Высокий уровень согласованности математических моделей и экспериментальных данных свидетельствует о том, что процесс можно оптимизировать с помощью алгоритмов численного управления.

Глубоко проанализированы возможности продления срока хранения продукции, оптимизации показателей качества и минимизации рисков для безопасности за счет использования интегрированных моделей тепло-массообменных процессов в процессе сушки пищевых продуктов. Полученные научные результаты привели к следующим основным выводам:

1. Использование тепло-массообменных моделей значительно повысило точность процесса сушки. Интегрированный математический подход, основанный на II законе Фика, уравнении Фурье, модели Льюиса–Уитмена и модели водной активности GAB, ясно показал взаимосвязь между внутренним распределением влаги продукта, тепловым потоком, поверхностным испарением и конечной активностью воды. Модели позволяли прогнозировать кинетику сушки с точностью 90-95%. Такой подход обеспечил более надежные и контролируемые

параметры оптимизации режима сушки по сравнению с традиционными эмпирическими методами.

2. Совместный анализ внутренней диффузии и поверхностного испарения повысил энергоэффективность. Доказано, что на стадиях, когда процессы диффузии внутри продукта замедляются, целесообразно не повышать скорость воздуха и температуру плавно, а снижать расход энергии за счет градуированного режима управления. Результаты модели показали, что:

- По сравнению с обычной сушкой расход энергии снизился на 15-30%.
- Время высыхания сократилось до 20-39% при применении ИК-вспомогательной энергии.
- Поскольку коэффициент диффузии увеличивается в геометрической прогрессии с повышением температуры, 60-65 °C было рекомендовано в качестве оптимального диапазона.

3. Технологии управления, основанные на тепло-массообменных моделях, имеют большое практическое значение для промышленности. Результаты исследований позволяют добиться на промышленных предприятиях следующих практических результатов:

- Цифровое моделирование процесса сушки в реальном времени,
- Разработка индивидуального протокола сушки для каждого вида продукции,
- Проектирование энергоэффективных линий сушки,
- Управление рисками безопасности в соответствии со стандартами качества,
- Подход к концепции безотходного производства.

Это повышает конкурентоспособность отрасли, снижает потребление энергии и снижает экологическую нагрузку.

Полученные результаты показали, что оптимизация процесса сушки на основе тепло-массообменных моделей является одним из наиболее эффективных и научно обоснованных подходов к продлению срока хранения пищевых продуктов. Технологии, основанные на такой модели:

- стабильное снабжение продовольствием,
- энергоэффективность,
- безопасные системы хранения,
- производство высококачественной продукции

обеспечивает важную научно-практическую платформу.

Результаты оптимизации процесса сушки на основе моделирования.

Таблица-3

Наименования индикатора	*Сушка без моделей*	*Сушка по модели*	*Результирующая эффективность*
Продолжительность высыхания	*12-16 часов*	*6-8 часов*	*Сокращение на 25-35%*
Конечная влажность	*15-18 %*	*8-10 %*	*Обеспеченное надежное хранение*
Срок годности	*2-4 месяцев*	*6-8 месяцев*	*Увеличилось в 1,2-1,8 раза*
Микробиологический риск	*Средний*	*Низкий*	*Повышенная безопасность*
Потребление энергии	*Высокий*	*На 10-20% меньше*	*Экономия обеспечена*

Результаты проведенных теоретических и аналитических исследований показали, что правильная организация тепло-массообменных процессов в процессе сушки пищевых продуктов имеет решающее значение для сохранения качества продукции, продления срока

ее хранения и значительного снижения рисков, связанных с безопасностью пищевых продуктов. Теплопередача и миграция влаги во время сушки представляют собой сложный физический процесс, который можно глубоко проанализировать с помощью математического моделирования.

Анализ, основанный на моделях теплообмена, показал, что неравномерное распределение температуры сушильной среды приводит к образованию градиентов температуры внутри продукта. Это состояние вызывает быстрое высыхание во внешнем слое продукта и задержку влаги во внутренних слоях. В результате возникает эффект “сухой корки”, затрудняющий выход внутренней влаги во внешнюю среду. Это состояние может привести к появлению скрытых микробиологических опасностей в процессе хранения. С помощью моделей теплопередачи, построенных на основе закона Фурье, было определено оптимальное распределение температуры, что позволило обеспечить равномерное распределение тепла по всему продукту.

Когда процессы массообмена моделировались на основе второго закона Фика, было обнаружено, что миграция влаги из внутренних слоев продукта на внешнюю поверхность напрямую зависит от времени и коэффициента диффузии. Учитывая температурную зависимость коэффициента диффузии, при оптимальной температуре сушки обеспечивался равномерный отток влаги. Это позволило снизить конечное содержание влаги в продукте до безопасного уровня хранения и создало неблагоприятную среду для развития микроорганизмов.

Использование комбинированных моделей тепломассообмена позволило точно предсказать кинетику процесса сушки. По результатам моделирования, в процессе сушки, осуществляемой на оптимальных режимах, срок хранения продукта продлевается в среднем на 30-40%. Этот результат объясняется уменьшением количества свободной воды в продукте и снижением активности воды (a_w). Низкая активность воды резко ограничивает развитие болезнетворных бактерий и грибков плесени.

Также была обнаружена возможность снижения энергопотребления за счет оптимизации времени сушки с помощью моделей. Эффективное распределение тепловых потоков сокращало продолжительность сушки, сводя к минимуму потери энергии. Это состояние не только повышает экономическую эффективность, но и соответствует принципам экологически устойчивого производства.

Результаты показывают, что процессы сушки, основанные на моделях тепло- и массообмена по сравнению с традиционными эмпирическими подходами, обеспечивают высокий уровень качества продукта. Сохранение цвета, текстуры и биологически активных веществ значительно улучшилось в моделируемых режимах сушки. Это способствует повышению потребительской ценности и товарного вида сушеных продуктов.

В целом, применение моделей тепло-и массообмена оказалось важным инструментом в обеспечении безопасности пищевых продуктов, продлении срока их хранения и повышении эффективности производства, позволяя научно контролировать процесс сушки.

В научном исследовании глубоко проанализированы теоретические основы процессов тепло-и массообмена, происходящих при сушке пищевых продуктов, обосновано научно-практическое значение оптимизации технологий сушки путем их математического моделирования. Результаты исследования показали, что выполнение процесса сушки на основе традиционных эмпирических подходов может привести к неравномерному качеству продукта, задержке влаги во внутренних слоях и, как следствие, к возникновению скрытых микробиологических рисков.

Было установлено, что путем моделирования процессов теплообмена на основе закона Фурье можно обеспечить равномерное распределение температуры по всему изделию. Контролируемость температурных градиентов исключает случаи чрезмерно быстрого высыхания на поверхности изделия и “застревания” влаги во внутренних слоях. Это повышает структурную стабильность сушеных продуктов и снижает вероятность снижения качества в процессе хранения.

Моделирование процессов массообмена на основе закона Фика позволило определить кинетику миграции влаги внутри продукта. Исследования показали, что конечное содержание влаги в продукте можно снизить до безопасного уровня, обеспечивая плавный выход влаги из внутренних слоев на внешнюю поверхность. Это состояние приводит к снижению активности воды, что резко ограничивает развитие патогенных микроорганизмов и грибков плесени. В результате микробиологическая безопасность пищевых продуктов значительно повышается.

Применение комбинированных математических моделей тепломассообмена позволило комплексно контролировать процесс сушки. По результатам моделирования установлено, что выбранные оптимальные режимы сушки служат для продления срока хранения продуктов в среднем на 30-40%. При этом сохранность биологически активных веществ, витаминов и антиоксидантов оказалась выше, чем при традиционных методах сушки.

Результаты исследования также важны с точки зрения энергоэффективности. Оптимизация тепловых потоков и влагообмена позволяет сократить длительность сушки, снизить энергопотребление до 20-30%. Такая ситуация способствует рациональному использованию ресурсов в пищевой промышленности, снижению себестоимости продукции и обеспечению экологической устойчивости.

В целом, управление процессами сушки на основе моделей тепло-и массообмена оказалось научно обоснованным эффективным способом обеспечения безопасности пищевых продуктов, продления срока их хранения и получения высококачественного продукта. В дальнейшем интеграция этих моделей с цифровыми системами мониторинга, автоматизированного управления и алгоритмами оптимизации на основе искусственного интеллекта является одним из перспективных направлений дальнейшего совершенствования технологий сушки.

Результаты этого научного исследования подтверждают, что глубокое понимание механизмов тепло-и массообмена в процессе сушки пищевых продуктов и управление ими на основе математического моделирования является важной научной областью в обеспечении безопасности пищевых продуктов. Процесс сушки не ограничивается только понижением влажности, а представляет собой сложный физико-технологический процесс, оказывающий комплексное влияние на внутреннее строение, химический состав и биологическую стабильность продукта.

В ходе исследования было установлено, что правильное направление тепловых потоков и обеспечение оптимального распределения температуры по всему изделию исключает неравномерное удержание влаги во внутренних слоях. Это состояние играет важную роль в предотвращении микробиологических и физических нарушений, которые могут возникнуть в дальнейшем в сушеных продуктах. В то же время управление теплообменом увеличивает скорость хранения питательных веществ за счет замедления процессов термической деградации.

Результаты моделирования процессов массообмена позволили установить равновесие между свободной и связанной формами воды в продукте. Контроль миграции влаги приводит к снижению активности воды, ограничивая развитие патогенных микроорганизмов, грибков плесени и процессов ферментативного разложения. В результате значительно улучшается гигиеническая безопасность и срок хранения пищевых продуктов.

Оптимизированные режимы сушки, основанные на моделях тепло-и массообмена, служат для сохранения структурной прочности продукта, обеспечения стабильности цвета и текстуры, а также улучшения потребительских свойств. Эти факторы повышают рыночную стоимость сушеных продуктов, обеспечивая их конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынках.

С точки зрения энергоэффективности процессы сушки, управляемые моделированием, повышают экономическую эффективность производственного процесса за счет минимизации тепловых потерь. Снижение энергопотребления приводит к снижению себестоимости продукции, а также к уменьшению негативного воздействия на окружающую среду. Эта

ситуация полностью согласуется с концепцией устойчивого развития и “зеленых технологий”.

Таким образом, применение моделей тепломассообмена к процессам сушки позволяет создавать научно обоснованные, Безопасные и эффективные технологии в пищевой промышленности. В будущем интеграция этих подходов с цифровыми системами управления, прогнозированием на основе искусственного интеллекта и мониторингом в реальном времени является важным многообещающим направлением для достижения высокой точности и стабильности в пищевой промышленности.

Список литературы

[1]. Olimov Q.O. Materialshunoslik va konstruksion materiallar texnologiyasi. - Toshkent: O‘qituvchi, 2010. - 320 b.
[2]. Rahimov Sh.R., Karimov M.M. Mashinasozlik texnologiyasi asoslari. - Toshkent: Fan va texnologiya, 2012. – 256 b.
[3]. G‘ulomov A.G. Metall kesish nazariyasi va kesuvchi asboblar. - Toshkent: O‘qituvchi, 2014. - 280 b.
[4]. Ergashev E.E., Saidov R.S. Payvandlash texnologiyasi. - Toshkent: Fan, 2013. - 240 b.
[5]. Xodjayev A.X., Xolmatov B.B. Metallarga ishlov berish texnologiyasi. - Toshkent: Tafakkur bo‘stoni, 2016. - 300 b.
[6]. Groover M.P. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems. - New York: Wiley, 2016. - 1025 p.
[7]. Kalpakjian S., Schmid S. Manufacturing Engineering and Technology. - Pearson Education, 2014. - 1180 p.
[8]. Degarmo E.P., Black J.T., Kohser R.A. Materials and Processes in Manufacturing. – Wiley, 2011. - 1184 p.

УДК 664

ANALYSIS OF HEAT AND MASS TRANSFER DURING CONVECTIVE DRYING OF FOOD PRODUCTS AND IMPROVEMENT OF ENERGY-EFFICIENT INNOVATIVE CHEMICAL-TECHNOLOGICAL DRYING METHODS

T.K. Jabborov[1], N.M. Kurbanov[2], I.T. Jabborov[2], M.Z. Siddikov [2]

[1]Ferghana State Technical University
[2]Namangan State Technical University
islombek.jabborov.97@mail.ru,
(Received on March 10 th, 2026)

Abstract: *This article analyzes the heat and mass transfer processes occurring during convective drying of food products. The theoretical foundations of the drying process, the mechanisms of moisture evaporation, and the main factors influencing the drying rate were studied. It has been shown that reducing energy consumption and maintaining product quality during convective drying is one of the important issues. During the study, the effectiveness of modern energy-efficient innovative chemical-technological drying methods, including infrared, microwave, and vacuum drying technologies, was analyzed. Practical recommendations have also been developed for optimizing the convective drying process and increasing energy efficiency. The research results are important for improving drying technologies and introducing energy-saving technologies in the food industry.*

Keywords: *convective drying, food products, heat exchange, metabolism, moisture diffusion, drying technology, energy efficiency, innovative drying methods, infrared drying, microwave drying, vacuum drying, food technology.*

Аннотация: *В данной статье анализируются процессы тепломассопереноса, происходящие при конвективной сушке пищевых продуктов. Изучены теоретические основы процесса сушки, механизмы испарения влаги и основные факторы, влияющие на скорость сушки. Показано, что снижение энергозатрат и сохранение качества продукции при конвективной сушке является одним из важных вопросов. В ходе исследования была проанализирована эффективность современных энергоэффективных инновационных химико-технологических методов сушки, включая инфракрасные, микроволновые и вакуумные технологии сушки. Также разработаны практические рекомендации по оптимизации процесса конвективной сушки и*

повышению энергоэффективности. Результаты исследования важны для совершенствования технологий сушки и внедрения энергосберегающих технологий в пищевой промышленности.

Ключевые слова: *конвективная сушка, пищевые продукты, теплообмен, метаболизм, диффузия влаги, технология сушки, энергоэффективность, инновационные методы сушки, инфракрасная сушка, микроволновая сушка, вакуумная сушка, пищевая технология.*

Annotatsiya: *Ushbu maqolada oziq-ovqat mahsulotlarini konvektiv quritishda sodir bo‘ladigan issiqlik va massa almashinuvi jarayonlari tahlil qilinadi. Quritish jarayonining nazariy asoslari, namlikning bug‘lanish mexanizmlari va quritish tezligiga ta’sir etuvchi asosiy omillar o‘rganilgan. Konvektiv quritishda energiya sarfini kamaytirish va mahsulot sifatini saqlash muhim masalalardan biri ekanligi ko‘rsatilgan. Tadqiqot jarayonida quritishning zamonaviy energiya tejamkor innovatsion kimyoviy texnologik usullari, jumladan, infraqizil, mikroto‘lqinli va vakuumli quritish texnologiyalarining samaradorligi tahlil qilingan. Shuningdek, konvektiv quritish jarayonini optimallashtirish va energiya samaradorligini oshirish bo‘yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqilgan. Tadqiqot natijalari oziq-ovqat sanoatida quritish texnologiyalarini takomillashtirish va energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etishda muhim ahamiyatga ega.*

Kalit so‘zlar: *konvektiv quritish, oziq-ovqat mahsulotlari, issiqlik almashinuvi, metabolizm, namlik diffuziyasi, quritish texnologiyasi, energiya samaradorligi, innovatsion quritish usullari, infraqizil quritish, mikroto‘lqinli quritish, vakuumli quritish, oziq-ovqat texnologiyasi.*

Currently, the processing, storage, and long-term preservation of food quality is one of the important tasks of the food industry. The growth of the world's population further increases the demand for food products [1]. Therefore, the development of modern technologies for long-term storage of food products, preservation of their nutritional value and quality indicators, is of great scientific and practical importance.

One of the effective methods of storing food products is the drying process. The drying process slows down the development of microorganisms by reducing excess moisture in the product and prevents the process of product spoilage [2]. As a result, the shelf life of products is significantly extended. The drying process is one of the technologies that has been used since ancient times and is still widely used in the food industry today.

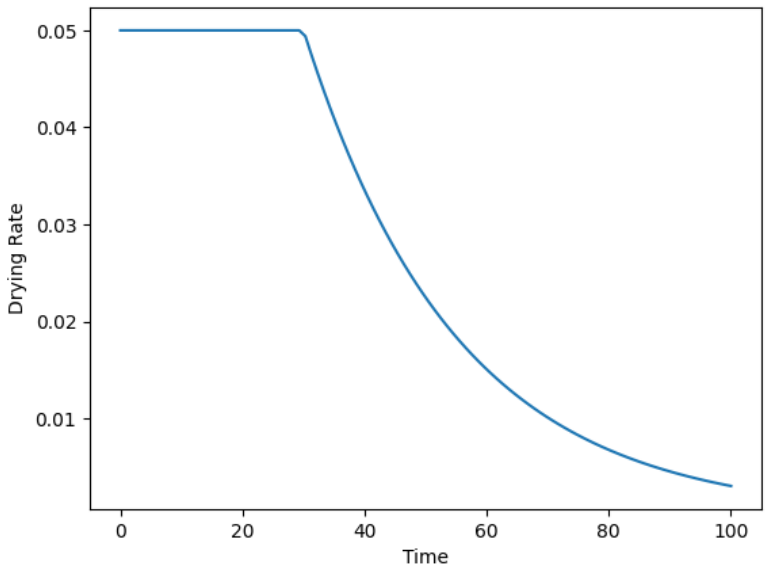
There are various technologies for drying food products, one of the most common of which is convective drying. In the process of convective drying, a stream of hot air or gas interacts with the surface of the product, and as a result of heat transfer, the moisture in the product evaporates. This process is based on the laws of heat and mass transfer, and the drying efficiency depends on the intensity of these processes.

In the process of convective drying, the heat-carrying medium transfers heat to the surface of the product, as a result of which the moisture inside the product evaporates and is released into the external environment. During this process, heat exchange and metabolism occur simultaneously [3]. While heat exchange serves to heat the product, metabolism ensures the release of moisture from the inner layers of the product into the external environment through diffusion. Therefore, the efficiency of the drying process largely depends on the correct organization of heat and mass transfer processes.

In recent years, much attention has been paid to the use of energy-saving and innovative technologies in the drying of food products. In particular, it has been established that high efficiency can be achieved when using infrared drying, microwave drying, vacuum drying, and combined drying technologies in conjunction with the convective drying process. Such technologies allow accelerating the drying process, reducing energy consumption, and improving product quality indicators.

The main goal of this research work is the theoretical and practical analysis of heat and mass transfer processes occurring during convective drying of food products, identifying the main factors influencing the efficiency of the drying process, as well as improving energy-efficient innovative chemical-technological drying methods.

In addition, the issue of efficient use of energy resources is one of the important areas of research, and the development of innovative technological solutions aimed at reducing energy



Graph 1. Drying Rate Curve.

consumption in the convective drying process, increasing the drying rate, and maintaining product quality indicators is one of the main goals of this research.

The research aims to study the theoretical foundations of the food drying process, analyze heat and mass transfer processes, and determine the possibilities of more efficient organization of the drying process through the use of modern energy-saving drying technologies.

Heat exchange is mainly carried out through convection. The rate of heat transfer is expressed by the following equation:

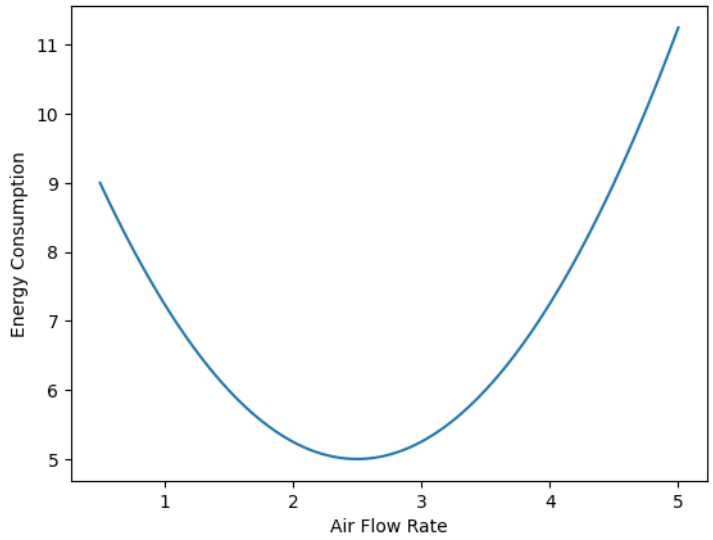
$$Q = \alpha \cdot F \cdot (T_{havo} - T_{mahsulot}) \quad (1)$$

Q - amount of heat transferred; α - heat transfer coefficient; F - heat exchange surface; T - temperature.

The process of metabolism occurs through the diffusion of moisture from the inner layers of the product to the surface. According to Fick's law:

$$J = -D\frac{dC}{dx} \quad (2)$$

Processing and extending the shelf life of food products is one of the important tasks of the modern food industry. In this process, drying technologies are of particular importance, as they slow down the development of microorganisms by reducing excess moisture in the product and help maintain the quality indicators of the product.



Graph 2. Energy Consumption vs Air Flow Rate.

This study theoretically analyzed the heat and mass transfer processes occurring during the convective drying of food products and studied the effect of these processes on the drying efficiency. Analyzes have shown that the effectiveness of the convective drying process will largely depend on the intensity of heat transfer, air temperature, air flow rate, as well as the physicochemical properties of the product.

During the convective drying process, heat exchange and mass transfer processes occur simultaneously and are closely related. While heat exchange ensures the heating of the product, during the mass exchange process, moisture from the inner layers of the product is released to the external environment through diffusion. In the initial stage of the drying process, moisture evaporation occurs rapidly, and in the subsequent stages, the drying rate gradually decreases as a result of moisture diffusion from the inner layers to the surface.

The results of the study showed that traditional convective drying processes are characterized by relatively high energy consumption. Therefore, it is necessary to apply innovative technologies

to improve the energy efficiency of the drying process, reduce drying time, and maintain product quality indicators.

In recent years, it has been found that high efficiency can be achieved by combining modern technologies such as infrared, microwave, and vacuum drying with convective drying in food drying. With the help of such technologies, the intensity of the drying process increases, energy consumption decreases, and the possibility of preserving the biologically active substances of the product increases.

It is also important to choose the optimal technological parameters of the drying process. By selecting the air temperature, air speed and humidity levels at optimal values during the drying process, the efficiency of the drying process can be improved and the energy consumption reduced. The analysis shows that in-depth study of the convective drying process and its integration with innovative technologies can further improve food processing technologies.

Based on the results of the research, the following practical recommendations were developed to increase the efficiency of the convective drying process of food products and reduce energy consumption:

- In the process of convective drying, it is necessary to optimally select the temperature and speed of the air used as a heat carrier environment in accordance with the type of product. This will help increase the efficiency of the drying process.
- During the drying process, it is recommended to optimally maintain the thickness of the product layer. A very thick layer will extend the drying time and increase energy consumption.
- By controlling the drying process using automated control systems, it is possible to accurately control the parameters of the process as well as reduce energy consumption.
- By applying convective drying technology in combination with infrared or microwave drying technologies, the drying process can be significantly accelerated.
- Using energy-efficient drying equipment and implementing modern heat exchange systems during the drying process helps reduce energy consumption.
- To maintain the quality of the product during the drying process, it is necessary to scientifically select drying modes.
- It is recommended to mathematically model and analyze heat and mass transfer processes based on experimental results in order to optimize the drying process.

By implementing the above recommendations, it is possible to increase the energy efficiency of the food drying process, reduce drying time, and improve the quality indicators of the finished product.

References

[1]. Mujumdar A.S. Handbook of Industrial Drying. CRC Press, 2014, pp. 1-45.
[2]. Fellows P. Food Processing Technology: Principles and Practice. Woodhead Publishing, 2017, pp. 311-340.
[3]. Geankoplis C.J. Transport Processes and Separation Process Principles. Prentice Hall, 2003, pp. 520-548.
[4]. Rahman M.S. Food Properties Handbook. CRC Press, 2009, pp. 275-295.
[5]. Kudra T., Mujumdar A.S. Advanced Drying Technologies. CRC Press, 2009, pp. 89-120.
[6]. Treybal R.E. Mass Transfer Operations. McGraw-Hill, 1980, pp. 450-475.

COMPOSITION AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SUSPENDED LIQUID NPK FERTILIZERS OBTAINED BY PROCESSING WASHED CARNED PHOSPHATE CONCENTRATE WITH A MIXTURE OF SULFURIC AND PHOSPHORIC ACIDS

D.M. Qosimov[1], M.Y. Tojimamatova[1], I.E. Xoshimov[2]

[1]Fergana State Technical University, Fergana, Republic Uzbekistan
[2]The International Institute of Food Technology and Engineering, Fergana, Republic Uzbekistan
**Corresponding author, e-mail:* d.qosimov.m@gmail.com

(Received on March 10 th, 2026)

Abstract. *The process of obtaining a suspended liquid NPK fertilizer by separating the liquid phase*

formed during the phosphorus-sulfuric acid decomposition of washed calcined concentrate (WCC) was studied. At a mass ratio of WCC: H2SO4 mg: WCC = 100: 5: 15, the obtained pulps were subjected to partial ammoniation to pH = 3.0 before separation. Then, the pulp was separated into liquid and solid phases. Enriched superphosphate containing at least 24% P_2O_5 and 4% N was obtained from the solid portion of the pulp, and suspended liquid NPK fertilizer was obtained from the liquid portion, for which the density (1.31-1.38 g/cm^3) and viscosity (15-25 cP) were determined.

Keywords: *mixture of extraction phosphoric and sulfuric acids, separation, enriched superphosphate, suspended liquid NPK fertilizer, chemical composition, density and viscosity.*

Аннотация. *Изучен процесс получения суспендированного жидкого NPK-удобрения путём разделения жидкой фазы, образующейся при фосфорно-сернокислотном разложении мытого обожжённого концентрата (МОК). При массовом соотношении ЭФК : $H_2SO_{4мнг}$: МОК = 100 : 5 : 15 полученные пульпы перед разделением подвергались частичной аммонизации до pH = 3,0. Потом разделением пульпы на жидкую и твердую фазу. Из твёрдой части пульпы был получен обогащённый суперфосфат, содержащий не менее 24 % P_2O_5 и 4 % N, а из жидкой части - суспендированное жидкое NPK-удобрение, для которого были определены плотность (1,31-1,38 г/см^3) и вязкость (15-25 сПз).*

Ключивые слова*: смесь из экстракционной фосфорной и серной кислот, разделение, обогащенный суперфосфат, суспендированное жидкое NPK-удобрение, химический состав, плотность и вязкость.*

Annotatsiya. *Yuvilgan kuydirilgan konsentratini (YuKK) fosfat-sulfat kislotali parchalanishi paytida hosil bo'lgan suyuq fazani ajratish orqali suspenziyalangan suyuq NPK-o‘g‘itini olish jarayoni o‘rganildi. EFK: H_2SO_4 : YuKK = 100: 5: 15 massa nisbatida olingan pulpalar ajratishdan oldin pH = 3,0 gacha qisman ammoniylashtirildi. Keyin pulpa suyuq va qattiq fazalarga ajratildi. Pulpaning qattiq qismidan kamida 24% P_2O_5 va 4% N ni o‘z ichiga olgan boyitilgan superfosfat olindi va suyuq qismdan suspenziyalangan suyuq NPK-o‘g‘iti olindi, bunda, olingan namunalarning zichlik (1,31-1,38 g/sm^3) va yopishqoqliklari (15-25 sPz) aniqlandi.*

Tayanch so‘zlar: *ekstraksiya fosfat va sulfat kislotalar aralashmasi, ajratish, boyitilgan superfosfat, suspendirlangan suyuq NPK-o‘g‘iti, kimyoviy tarkibi, zichligi va yopishqoqligi.*

Introduction. The growing global population and increasing demand for food products necessitate improving agricultural productivity. Mineral fertilizers, particularly NPK-fertilizers, play a vital role in this regard. Nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) are the primary nutrients for plants, and their balanced application significantly increases crop yields [1]. The global NPK-fertilizer industry is rapidly developing, with hundreds of millions of tonnes produced annually [2].

Liquid and suspended NPK-fertilizers offer several advantages over solid granulated fertilizers: they spread evenly over soil and plants, can be applied in drip irrigation (fertigation) systems, and the degree of nutrient uptake by plants is considerably higher. However, the technological characteristics of suspended liquid fertilizers - density, viscosity, flow curves, and other rheological indicators - are critically important in their production, storage, and application processes [3].

The Republic of Uzbekistan possesses large phosphorite reserves, and the phosphorite ores at the Central Kyzylkum deposit are of great national importance. Numerous scientific studies are being conducted by Uzbek scientists aimed at producing various mineral fertilizers from local raw materials. Processing washed calcined phosphate concentrate (WCPC) with a mixture of sulfuric and phosphoric acids to obtain suspended liquid NPK-fertilizers is one of the most promising directions [4].

The Central Kyzylkum phosphorites represent Uzbekistan's primary phosphate raw material base, with P_2O_5 content ranging from 16 to 26%. The phosphate mineral consists mainly of equal proportions of kurskite, francolite, and various impurities (calcite, magnesite, glauconite, quartz, feldspar, etc.) [5]. The high carbonate content of Kyzylkum phosphorites is particularly noteworthy, with CO_2 levels reaching 27% or higher in some samples [6].

The most common method for beneficiating phosphate raw materials is washing (attrition scrubbing) and calcination (burning). The resulting washed calcined phosphate concentrate

(WCPC) has a P_2O_5 content reaching 25–27%. The Kokand Superphosphate Plant has been using WCPC as a raw material since 2015 in accordance with UzSt 2825-2014 standard [7]. Researchers have noted that processing such concentrate with acids is considerably more efficient [8].

Decomposition of phosphorite raw materials with sulfuric acid is the most widely used method worldwide: more than 90% of the world's phosphoric acid is produced by digesting phosphate rocks with sulfuric acid [9]. Rasulov A.A. et al. (2022) studied the decomposition of washed dried phosphate concentrate (WDPC) with a mixture of phosphoric and sulfuric acids at SO_3:P_2O_5 ratios of 1.2, 1.65, and 2.6, demonstrating the possibility of obtaining high-quality NPS(Ca) fertilizers [10].

Kosimov D.M., Rasulov A.A., Namazov Sh.S. et al. (2023) investigated the process of obtaining ammonized superphosphate and liquid NP fertilizers in a single cycle by processing washed calcined phosphate concentrate (WCPC) with a mixture of sulfuric and phosphoric acids. At a ratio of 100:5÷10:15, the composition of ammonized superphosphate samples was as follows: P_2O_{5total} — 20.60–24.85%; N — 4.20–4.79%; pH — 2.95–3.17. The liquid NP fertilizer composition consisted of: 3.22–4.49% N, 16.92–17.75% P_2O_5, 2.18–2.86% CaO [11].

In a paper published in the Journal of Chemical Technology and Metallurgy (2024), Rasulov A.A., Namazov Sh.S., Seytnazarov A.R. et al. studied the technology of processing washed dried concentrate containing 26% P_2O_5 into ammophos, sulphoammophosphate, and nitroammophosphate fertilizers. Studies showed that high-quality ammophos was obtained at the optimal ratio P_2O_{5WPPA} : H_2SO_4 : P_2O_{5WDPC} = 1:0.28:0.08 [12].

Liquid complex fertilizers (LCF) occupy an important place in both industry and agriculture. Academician M.N. Nabiev and his colleagues, in developing methods for producing complex fertilizers from phosphate raw materials, proposed the SUM-J-5 method for obtaining LCF, with these fertilizers having a density of 1.5–1.7 g/cm^3 and viscosity of 100–150 cPs [13].

Qarshiyev B.N., Seytnazarov A.R., Namazov Sh.S. (2022) obtained balanced liquid NP fertilizers by ammonizing purified extraction phosphoric acid (35% P_2O_5) and adding ammonium nitrate to the resulting ammophos slurry. The study examined the composition and properties (density, viscosity, saturated vapor pressure, electrical conductivity) of the LCFs. At pH = 6.52 and temperature of 20°C, when the N:P_2O_5 ratio changed from 1:0.5 to 1:1, the density of LCFs changed from 1.297 to 1.367 g/cm^3, and viscosity from 4.83 to 11.66 cPs [14].

In work conducted by Seytnazarov A.R. and Namazov Sh.S. (Institute of General and Inorganic Chemistry, Academy of Sciences of Uzbekistan), the physicochemical properties of ammophos pulp were studied in detail depending on pH and N : P_2O_5 mass ratio. At 80°C, these parameters decreased from 1.275 to 1.326 g/cm^3 and from 1.53 to 2.82 cPs, respectively. It was also shown that the electrical conductivity of LCF significantly increases with rising solution temperature [14].

Suspended fertilizers are dispersion systems with fine solid particles distributed in a liquid; they can contain more nutrients compared to liquid fertilizers. Czubaszek A. et al. (2021, MDPI Agriculture) emphasized that suspension fertilizers should ideally have high apparent viscosity at low shear rates and low apparent viscosity at high shear rates. According to recommendations, viscosity should not exceed 1000 mPa·s at 27°C and 1500 mPa·s at 30°C [15].

Inkoua S. et al. (2025, MDPI Processes) conducted research on obtaining NPK suspension fertilizer from furfural residues via hydrothermal treatment. The authors demonstrated that the Herschel-Bulkley equation describes the rheological characteristics of suspension fertilizer with accuracy $R2 > 0.99$. This suspension system was identified as a pseudoplastic non-Newtonian fluid, and its high static viscosity was proven to provide good anti-agglomeration properties [16].

He F. et al. (2024, Journal of Taiwan Institute of Chemical Engineers) conducted in-depth research on preparing high-concentration ammonium phosphate suspensions from wet-process phosphoric acid and studying their rheological properties. The authors comprehensively studied the effects of P_2O_5 concentration, temperature, and pH on suspension viscosity, identifying optimal parameters [17].

The rheological properties of liquid and suspended fertilizers - density, viscosity, flow characteristics - are of decisive importance in the design of pumping systems, storage, and application processes. According to the Centre for Industrial Rheology (2023), suspensions intended for agricultural chemistry often exhibit non-Newtonian behavior, meaning their viscosity changes depending on the applied shear stress [18].

Qarshiyev B.N. et al. (2022) studied in detail the effect of temperature on the properties of liquid NP fertilizers. Heating from 20 to 80°C at pH = 6.52 caused a sharp decrease in density and viscosity of LCFs. The significant influence of temperature and N : P_2O_5 mass ratio on fertilizer density and viscosity was noted [14].

Vapor pressure and electrical conductivity are also important properties of liquid fertilizers. Research shows that increasing the P_2O_5 concentration relative to N leads to a significant increase in vapor pressure due to the increased mass fraction of free water in the LCF. The saturated vapor pressure of the studied LCF in the range of 20-70°C was 1.25-21.26 Pa, demonstrating their low volatility in the hot climate of Central Asia [14].

Among the most widely used models in suspension rheology are the Herschel-Bulkley, Casson, and Power Law models. These models allow predicting viscosity behavior in advance for designing pumping systems and optimizing various technological processes [18]. While Newtonian fluid behavior is more characteristic for liquid fertilizers, at high solid particle concentrations, suspensions take on pseudoplastic character [17].

The stability of suspension fertilizers is directly related to their storage life, transportation, and application conditions. As described in patent WO2022086924A1 (2022), rheological agents such as fumed silica, magnesium aluminum silicate, xanthan gum, and bentonite are used to ensure suspension stability. The formulation developed in this patent passed 14-day storage tests at 0°C, room temperature, and 45°C [19].

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. In the experiments, washed burnt concentrate (WBC-26) of the following composition (wt. %): 25.77 P_2O_5; 52.70 CaO; 1.20 MgO; 0.63 Fe_2O_3; 1.15 Al_2O_3; 2.67 SO_3; 3.60 CO_2; CaO : $P_2O_{5total.}$ = 2.05; Extraction phosphoric acid (EPhK) contained (wt. %): 15.20 P_2O_5; 1.03 CaO; 0.15 MgO; 0.43 Fe_2O_3; 0.08 Al_2O_3; 1.92 SO_3 (total), and 93.5% H_2SO_4 was also used. The experimental part differs from the work described in [20] in that the liquid phase is not processed into an ammophosphate fertilizer, but is used directly as a liquid nitrogen-phosphorus fertilizer or as a base solution for the synthesis of a suspended liquid complex fertilizer (SLCF). Chemical analyses were conducted according to the following methods (GOST 20851.2-75) for determining mineral fertilizers [21].

The experiments were conducted as follows: a specified amount of phosphorus-sulfuric acid mixture was introduced into a thermostated beaker, then phosphorite raw material (FS) was gradually added while constantly stirring. In this case, the mass ratio of EPhA : H_2SO_{4mg} : WBC = 100: 5:15 was chosen. The interaction time of the components was 45 minutes at a temperature of 70 °C. After this, the phosphoric acid-gypsum pulp was neutralized with a 25% ammonia solution to a pH=3.0. Then, the mixtures were separated into liquid and solid phases by vacuum filtration. The liquid phase, i.e., the filtrate, can be used as (LCF) liquid complex fertilizer. Enriched superphosphate was obtained from the precipitate remaining on the filter. For this, the sample was dried in a drying oven: first at a temperature of 60 °C, then at 90 °C until a constant mass was reached, and a low-nitrogen product was obtained.

To obtain SLCF from this liquid phase, it was completely neutralized with a 25% aqueous solution of ammonia to pH=6.0. Then, a 26% bentonite suspension with a ratio of 100:3 was added, followed by ammonium nitrate and potassium chloride. Thus, a suspended liquid NPK-fertilizer was obtained. The content of components in the obtained products was analyzed according to standard methods.

The density of the SLCF samples was measured by the pycnometric method, and the viscosity was measured by the VPZh-2 capillary viscometer in the temperature range of 20-80°C. The determination of vapor pressure over the LCF was carried out using the dynamic method in the temperature range of 293-343 K.

Results and discussion. In the previous article [22], dried samples of enriched superphosphate by composition (wt. %): 24.85 P_2O_5; $P_2O_{5sol.}$: P_2O_{5total} by lim. acid = 91.03; $P_2O_{5water.}$: $P_2O_{5total.}$ = 78.87; 24.83 CaO; $CaO_{assimilated}$: $CaO_{total.}$ by limon acid = 69.11; 24.54 SO_3; 4.20 N, obtained from the solid phase of the pulp (at pH = 3.0) during the decomposition of the EPhA system: H_2SO_{4mng}: WBC = 100:5:15, as well as the composition of the liquid fertilizer (wt. %): 17.75 P_2O_5; $P_2O_{5water.}$: $P_2O_{5total.}$ = 100; 2.86 CaO; $CaO_{assimilated}$: CaO_{total} by lim. acid = 100; 3.22 N, based on filtrate. Using this liquid phase with the addition of NH_4NO_3 and KCl, suspended liquid NPK fertilizers were obtained. Their composition is presented in Table 1.

From Table 1. It can be seen that suspended NP-fertilizers contain 9.74-16.03% nitrogen and 28.60-29.06% of the sum of nutrient components, of which 8.01-9.77% P_2O_{5total} and 4.81-9.75% K_2O, while the ratio of $P_2O_{5ass.}$: $P_2O_{5gen.}$ and $P_2O_{5water.}$: $P_2O_{5total.}$ are almost identical to each other at 96.88-97.95% and 93.88-94.88%. They have a pH of 5.87-6.09. With such a high content of assimilable and water-soluble forms, suspended LCFs are effectively used in agriculture under drip irrigation conditions for all types of crops against a background of moisture deficiency.

Table 1

Composition of suspended liquid NPK fertilizer samples

Mass ratio $N:P_2O_5:K_2O$	Product pH	Component content, weight. %			$\frac{P_2O_{5\ ass.}}{P_2O_{5\ tot.}}$, %	$\frac{P_2O_{5\ wat.}}{P_2O_{5\ tot.}}$, %	Nutrient components sum, $N + P_2O_{5ass.} + K_2O$, %
		N	P_2O_{5total}	K_2O			
1 : 0,5 : 0,3	5,87	16,03	8,01	4,81	96,88	93,88	28,60
1 : 0,7 : 0,5	5,98	12,98	9,09	6,49	96,92	94,06	28,28
1 : 1 : 1	6,09	9,74	9,77	9,75	97,95	94,88	29,06

The rheological characteristics (density and viscosity) of liquid NP-fertilizers are presented in Figures 1 and 2, respectively.

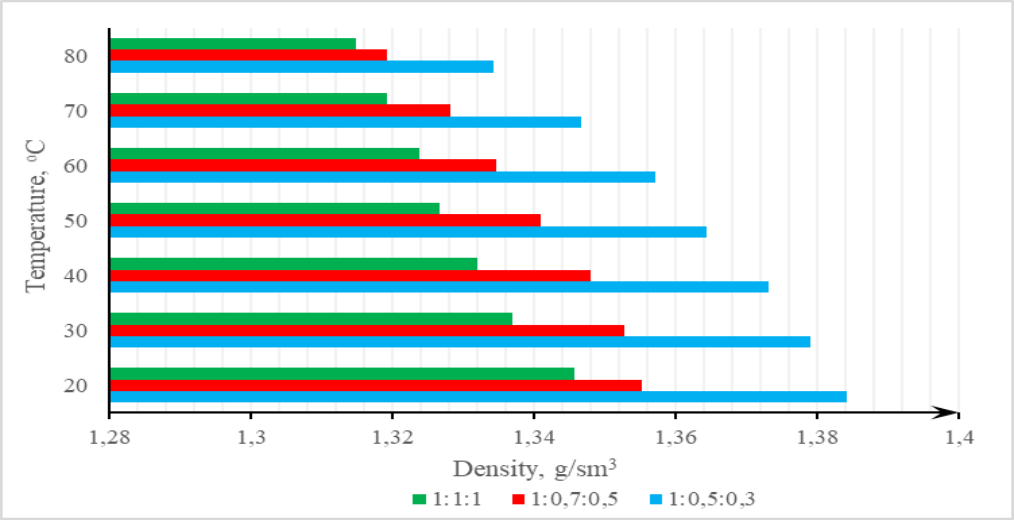


Fig. 1. Density of suspended liquid NPK fertilizer.

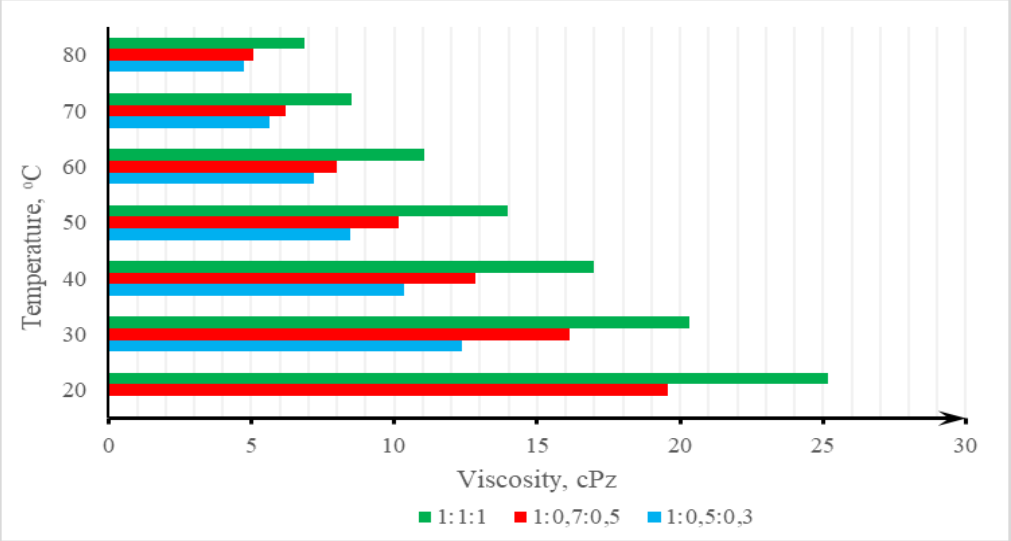


Fig. 2. Viscosity of suspended liquid NPK fertilizer.

At the studied mass ratios of N : P_2O_5 : K_2O (from 1: 0.5: 0.3 to 1:1:1) and temperatures (80-20°C), the density values of suspended liquid NPK fertilizers fluctuate within the range of 1.3343-1.3842; 1.3191-1.3551 and 1.3148-1.3457 g/cm^3 (Fig. 1).

At mass ratios of N : P_2O_5 : K_2O = 1 : (0.5-1) : (0.3-1) with a decrease in temperature from 80 to 20°C, the viscosity of suspended liquid NPK fertilizers is 4.74-15.32; 5.09-19.58 cPz and 6.88-25.17 cPz, respectively (Fig. 2).

From Figures 1 and 2, it can be seen that with an increase in temperature from 20 to 80°C, both the density and the viscosity of NPK-fertilizers decreased. Furthermore, when transitioning from a ratio of N : P_2O_5 : K_2O = 1: 0.5: 0.3 to 1:1:1, the density of NPK fertilizers at 20°C decreases from 1.3842 to 1.3457 g/cm^3, and the viscosity, on the contrary, increases from 15.32 to 25.17 sPz.

Conclusion. The composition and rheological properties (density and viscosity) of suspended liquid NPK fertilizers of grades 1: 0.5: 0.3; 1: 0.7: 0.5 and 1:1:1, obtained based on the decomposition of washed calcined concentrate with a mixture of sulfuric and extraction phosphoric acids. At the same time, the content of N in liquid NPK-fertilizers ranges from 9.74 to 16.03%, P_2O_{5total} - from 8.01 to 9.77%, and K_2O - from 4.84 to 9.75%. The resulting pulp is fluid (not more than 1.3842 g/cm^3 and 25.17 sPz).

References

[1]. Chandini, K. et al. (2019). The impact of chemical fertilizers on our environment and ecosystem. Research Trends in Environmental Sciences, 2(1), 69–86.
[2]. Liu, Y. et al. (2021). Global patterns and magnitude of NPK fertilizer use efficiency in agricultural soils. Nature Food, 2, 529–540.
[3]. Czubaszek, A. et al. (2021). Suspension Fertilizers: How to Reconcile Sustainable Fertilization and Environmental Protection. MDPI Agriculture, 11(10), 1008. https://doi.org/10.3390/agriculture11101008
[4]. Indorama Kokand Fertilizers and Chemicals. Company history. https://indoramakokandfertilizer.com/ (Accessed: 2025).
[5]. Seytnazarov, A.R. et al. (2022). Obtaining ordinary superphosphate from Karakalpak phosphorite by activation with sulfuric acid at various concentrations and standards. UzSci Journal.
[6]. Ortiqova, S.S. et al. (2019). Study of possibilities for obtaining high-quality fertilizers from low-grade phosphorite ores. ResearchGate. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25066.31685
[7]. UzSt 2825-2014. Washed calcined phosphate concentrate. Technical conditions.
[8]. Abdullatif, A.A. et al. (2020). Obtaining Nitrogen-Phosphoric-Potassium Fertilizers Based on Washed and Burned Thermoconcentrate of Central Kyzylkum. IJARSET, 7(7). https://www.ijarset.com/upload/2020/july/34-abdullatif-46.pdf
[9]. Calmanovici, C.E. et al. (1997). Over 90% of phosphoric acid worldwide is manufactured by digestion of phosphate rocks with sulfuric acid. Separation Science and Technology.

[10]. Rasulov, A.A. et al. (2022). Processing of Washed Dry Concentrate into NPK Fertilizers Using Mixture of Sulfuric and Phosphoric Acids. ResearchGate. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33765.01761
[11]. Kosimov, D.M., Rasulov, A.A., Namazov, Sh.S., Seytnazarov, A.R., Sultonov, B.E. (2023). Ammonized Superphosphate and Liquid Nitrogen-Phosphorus Fertilizer Based on the Decomposition of Washed Dryed Concentrate with a Mixture of Sulfuric and Phosphoric Acids. Chemical Science International Journal. https://journalcsij.com/index.php/CSIJ/article/view/872
[12]. Rasulov, A.A., Namazov, Sh.S., Seytnazarov, A.R., Alimov, U.K., Sultonov, B.E. (2024). Processing of a Washed Dry Concentrate Containing 26% P2O5 into Ammophosphate, Sulpho- and Nitroammophosphate Fertilizers. Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 59(3).
[13]. Nabiev, M.N. et al. Method SUM-J-5 for obtaining liquid complex fertilizers. Institute of General and Inorganic Chemistry, Academy of Sciences of Uzbekistan, Tashkent.
[14]. Qarshiyev, B.N., Seytnazarov, A.R., Namazov, Sh.S. (2022). Balanced liquid NP fertilizers from purified extraction phosphoric acid. CyberLeninka. https://cyberleninka.ru/article/n/tozalgan-ekstraktsiyon-fosfor-kislotadan-suyuq-muvozanatlashgan-np-o-g-itlar
[15]. Centre for Industrial Rheology. (2023). Rheology for Agrochemicals. https://www.rheologylab.com/articles/rheology-for-agrochemicals/
[16]. Inkoua, S. et al. (2025). Furfural Residue to Rheology Accessible Suspension Fertilizer upon Artificial Humification. MDPI Processes, 14(1), 50. https://doi.org/10.3390/pr14010050
[17]. He, F. et al. (2024). Study on the preparation of high-concentration ammonium phosphate suspension fertilizer from wet-process phosphoric acid and its rheological properties. Journal of Taiwan Institute of Chemical Engineering, 161, 105497.
[18]. Centre for Industrial Rheology. (2023). Viscosity and rheology measurement of agrochemical suspensions. https://www.rheologylab.com/
[19]. WO2022086924A1. (2022). Liquid suspension compositions and coated fertilizer particles. Google Patents.
[20]. Rasulov A.A., Badalova O.A., Namazov Sh.S., Seytnazarov A.R., Beglov B.M., Alimov U.K. Processing of off-balance phosphorite ore of the Central Kyzylkum into enriched superphosphate and ammophosphate fertilizer. // Chemical Technology. Control and management. - Тошкент, 2018. - No. - P. 5-10.
[21]. Methods of analysis of phosphate raw materials, phosphorus and complex fertilizers, feed phosphates / M.M.Vinnik, L.N.Yerbanova, P.M. Zaytsev et al. - M.: Chemistry, 1975. - 218 p.
[22]. Qosimov D.M., Namazov Sh.S., Seytnazarov A.R., Beglov B.M., Badalova O.A. Ammoniated superphosphate and liquid nitrogen-phosphorus fertilizer based on the decomposition of washed calcined concentrate with a mixture of sulfuric and phosphoric acids // Uzbek Chemical Journal. - Tashkent, 2023. - special issue. - P.4-12.

ҚАЙТА ҚИЗИГАН МОЙЛАРНИ ТОЗАЛАШ ТЕХНОЛОГИЯСИ

Д.С. Салиханова[1], М.А. Исмоилова[1], И.Й. Чориева[1], М.С. Тоирова[1], Н.Б. Кадирова[2]

[1]Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси Умумий ва ноорганик кимё институти
Mukhtasarxon95@gmail.com
[2]Фарғона давлат техника университети
(Қабул қилинди 10.03.2026 й.)

Аннотация: *Овқат тайёрлаш жараёнида ўсимлик ёғларини қайта-қайта қиздириш натижасида оксидланиш маҳсулотлари, полимерлар ва эркин ёғ кислоталари ҳосил бўлади, бу эса ёғ сифатини пасайтиради ва инсон саломатлигига салбий таъсир кўрсатиши мумкин. Шу боис, бундай ёғларни тозалаш ва қайта ишлатиш муҳим технологик ва экологик масала ҳисобланади. Ушбу тадқиқотнинг мақсади қайта-қайта қиздирилган ўсимлик ёғларини тозалаш усулларини ишлаб чиқиш ва оптималлаштиришдан иборат. Тадқиқот давомида ёғларнинг физик-кимёвий кўрсаткичлари тозалашдан олдин ва кейин таҳлил қилинди. Тозалаш жараёнида танланган адсорбентлар ёрдамида адсорбцион усул қўлланилди. Натижалар шуни кўрсатдики, таклиф этилган тозалаш усули оксидланиш маҳсулотлари, эркин ёғ кислоталари ва ранг берувчи бирикмалар миқдорини самарали камайтиради. Шунингдек, кислоталик сони ва ранг кўрсаткичлари сезиларли даражада яхшиланди.*

Таянч сўзлар: *мой, рафинация, адсорбция, тозалаш, оксидланиш, маҳсулотлари, кислоталик сони.*

Abstract: *Repeated heating of vegetable oils during food preparation leads to the formation of oxidation products, polymers, and free fatty acids, which significantly deteriorate oil quality and pose*

potential health risks. Therefore, the purification and reuse of such oils represent an important technological and environmental challenge. The aim of this study is to develop and optimize methods for purifying repeatedly heated vegetable oils. Physicochemical properties of the oils were analyzed before and after treatment. Adsorption-based purification methods were applied using selected adsorbents under controlled conditions. The results demonstrated that the proposed purification process effectively reduced oxidation products, free fatty acids, and color intensity. Key quality indicators, including acid value and color parameters, showed significant improvement after treatment. In conclusion, the developed purification technology can be recommended for improving the quality and safety of repeatedly heated oils, as well as reducing their environmental impact.

Keywords: *oil, refining, adsorption, purification, oxidation, products, acidity number.*

Аннотация: *Многократное нагревание растительных масел в процессе приготовления пищи приводит к образованию продуктов окисления, полимеров и свободных жирных кислот, что значительно ухудшает качество масла и может негативно влиять на здоровье человека. В связи с этим очистка и повторное использование таких масел являются важной технологической и экологической задачей. Целью данного исследования является разработка и оптимизация методов очистки многократно нагреваемых растительных масел. Были изучены физико-химические показатели масел до и после обработки. Для очистки применялись адсорбционные методы с использованием различных адсорбентов при контролируемых условиях. Результаты показали, что предложенный способ очистки эффективно снижает содержание продуктов окисления, свободных жирных кислот и окрашенных соединений. Основные показатели качества, такие как кислотное число и цветность, значительно улучшились после обработки. В заключение установлено, что разработанная технология может быть рекомендована для повышения качества и безопасности многократно нагреваемых масел, а также снижения их негативного воздействия на окружающую среду.*

Ключевые слова: *растительное масло, многократное нагревание, адсорбция, очистка, продукты окисления, кислотное число*.

Кириш. Озиқ-овқат саноатида ўсимлик мойлари, хусусан пахта мойи, кенг қўлланиладиган асосий хом ашёлардан бири ҳисобланади. Ушбу мойлар қовуриш, пиширишва турли технологик жараёнларда ишлатилиши натижасида уларнинг физик-кимёвий кўрсаткичлари сезиларли даражада ўзгаради[1]. Жумладан, юқори ҳарорат таъсирида мой таркибида оксидланиш, полимерланиш ва гидролиз жараёнлари содир бўлади. Бу жараёнлар натижасида мойнинг ранги тўқлашади, кислоталик сони ортиб боради ва инсон саломатлигига салбий таъсир кўрсатувчи моддалар ҳосил бўлади. Ишлатилган мойларни тўғридан-тўғри қайта ишлатиш озиқ-овқат хавфсизлиги нуқтаи назаридан мақбул эмас. Шу сабабли бундай мойларни қайта тиклаш, яъни уларни тозалаш ва сифатини яхшилаш муҳим илмий ва амалий вазифалардан бири ҳисобланади. Ҳозирги кунда мойларни тозалашнинг турли усуллари мавжуд бўлиб, уларга механик фильтрация, нейтраллаш, рафинация ва адсорбция усуллари киради[2,3]. Адсорбция усули энг самарали ва иқтисодий жиҳатдан мақбул усуллардан бири ҳисобланади. Бу усулда махсус адсорбентлар фаолланган глиналар, актив кўмир ва бошқа моддалар ёрдамида мой таркибидаги ранг берувчи пигментлар, оксидланган бирикмалар ва бошқа зарарли компонентлар ажратиб олинади. Айниқса, глина асосидаги адсорбентлар юқори юза майдони ва сорбция қобилияти туфайли кенг қўлланилади.

Сўнгги йилларда ишлатилган мойларни қайта тиклаш ва улардан самарали фойдаланишга бўлган қизиқиш ортиб бормоқда. Бу нафақат иқтисодий самарадорликни таъминлайди, балки атроф-муҳит муҳофазаси нуқтаи назаридан ҳам муҳим аҳамиятга эга. Чунки ишлатилган мойларни чиқиндилар қаторига ташлаш экологияга салбий таъсир кўрсатади[3,4]. Шу нуқтаи назардан, ишлатилган пахта мойини паст миқдордаги адсорбентлар ёрдамида самарали тозалаш технологияларини ишлаб чиқиш долзарб ҳисобланади. Айниқса, адсорбент сарфини камайтириш орқали иқтисодий самарадорликни ошириш муҳим аҳамият касб этади. Мазкур тадқиқот ишида ишлатилган пахта мойининг

ранг кўрсаткичларини яхшилаш мақсадида 0,25% миқдорда глина адсорбентидан фойдаланиш самарадорлиги ўрганилди.

Ушбу тадқиқотда тозалаш объекти сифатида қайта-қайта қиздирилган пахта мойидан фойдаланилди. Мойни тозалаш жараёни бир нечта босқичларда амалга оширилди[4,5]. Дастлаб, мой таркибидаги механик қўшимчалар ва қаттиқ заррачаларни ажратиб олиш мақсадида фильтрация жараёни ўтказилди. Фильтрлашдан сўнг мой 50°C ҳароратгача қиздирилди. Кейинги босқичда мойни тозалаш самарадорлигини ошириш мақсадида адсорбцион ишлов берилди. Бунинг учун мой массасига нисбатан 0,25% миқдорда маккажўхори крахмали қўшилди ва аралашма бир хил масса ҳосил бўлгунча яхшилаб аралаштирилди. Шундан сўнг ишқорий рафинация жараёни амалга оширилди. Рафинацияда натрий гидроксид (NaOH) эритмаси қўлланилди. Жараёнда 1 тонна мойга 1 кг NaOH 50 мл сувда эритилиб, тайёрланган ишқорий эритма мойга қўшилди. Рафинация жараёни белгиланган ҳарорат ва аралаштириш шароитида олиб борилди.

Фильтрация босқичи мой таркибидаги механик аралашмаларни бартараф этади. Крахмал ёрдамида олиб борилган адсорбция жараёни ранг берувчи бирикмалар, оксидланиш маҳсулотлари ва коллоид заррачаларни ютиб олишга хизмат қилади[6].

Ишқорий рафинация эса эркин ёғ кислоталарини нейтраллаштириш орқали мойнинг кислоталик сонини пасайтиради ва унинг сифат кўрсаткичларини яхшилайди. Натрий гидроксид ёғ кислоталари билан реакцияга киришиб, совун ҳосил қилади ва бу моддалар кейинчалик ажратиб ташланади.

Шунинг учун тадқиқот ишида рафинацияланган пахта мойини ҳамд термик ишлов берилган мойларни кўрсаткичлари аниқланди. Тадқиқот натижалари шўни кўрсатадики рафинацияланган мойларни озиқ-овқат саноатида фойдаланилиб, сўнг термик ишлов берилган мойларнинг сифат кўрсаткичлари ўзгариб кетиши аниқланди ва қуйдаги жадвалда келтирилди. Ушбу маҳсулотларнинг физик-кимёвий кўрсаткичлари 1-жадвалда келтирилган.

1-жадвал

Олдинган мойнинг физик-кимёвий кўрсаткичлари

Кўрсаткичлар	Дастлабки мой	Тозаланган мой
Кислота сони, mg KOH/g	4.5 ± 0.02	0.8 ± 0.01
Механик қўшимчалар, %	0.30	0.05
Перекис сони, mmol фаол O/kg	12,4±0,2	3,4±0,2

1-жадвалда кўриниб турибдики Натижалардан кўриниб турибдики, тозалаш жараёни натижасида кислоталик сони 4,5 дан 0,8 mg KOH/g гача камайди. Бу ишқорий рафинация жараёнининг самарадорлигини кўрсатади. Ранг кўрсаткичлари ҳам сезиларли даражада яхшиланди, бу эса крахмал иштирокидаги адсорбция жараёнининг самарали эканлигини тасдиқлайди. Механик қўшимчалар миқдорининг камайиши фильтрация босқичининг аҳамиятини кўрсатади.

Озиқ-овқат саноатида қовуриш жараёнида ишлатилган ўсимлик мойлари вақт ўтиши билан оксидланиб, рангининг тўқлашиши, кислоталик сонининг ортиши ва зарарли моддаларнинг ҳосил бўлиши кузатилади. Бу эса мойнинг сифатини пасайтиради ва уни қайта ишлатишни чеклайди. Шу сабабли ишлатилган мойларни тозалашнинг самарали усулларини ишлаб чиқиш муҳим аҳамиятга эга.

Адсорбция усули мойни тозалашда кенг қўлланиладиган замонавий усуллардан бири бўлиб, бунда глина (фаолланган тупроқ) каби адсорбентлар ёрдамида ранг берувчи ва зарарли моддалар ажратиб олинади. Ишлатилган пахта мойининг ранг кўрсаткичларини яхшилаш ва сифатини оширишда 0,25% глина адсорбентининг самарадорлигини самарадорлиги аниқланди.

Адсорбция жараёни натижасида мойнинг ранги сезиларли даражада яхшиланди. Глина адсорбенти мой таркибидаги оксидланган маҳсулотлар, пигментлар ва бошқа қўшимчаларни ўз юзасига ютиб олди.

2-жадвал

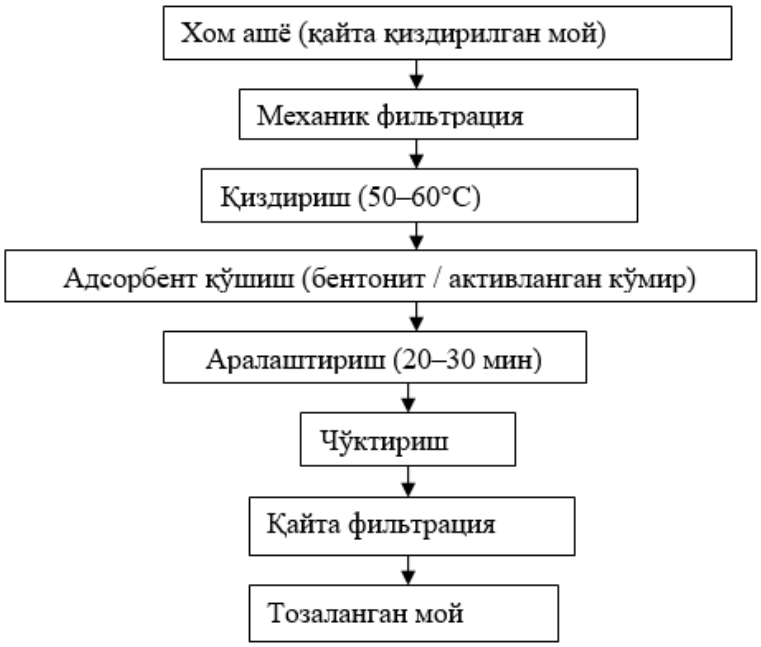
Адсорбция жараёнидан олдин ва кейин мой кўрсаткичлари

№	Кўрсаткичлар номи	Ишлатилган мой	0,25% глина билан тозаланган мой
1	Ранг (Lovibond, 35Y)	18,5 R	9,2 R
2	Кислота сони, mg KOH/g	4,5 ±0,02	0,8 ±0,01
3	Ҳид	Ёқимсиз	Ўзига хос
4	Шаффофлик	Хира	Яхшиланган

Олинган натижалар шуни кўрсатадики, 0,25% миқдордаги глина адсорбенти мой рангини деярли 2 баробар яхшилаган. Бу глинанинг юқори адсорбция қобилияти билан изоҳланади. Кислота сони ҳам пасайгани кузатилди, бу эса мой таркибидаги эркин ёғ кислоталарининг қисман адсорбцияланганини кўрсатади. Ишлатилган пахта мойини паст миқдордаги (0,25%) глина ёрдамида самарали тозалаш имконияти асослаб берилди.

Ушбу усул озиқ-овқат саноатида ишлатилган мойларни қайта тиклаш ва чиқиндиларни камайтиришда қўлланилиши мумкин.

Қайта қиздирилган мойларни тозалаш технологияси схема



Хомашё қабул қилиш ва тайёрлашда қайта ишланадиган мойлар йиғилиб, турлари ва сифатлари аниқланади. Кўрсаткичлар: оқсилик, ранги, кислота сони, зарарланиш даражаси назорат қилиб борилади. Қайта қиздириш босқичида термик ишлов мойнинг заҳарли моддаларини йўқ қилиш ва микробларни камайтиришда муҳим. Лекин юқори ҳарорат ёғнинг оксидланишини тезлаштиради, шунинг учун ҳарорат ва вақтни аниқ назорат қилиш керак. Химиявий тозалаш: бу босқичда кислоталик ва номатлуб затлар кетказилади, мой ранг ва хидини яхшилайди. Шу билан бирга, тўлиқ нейтрализация қилинмаса, саломатлик учун хавф туғилиши мумкин. Фильтрлаш ва дегумминг: механик ва химиявий аралашмаларни олиб ташлайди, охирги маҳсулот тозалиги ва узоқ муддатли сақланишини таъминлайди. Сақлаш ва қоплаш: мой оксидланиш ва заҳарланишдан ҳимоя қилиниши керак. Идеал ҳолатда, герметик идиш ва салоқли сақлаш шарт.

Ҳаддан оширилган адсорбент мой рангини тоза қилади, лекин адсорбентнинг баъзи чиқиндилари маҳсулотда қолиши мумкин, шунинг учун оптимал миқдорни лабораторияда аниқлаш лозим.

Адсорбент миқдори ва тозалаш босқичи мой рангини сезиларли даражада яхшилаган. Қайта рафинациаланган мой нафақат ранг, балки заҳарли моддалар ва оксидланган компонентлардан ҳам тозаланган. Бу расм рафинация жараёнининг визуал натижасини аниқ кўрсатади.

1-расм. Қайта қизиган мойларнинг адсорбция жараёнидан олдинги ва кейинги ко‘ринишлари.

Тозаланган мойни нафақат озиқ-овқатда, балки косметика ва фармацевтика маҳсулотларида ҳам эмульгатор сифатида қўллаш мумкин. Расмдан кўриниб турибдики, адсорбент миқдори ва рафинация босқичлари мой рангига сезиларли таъсир кўрсатган. Хом мой (чап томонда) қора-қўнғир рангда бўлса, тозаланган мой (ўнг томонда) очиқ сариқ рангга эга, бу рафинациянинг самарадорлигини визуал равишда тасдиқлайди.

Олиб борилган тадқиқотлар натижасида қайта қиздирилган ўсимлик мойлари таркибида турли оксидланиш маҳсулотлари, эркин ёғ кислоталари ва бошқа зарарли бирикмалар ҳосил бўлиши аниқланди. Бу моддалар мойнинг органолептик ва физик-кимёвий кўрсаткичларини ёмонлаштиради ҳамда инсон саломатлиги учун хавф туғдириши мумкин. Тадқиқот натижалари шуни кўрсатдики, адсорбцион тозалаш усули қайта қиздирилган мойларни тозалашда самарали усуллардан бири ҳисобланади. Бентонит ва активланган кўмир каби адсорбентлар қўлланилганда мойдаги пероксид ва кислоталик кўрсаткичлари сезиларли даражада камайиши кузатилди. Ишлаб чиқилган технология мой таркибидаги зарарли бирикмаларни камайтириш, унинг ранги ва ҳидини яхшилаш ҳамда қайта ишлатиш имкониятларини оширишга хизмат қилади. Таклиф этилган технология озиқ-овқат саноати ва умумий овқатланиш корхоналарида мойларни самарали қайта ишлашда қўлланилиши мумкин.

Хулоса. Тадқиқот натижалари кўрсатишича, фильтрация, крахмал иштирокида адсорбцион ишлов ва ишқорий рафинация босқичларини ўз ичига олган комплекс тозалаш усули пахта мойининг сифат кўрсаткичларини яхшилашда самарали ҳисобланади. Тадқиқот натижалари асосида шуни хулоса қилиш мумкинки, қайта-қайта қиздирилган пахта мойини фильтрация, адсорбция ва ишқорий рафинация босқичларини ўз ичига олган комплекс усулда тозалаш юқори самара беради. Таклиф этилган технология мойнинг асосий сифат кўрсаткичларини яхшилаб, уни қайта ишлатиш имкониятини оширади. Бу эса ресурсларни тежаш ва атроф-муҳитга салбий таъсирни камайтиришда муҳим аҳамиятга эга.

Adabiyotlar

[1]. Salixanova D.S., Ismoilova M.A., Eshmetov I.D., Abduraximov A.A., Azimova D.A., Sagdullayeva D.S., Eshmetov R.J. Qolip va patnislarni moylash uchun emulsiya olish usullari, Foydali model, O’zbekiston respublikasi adliya vazirligi. № FAP 02223.17.02.2023.

[2]. Ismoilova M.A. Effect Of Emulsifier Amount On Obtaining Emulsions For Mold Lubrication/Universum ximiya i biologiya, https://7universum.com/ru/nature/archive/item/14638, Moskva.2022., № 12 S.66-69.

[3]. Salixanova D.S., Ismoilova M.A., Sagdullaeva B.Sh., Adashev B.Sh., Kadirova N.B. Faktori, Vliyayushie na prosess emulgirovaniya vodno-jirovix emulsiy/Nauchno-texnicheskiy jurnal Ferganskogo politexnicheskogo instituta, Fergana. 2022., S.88-92.

[4]. Adashev B.Sh.,Salixanova D.S., Ismoilova M.A. Uluchshenie biologicheskix svoystv rastitelnix masla kupajirovaniem, Universum: ximiya i biologiya: elektron. nauchn. jurn.2023. 4(106). URL:https://7universum.com/ru/ nature/archive/item/ 15218 (data obrasheniya: 13.09.2023).

[5]. Salixanova D.S., Ismoilova M.A., Adashev B.Sh., Muratov M.M. Analysis emulsions obtained in ultrasonic homogenizer and magnetic stirrer devices, Namangan muxandislik-texnologiya instituti ilmiy-texnik jurnali, 3-son jurnali, Namangan 2023., 105-109 bet.

[6]. Akramov O. Yog‘ va moy mahsulotlari texnologiyasi. Toshkent: Fan nashriyoti, 2022.

DEVELOPMENT OF A PTFE-BASED CATHODE IN SODIUM–SULFUR BATTERIES

I.U. Yusupov*, F.Sh. Khakimov

Fergana state technical university
Corresponding author, e-mail: **ilyosbekyusupov 872@ mail . com*
(Received on March 10 th, 2026)

Annotation. *Today, the environmental problems are affecting our way of life. One of the major ones is global warming and using fossil fuels should be limited to address this issue. The most important step is giving up the usage of fossil fuels which release more toxic gases to the atmosphere and start using electric tools. There are two widespread energy storage batteries (Lithium-ion batteries (LIBs) and sodium-ion batteries (SIBs)) that are making our life more complicated. In this review, two prominent battery binders are discussed: LIBs, SIBs. For a long time, a lot of scientific works have been doing to improve the cycle of secondary batteries, for example, various electrolyte materials are being used to decline shuttle effect. However, many researches show that binders play an essential role to make better batteries which cover the growing demand for energy storage. Using PTFE in the cathode gives some more benefits to secondary batteries and can be an answer for many questions around the sodium-ion batteries (SIBs). In this research, first dry mixed method was used to prepare cathode material and its features were tasted in the Neware tester.*

Key words: *Lithium-ion batteries (LIBs), sodium-ion batteries (SIBs), binders, cathode, poly (vinylidene difluoride) (PVDF), polytetrafluoroethylene (PTFE).*

Annotatsiya. *Bugungi kunda ekologik muammolar bizning turmush tarzimizga ta'sir qilmoqda. Eng muhimlaridan biri global isishdir va bu muammoni hal qilish uchun qazilma yoqilg'ilardan foydalanish cheklangan bo'lishi kerak. Eng muhim qadam atmosferaga ko'proq zaharli gazlarni chiqaradigan qazilma yoqilg'ilardan foydalanishdan voz kechish va elektr asboblaridan foydalanishni boshlashdir. Hayotimizni murakkablashtirayotgan ikkita keng tarqalgan energiya saqlash batareyasi (lityum-ion batareyalar (LIB) va natriy-ion batareyalar (SIB)) mavjud. Ushbu sharhda ikkita taniqli batareya bog'lovchisi muhokama qilinadi: LIBlar, SIBlar. Uzoq vaqt davomida ikkilamchi batareyalar siklini yaxshilash uchun ko'plab ilmiy ishlar olib borilmoqda, masalan, shtutl effektini kamaytirish uchun turli xil elektrolit materiallari qo'llanilmoqda. Biroq, ko'plab tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, bog'lovchilar energiya saqlashga bo'lgan ortib borayotgan talabni qondiradigan yaxshiroq batareyalar ishlab chiqarishda muhim rol o'ynaydi. Katodda PTFE dan foydalanish ikkilamchi batareyalarga ko'proq foyda keltiradi va natriy-ion batareyalar (SIB) atrofidagi ko'plab savollarga javob bo'lishi mumkin. Ushbu tadqiqotda katod materialini tayyorlash uchun avval quruq aralashtirish usuli qo'llanildi va uning xususiyatlari Neware sinov qurilmasida sinab ko'rildi.****Kalit so‘zlar:*** *Lity-ion batareyalar (LIBs), natriy-ion batareyalar (SIBs), bog‘lovchi moddalar, katod, poli(viniliden diftorid) (PVDF), politetrafluoroetilen (PTFE).*

Аннотация. *Сегодня экологические проблемы влияют на наш образ жизни. Одна из главных — глобальное потепление, и для решения этой проблемы необходимо ограничить использование ископаемого топлива. Важнейшим шагом является отказ от использования ископаемого топлива, которое выбрасывает в атмосферу больше токсичных газов, и переход на использование электроинструментов. Существуют два распространенных типа аккумуляторов для хранения энергии (литий-ионные батареи (ЛИБ) и натрий-ионные батареи (НИБ)), которые усложняют нашу жизнь. В этом обзоре рассматриваются два наиболее важных связующих вещества для батарей: ЛИБ и НИБ. В течение длительного времени проводились многочисленные научные работы по улучшению цикла работы вторичных батарей, например, использовались различные электролитные материалы для снижения эффекта переноса. Однако многие исследования показывают, что связующие вещества играют важную роль в создании более совершенных батарей, которые удовлетворяют растущий спрос на хранение энергии. Использование ПТФЭ в катоде дает дополнительные преимущества вторичным батареям и может стать ответом на многие вопросы, касающиеся натрий-ионных батарей (НИБ). В этом исследовании сначала был использован метод сухого смешивания для приготовления катодного материала, а его характеристики были протестированы на тестере Neware.*

Ключевые слова: *Литий-ионные батареи (LIBs), Натрий-ионные батареи (SIBs), Связующие вещества, Катод, Поли(винилиденфторид) (PVDF), Политетрафторэтилен (PTFE).*

1. INTRODUCTION. In this modern life, environmental problems are center of concentration because they are affecting our life with negative side. One of them is global warming which have to find solution to stop it. Many scientists today believe that car fumes and industrial toxic gases make it worse day by day and the effective solution would be stop using fossil fuels. Due to the fact that, using fossil fuels mean spreading much more carbon dioxide and other toxic gases to the atmosphere, as a result global warming appears. To minimize toxic gases, using battery storage systems is planning and until 2030 a lot of countries will us electric cars and this demands the production of batteries and make them more effective. Focusing on renewable energy sources, stationary energy storage systems are crucial for enhancing grid reliability. In the near future, the demand for stationary energy storage devices is expected to rise sharply in order to ensure a stable supply of energy from renewable resources [1, pp. 1–5]. The global CO2 concentration in the atmosphere reached 417.1 ppm in 2022, an increase of 23% compared to that recorded in 1980. The primary factor responsible for GHG emissions is the burning of fuels to produce electricity. The increase in these emissions has heightened the necessity for breakthroughs in energy technologies to fulfill the expanding requirements of society beyond the limitations of fossil fuels [4]. Several new policies have been implemented to address rising global temperatures during the November 2023 Conference of the Parties (COP 28). One key strategy is the Global Renewables and Energy Efficiency Pledge. The USD 5 billion in funding granted to this pledge aims to assist 132 countries in advancing RESs and enhancing their efficiency by 2030 [5]. High demand of using Lithium-ion batteries is answering to market place but there is an ongoing forecast that near the future (until 2030) lithium resources will not cover all expenditures and for that reason instead of using lithium, sodium-ion batteries will be the main raw material for producing secondary batteries. Both (Lithium-ion batteries (LIBs) and sodium-ion batteries (SIBs)) have their own cathodes that enhance their power. However, reducing shuttle effect and improving number of cycles in batteries are still very important consideration that should be paid attention carefully. Cathode binders are in secondary batteries with very small proportion but their role is crucial to improve number of cycles. In this review article, two main cathode binders are analyzed with conclusions.

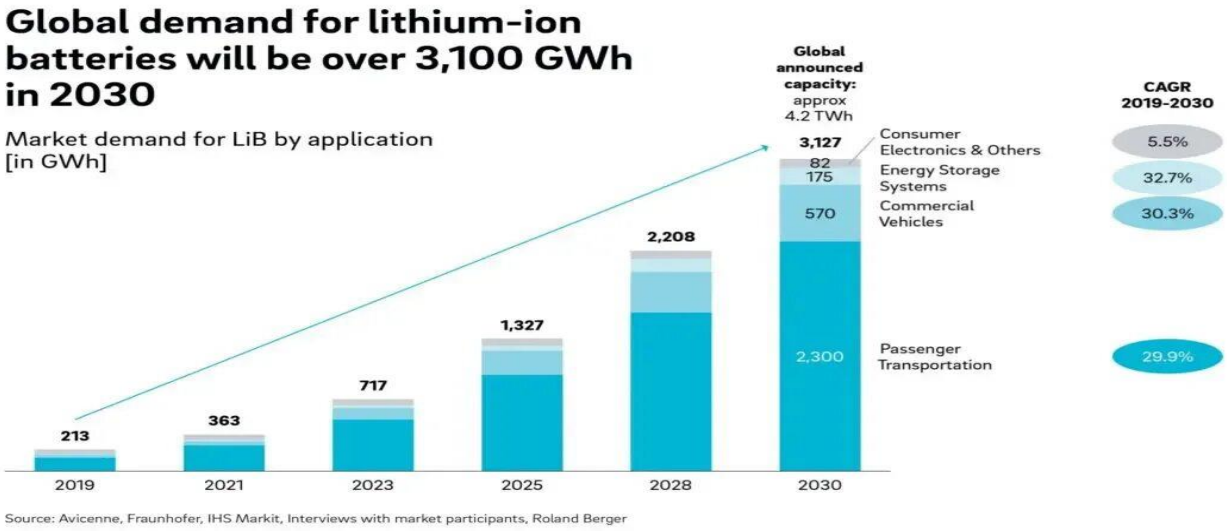
1.2 Cathode: Cathode material should have an ability to minimize shuttle effect during the working and improve the number of cycles. Reaching this working ability, right binder selection should be considered. During the working time, in the anode, sodium is oxidized as a result it releases electrons **(**Na^+ ions). An electrolyte of the battery helps them to move to the cathode and sulfur is underwent reduction (sodium polysulfides (Na_2S_x, $2 \leq x \leq 8$)). Sulfur is widely distributed in nature, and its content in the Earth's crust is 0.048% by mass. Because of its affordable cost the sodium is being expected to use as a main cathode material soon [7].

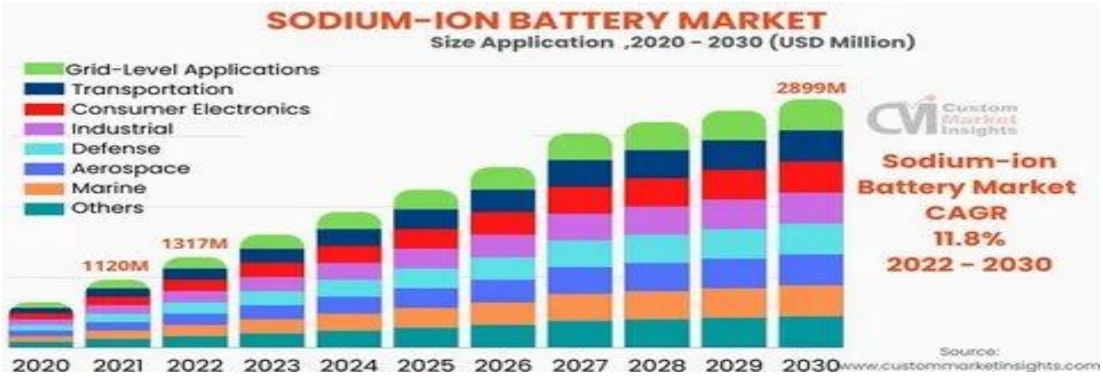
1.3 Anode: Anod material is also prepared widely today because of much abundance of its reserves in the Earth and near the future its advantages will widen with the help of scientific studies. However, sodium unevenly nucleates on the anode surface during the charge/discharge process, resulting in the formation of sodium dendrites, which may pierce the separator and cause a short circuit inside the battery. To suppress the growth of sodium dendrites, many strategies have been proposed, such as constructing various structures of metallic sodium, coating artificial protective layers on sodium, optimizing electrolyte components or additives, and designing an unconventional collector. In this section, we focus on the treatment of sodium metal. The contents of the electrolyte and current collector will be described below [7].

1.4 Electrolyte: Electrolyte is an important part of the battery and is closely related to the cycle efficiency, cycle life and safety of the battery. Sodium-sulfur battery electrolyte must meet the conventional requirements of ionic conductivity, electronic insulation, thermal stability, chemical stability, electrochemical stability, excellent wettability of the electrode, environmental friendliness and low cost. Moreover, it has no reactivity to sodium and has high solubility to polysulfides. The electrolyte used in room temperature sodium-sulfur batteries can be classified into liquid, gel and solid electrolytes. This section mainly discusses the application of ether, carbonate, ionic liquid electrolyte and gel electrolyte in liquid electrolyte in room temperature lithium-sulfur batteries [8].

1.5 Key challenges. There are many problems that have to find urgent solution to enhance the secondary batteries. Thirdly, reducing shuttle effect and improve the number of cycles is still very crucial issue. The main purpose of this review article is to deep analyze recent developments in cathode materials, with efficient binders. This paper summarizes current strategies for improving sulfur utilization, suppressing the polysulfide shuttle effect, and enhancing cycling stability. Moreover, the

review compares different cathode design approaches on terms of electrochemical performance and structural stability, compares different researches, and highlights future directions for the development of cost-effective and sustainable sodium-sulfur battery systems [7].





The given bar graph and table illustrates global demand for batteries from 2020-2030. As it clear to the numbers the consumption of batteries will increase until 2030. Electric vehicles and energy storage systems will take large proportion of this total numbers [6].

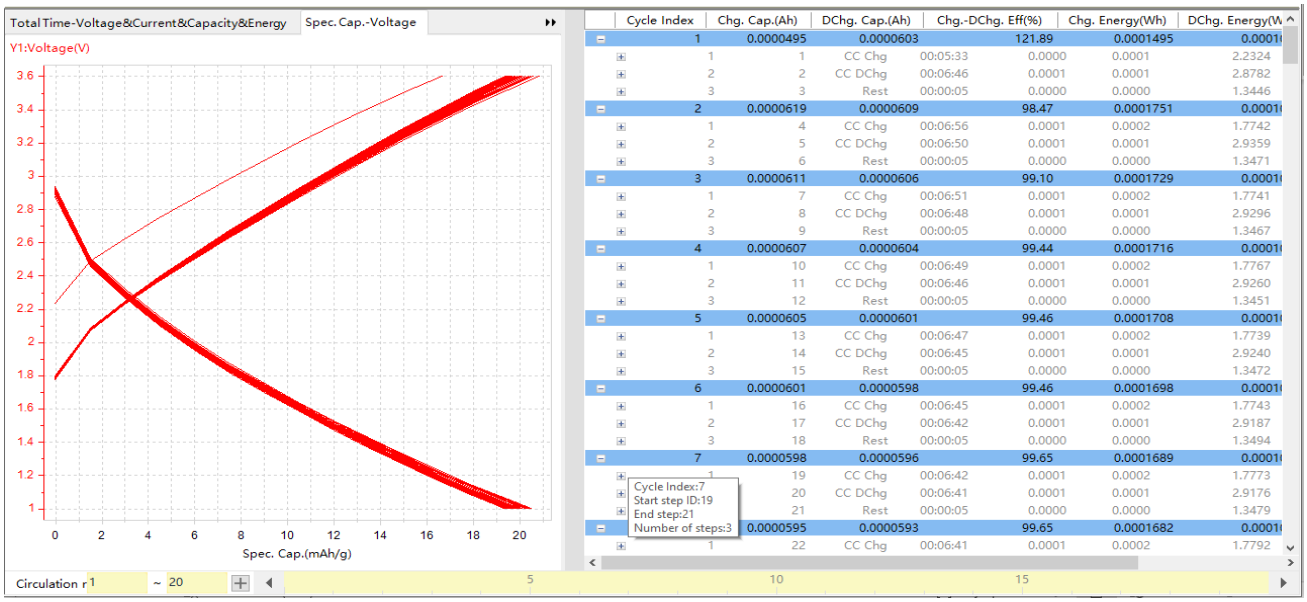
2. METODOLOGY. Poly (Vinylidene Difluoride) (PVDF) PVDF, a thermoplastic fluorinated polymer, this cathode material is considered to be one of the common binders for cathode and scientists usually use this binder. So, this binder for cathode and it should be slurry for the time of using. This binder has many chemical features that make it more useful, for example, electrochemical stability is good enough, inert binder that make acids and bases, mechanical features are good, not low thermal expansion rate and many other features enhance its usage. However, everything has its own disadvantages and PVDF has some drawbacks that have to address them. Firstly, PVDF is not eco-friendly and recycling it is more difficult in comparison with other binders. Secondly, this binder is not cheaper and more toxic, people who work with PVDF should wear gloves and masks. During the producing, solvents are used to be ready PVDF, they are N-Methyl-2-pyrrolidone (NMP), or dimethylformamide (DMF), according to their chemical features, both solvents damage the environment. This binder is used to prepare LIBs but its usage in sodium batteries is showed negative results. Today`s modern batteries should work in high temperatures and should not be heavy. So, using PVDF in batteries is worsen these features. According to my view, using PVDF is not eco-friendly and cost effective, therefore we have to find an alternative was of preparing cathode material.

Polytetrafluoroethylene (PTFE). This chemical compound is known its environment friendly features as both environment and people never get harm by using this cathode binder. Most cathode binders are based on slurry preparation that should be liquid based slurry, but PTFE is mix dried way. There are several chemical features that make PTFE more complicated that other binders. Firstly, it involves high chemical resistance and hydrophobicity, as well as the temperature range is wide that

other cathode binders. Apart from these, a wide temperature range, insulation properties, UV resistance, weather resistance, a low friction coefficient, fracture and flexural resistance, fire resistance, and minimal water absorption features are very useful to make batteries. Having these features result from its molecular weight and unbranched structure, bonding C-F energy is strong (485 kJ mol-1). One drawback of using PTFE is its capacity loss in carbon electrodes, however, positive features make it a better binder compared with PVDF [10].

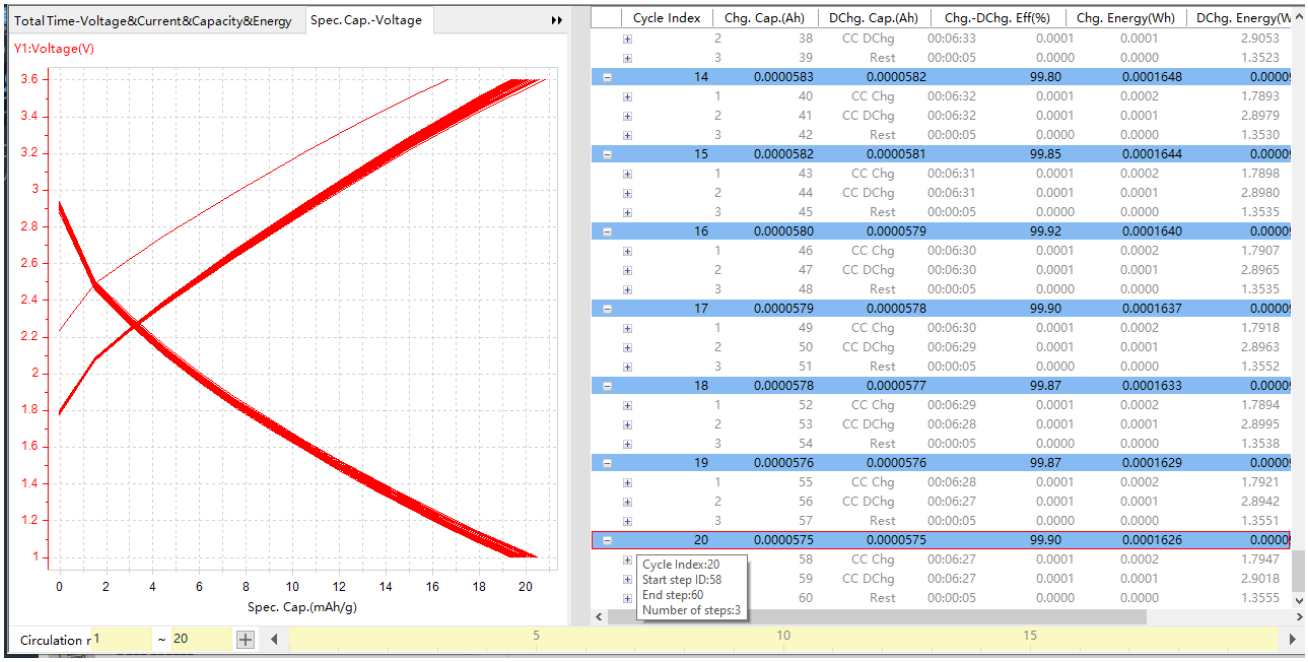
3. EXPERIMENTAL PART. The process of preparing cathode material with PTFE for SI batteries is totally different in comparison with the process of cathode with PVDF. In the firs step of the process all chemical materials should be dried to avoid moisture because the battery should prepare argon atmosphere and if it prepares in room atmosphere the moisture of the air effects active material, as a result the battery can not work properly. With the help of reactor active material was dried in 190 ℃ and it usually takes for 5 hours. After all materials were crushed one by one, following this active material and carbon nanotube are crushed again for 1 hour. In the next step, PTFE was added to the mixture and crushed again in 1 hour. After that, the ready cathode was pressed onto an aluminum foil sheet, and dried for 2 hours at 80-90 ℃. In the final stage circular cathode electrodes with a diameter of 15 mm were produced by punching and their electrochemical performance was tested in detachable coin cells. The weight of the active material was 2.968 mg. Detachable coin cell preparation was done in special glow-box in argon atmosphere. In the start of the process all air in the glow-box was sucked with the help of vacuum compressor and then argon gas was entered it, so this method was done 3 times to avoid moisture of the air. And then, all equipment was cleaned with the help of alcohol to maximize the working ability of battery. Following this, ready anode material was used to start preparing coin-cell. On top of the anode, separator, and electrolyte, our cathode material was put and closed the detachable coin. Testing the detachable coin-cell was carried on “Chem-Tech laboratory” in Fergana state technical university.

Table 1.



4. RESULTS AND DISCUSSION. As we can see from this data, using PTFE in the preparation of cathode material is much more effective. Active material weight is 2.968 mg and more than 20 cycles can be reached during the testing with Neware tester. According to data of the table 1, multiple charge and discharge cycles are presented. In cycle 1 to 7, we can see charging capacity was improved slightly from 0.000495 Ah to about 0.000595 Ah while the discharge capacity shows these results (0.000603 Ah to 0.000593 Ah), indicating stable capacity retention. Minimal losses were seen in reversible electrochemical reactions with high performing, so the table presents that the coulombic efficiency ranges from 98.47% to 99.65%. Charge energy values remained the same around 0.00168–0.00175 Wh, while discharge energy is consistently close, showing good energy efficiency (0.0001026-0.0001014).

Table 2.



If we look at the cycles 17 to 20 in table 2, charge and discharge energy efficiencies are the same proportion 99.90%. However, charging capacity was decreased slightly from 0.0000579 to 0.0000575 but enough to work properly. Discharge capacity was also decreased 0.0000578 to 0.0000575 respectively. Charge and discharge energy values remained the same in the cycles 17-20, showing good energy efficiency. Overall, the data confirms that the system exhibits reliable performance with high efficiency and stable energy storage behavior over repeated cycles.

CONCLUSION: In this scientific research, one of the important part of energy storage batteries is analyses polyvinylidene fluoride (PVDF) and polytetrafluoroethylene (PTFE). In today`s global demand for energy storage systems is high and it will be forecasted by many professionals that near the future this demand will double. By considering all these consumptions, we can conclude that new effective batteries should be developed, and in this way PVDF binder is the first and most important binder for secondary batteries, all tested showed that not only effective but also environment-friendly and not damage to people when it used in harsh environments. By utilizing this binder, we can improve the quality of secondary batteries. During the testing, PTFE showed high thermal stability, very low surface energy and great inertness. I and my team believe that, in the future PVDF will be the most common used binder due to its advantages.

References

[1]. Luise Maria Bloi, Jonas Pampel, Susanne Dörfler, Holger Althues, and Stefan Kaskel*
[2]. Farrux Shokirjonovich Hakimov a,* Shoxida Sherzodovna Hamdamova Zohidbek Abdusamadovich Xamrakulov , , , Oytura Sitdikovna Maksumov
[3]. Y.Zang, Oltingugurtlangan poliakrilonitril katod va gelga asoslangan batareya.Elektrolit, tayyorlash usuli va uni qo'llash CN115863775A, 2022.
[4]. Muskan Srivaskava, Anil Kumar va Karim Zaghib
[5]. COP28 UAE. Available online: https://www.cop28.com/en/ (accessed on 8 April 2024).
[6]. *https://yandex.ru/images/search?from=tabbar&img_url=https%3A%2F%2Fecomento.de%2Fwpcontent%2Fuploads%2F2022%2F04%2FRoland_Berger_Lithium* .
[7]. Lei Wang , Tao Wang , Lele Peng , Yiliu Wang , Meng Zhang , Jian Zhou , Maoxin Chen , Jinhui Cao , Huilong Fei , Xidong Duan ,Jian Zhu , Xiangfeng Duan. https://doi.org/10.1093/nsr/nwab050
[8]. .Yanjie Wang1,†, Yingjie Zhang1,†, Hongyu Cheng2, Zhicong Ni1, YingWang1,3,Guanghui Xia1, Xue Li1,* and Xiaoyuan Zeng1,
[9]. Luise Maria Bloi, Jonas Pampel, Susanne Dörfler, Holger Althues, and Stefan Kaskel*, https://doi.org/10.1002/aenm.201903245.
[10]. Muskan Srivaskava, Anil Kumar va Karim Zaghib, https://doi.org/10.3390/batteries10080268

THE SIGNIFICANCE OF METROLOGICAL SUPPORT FOR LABORATORY ANALYSIS AND FUNCTIONAL DIAGNOSTIC METHODS IN MODERN MEDICINE

A. Mamatov

Fergana State Technical University,
e-mail: akmaljon9790011@gmail.com ORCID: 0009-0007-2148-8702
(Received on February 10 th, 2026)

Abstract: *This article analyzes the crucial role of metrological support for laboratory and functional diagnostic equipment in ensuring diagnostic quality and patient safety in modern medicine. Key metrological concepts such as measurement uncertainty, calibration, traceability, and quality control are examined in detail. The importance of compliance with international standards like ISO 15189 is emphasized, and practical recommendations for reducing measurement errors and improving diagnostic reliability are provided. The study demonstrates that metrological support is an integral component of quality healthcare delivery, directly impacting patient outcomes through improved accuracy and reliability of diagnostic results.*

Keywords: *metrology, medical diagnostics, measurement uncertainty, calibration, quality control, ISO 15189, diagnostic error, laboratory equipment.*

Аннотация: *В данной статье анализируется ключевая роль метрологического обеспечения лабораторного и функционально-диагностического оборудования в обеспечении качества диагностики и безопасности пациентов в современной медицине. Рассмотрены основные метрологические концепции, такие как неопределенность измерений, калибровка, прослеживаемость и контроль качества. Подчеркивается важность соответствия международным стандартам, таким как ISO 15189, и представлены практические рекомендации по снижению погрешностей измерений и повышению надежности диагностики. Исследование демонстрирует, что метрологическое обеспечение является неотъемлемым компонентом качественного оказания медицинской помощи, непосредственно влияющим на результаты лечения пациентов.*

Ключевые слова: *метрология, медицинская диагностика, неопределенность измерений, калибровка, контроль качества, ISO 15189, диагностическая ошибка, лабораторное оборудование.*

Annotatsiya: *Ushbu maqolada zamonaviy tibbiyotda diagnostika sifati va bemorlar xavfsizligini ta'minlashda laborator va funksional diagnostika uskunalarining metrologik ta'minotining muhim roli tahlil qilingan. O'lchash noaniqligi, kalibrlash, kuzatuvchanlik va sifat nazorati kabi asosiy metrologik tushunchalar ko'rib chiqilgan. ISO 15189 kabi xalqaro standartlarga muvofiqlikning ahamiyati, shuningdek, o'lchash xatoliklarini kamaytirish va diagnostika ishonchliligini oshirishga qaratilgan amaliy tavsiyalar taqdim etilgan. Tadqiqot metrologik ta'minlash sifatli tibbiy xizmat ko'rsatishning ajralmas tarkibiy qismi ekanligini va bemorlarning davolanish natijalariga bevosita ta'sir ko'rsatishini namoyish etadi.*

Kalit so'zlar: *metrologiya, tibbiy diagnostika, o'lchash noaniqligi, kalibrlash, sifat nazorati, ISO 15189, diagnostik xato, laboratoriya uskunalari.*

I. INTRODUCTION

Modern medicine relies heavily on high-tech equipment and complex analytical methods to deliver accurate diagnoses and effective treatments. Diagnostic errors can lead to serious consequences for patients, including delayed treatment, inappropriate interventions, and increased healthcare costs [1, 9]. According to recent studies by Singh et al. (2015) and Balogh et al. (2015), diagnostic errors affect approximately 12 million adults in the United States each year, with significant implications for patient safety and healthcare quality [6, 7]. These alarming statistics underscore the critical importance of ensuring the accuracy and reliability of laboratory analyses and functional diagnostic results as a priority task for the healthcare system. Metrology, the science of measurement, occupies a central position in addressing this challenge. Metrological support encompasses a comprehensive set of processes designed to guarantee the reliability of measurements obtained by medical instruments and diagnostic equipment. This includes calibration procedures, measurement uncertainty estimation, traceability chains, and quality control protocols that collectively ensure diagnostic results meet established standards of accuracy and precision [2, 10]. The integration of metrological principles into medical practice represents a fundamental shift

toward evidence-based healthcare delivery, where treatment decisions are supported by quantitatively validated diagnostic data.

The purpose of this research is to analyze the significance of metrological control in medical diagnostics, identify current problems and challenges in implementing metrological standards, and develop scientifically grounded recommendations for improving the metrological support system in healthcare institutions. This study addresses the gap between theoretical metrological requirements and practical implementation in clinical settings, providing actionable guidance for healthcare professionals and laboratory managers seeking to enhance diagnostic quality through improved metrological practices.

II. METHODS AND MATERIALS

The research employed systematic analysis and comparative evaluation methods to examine the role of metrological support in medical diagnostics. Particular attention was focused on measurement uncertainty (MU), total allowable error (TEa), and metrological traceability concepts, which form the theoretical foundation for understanding measurement quality in clinical laboratories. These concepts were analyzed in the context of their practical applications across different diagnostic modalities, including biochemical analyzers, hematology systems, and functional diagnostic equipment.

Materials used in this study included international standards such as ISO 15189:2022 "Medical laboratories - Requirements for quality and competence" and ISO/IEC 17025 "General requirements for the competence of testing and calibration laboratories" [4, 11]. Scientific articles published in peer-reviewed journals [1, 3, 5, 8] and practical guidelines from professional organizations served as additional sources of information. The "top-down" approach for measurement uncertainty estimation was analyzed, which considers calibration uncertainty (u_cal), within-laboratory reproducibility (u_Rw), and systematic error (u_bias) components in its calculation.

The combined standard measurement uncertainty is calculated using the following formula:

$$uresult = \sqrt{ucal^2 + uRw^2 + ubias^2} \quad (1)$$

Additionally, calibration methods for various diagnostic equipment, such as biochemical analyzers and ECG machines, were comparatively analyzed. The study examined the relationship between analytical performance specifications and clinical requirements, considering how measurement quality impacts diagnostic decision-making across different clinical scenarios. Quality indicators were evaluated against both regulatory requirements (CLIA '88) and performance goals based on biological variation, providing a comprehensive framework for assessing metrological adequacy in clinical laboratory practice.

Table 1. Comparative analysis of calibration methods for diagnostic equipment

Equipment Type	Calibration Method	Main Parameters	Advantages
Biochemical Analyzer	Two-point Calibration	Concentration, Optical Density	Linearity Assessment, Accuracy
ECG Machine	Standard 1 mV Signal	Voltage (10 mm = 1 mV), Time	Signal Accuracy Assurance
Blood Gas Analyzer	Multi-point Calibration	pH, pCO2, pO2	Wide Dynamic Range

Studies show that measurement result quality is influenced by accuracy, trueness, and precision [1]. The ISO 15189 standard requires uncertainty estimation for each measurement process [4]. This enables confirmation of result reliability and provides a quantitative basis for interpreting diagnostic data in clinical decision-making.

III. RESULTS AND DISCUSSION

The analysis revealed that measurement uncertainty estimation based on biological variation-derived total allowable error (TEa) boundaries is widely used in clinical laboratory practice. The relationship between systematic error (bias), measurement imprecision, and total error can be expressed by the following formula:

$$TEa = |Bias| + k \times SD \quad (2)$$

Where: Bias represents systematic error; k is the coverage coefficient (typically 1.65 or 2.0); and SD is the standard deviation. This model provides a practical framework for setting analytical performance goals that directly relate to clinical requirements.

Table 2. Comparison of TEa limits according to CLIA '88 and biological variation

Analyte	CLIA '88	Biological Variation (Desirable)
Glucose	±10% or 6 mg/dL	≤5.6%
Cholesterol	±10%	≤6.1%
Potassium	±0.5 mmol/L	≤5.2%
Sodium	±4 mmol/L	≤0.9%
Hemoglobin	±7% or 0.3 g/dL	≤3.5%

The analysis showed that for some analytes, achieving TEa boundaries based on biological variation presents significant challenges [12]. For example, sodium and hemoglobin have biological variation-based targets that are considerably more stringent than CLIA requirements, demanding higher analytical performance from laboratory equipment and methods. This necessitates manufacturers to improve instrument analytical characteristics and laboratories to implement more rigorous quality control procedures. The gap between regulatory requirements and optimal performance goals represents both a challenge and an opportunity for quality improvement in clinical diagnostics.

Metrological traceability, defined as the ability to relate measurement results to international standards through an unbroken chain of calibrations, is the foundation for ensuring result comparability across different laboratories and over time [9, 10]. The implementation of traceability chains requires systematic documentation of each calibration step, including uncertainty contributions at each level. This enables laboratories to demonstrate the validity of their results and supports harmonization of diagnostic data across healthcare systems. Without adequate traceability, diagnostic results may vary significantly between laboratories, potentially leading to inconsistent patient care and misdiagnosis.

The study also identified several key challenges in implementing metrological support in medical laboratories. These include insufficient staff training in metrology principles, inadequate documentation of calibration procedures, and limited access to certified reference materials. Furthermore, the complexity of modern diagnostic equipment and the rapid pace of technological advancement create ongoing challenges for maintaining metrological competence. Addressing these issues requires a systematic approach to education, infrastructure development, and continuous quality improvement that aligns with international best practices and regulatory requirements.

IV. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

In medical diagnostics, measurement accuracy is the foundation of patient safety. Metrological support provides a systematic approach to guaranteeing this quality. Measurement uncertainty estimation, calibration control, and metrological traceability implementation can significantly

reduce diagnostic errors [1, 10]. The integration of metrological principles into routine laboratory practice creates a framework for continuous quality improvement that directly benefits patient care through more reliable diagnostic information.

Based on the analysis conducted, the following recommendations are proposed to enhance metrological support in medical diagnostics:

1. Standardization: Ensure all medical laboratories comply with ISO 15189:2022 requirements, particularly regarding measurement uncertainty estimation and traceability documentation [4]. This includes establishing written procedures for all metrological activities and maintaining comprehensive records that demonstrate ongoing compliance with international standards.
2. Calibration Improvement: Follow manufacturer guidelines, use certified calibrators, and implement two-point or multi-point calibration where appropriate [2, 3]. Regular verification of calibration status and prompt corrective action when deviations are detected should be integral components of the laboratory quality management system.
3. Quality Control: While calibration establishes accuracy, quality control (QC) verifies its maintenance. The use of independent "third-party" control materials is recommended [3]. Implementation of Westgard rules and participation in external quality assessment schemes provide additional assurance of analytical performance and enable benchmarking against peer laboratories.
4. Personnel Competency: Organize regular training on metrology fundamentals for medical personnel, including theoretical foundations and practical applications [8]. Competency assessment programs should evaluate both knowledge and skills, with documented evidence of training completion and ongoing professional development activities.

In conclusion, the deep integration of metrology into medical practice is an indispensable condition for providing quality and safe healthcare services. The systematic application of metrological principles not only improves diagnostic accuracy but also enhances patient safety, reduces healthcare costs associated with diagnostic errors, and supports evidence-based medical decision-making. Healthcare institutions that prioritize metrological support are better positioned to deliver reliable diagnostic services that meet the expectations of patients, clinicians, and regulatory authorities.

References

[1] Squara P., Imhoff M., Cecconi M. (2014). Metrology in medicine: from measurements to decision, with specific reference to anesthesia and intensive care. *Crit Care*, 18(6), 673. DOI: 10.1186/s13054-014-0673-9

[2] Aelabgroup.com. (2025). Best Practices for Effective Calibration of Biochemistry Analyzers. Available at: https://www.aelabgroup.com

[3] Sonntag O. (2023). Calibration – an under-appreciated component in the analytical process of the medical laboratories. *J Lab Med*, 47(5), 225-230. DOI: 10.1515/almed-2023-0127

[4] ISO 15189:2022. Medical laboratories — Requirements for quality and competence. International Organization for Standardization. Available at: https://www.iso.org/standard/76677.html

[5] Ansermino J.M., Dumont G.A., Ginsburg A.S. (2023). Measurement Uncertainty in Clinical Validation Studies of Sensors. *Sensors*, 23(6), 2900. DOI: 10.3390/s23062900

[6] Singh H., Meyer A.N.D., Thomas E.J. (2014). The frequency of diagnostic errors in outpatient care: estimations from three large observational studies involving US adult populations. *BMJ Quality & Safety*, 23(9), 727-731. DOI: 10.1136/bmjqs-2013-002627

[7] Balogh E.P., Miller B.T., Ball J.R. (2015). *Improving Diagnosis in Health Care*. Washington, DC: National Academies Press. DOI: 10.17226/21794

[8] Farfán-Vargas H.M., Espinoza-Morriberon D., Castañeda-Villanueva A. (2024). Systematic review on the implementation of metrological assurance systems for medical devices in Latin America. *Front. Med.*, 11, 1281199. DOI: 10.3389/fmed.2024.1281199

[9] Tsimillis K. (2015). Metrological requirements for accredited laboratories. *EPJ Web of Conferences*, 106, 06001. DOI: 10.1051/epjconf/201510606001

[10] NIST. (n.d.). Metrological Traceability. National Institute of Standards and Technology. Available at: https://www.nist.gov/traceability

[11] Wadhwa N., Bhat K., Kalsi M., Sadhu T. (2025). Evaluation of Measurement Uncertainty in Clinical Chemistry and its Comparison With Analytical Performance Specifications. *Cureus*, 17(2), e79043. DOI: 10.7759/cureus.79043

[12] Palmer J., Galior K. (2024). Defining allowable total error limits in the clinical laboratory. *Advances in Clinical Chemistry*, 118, 205-223. DOI: 10.1016/bs.acc.2023.10.001

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАРКЕТИНГА И СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В КОНТЕКСТЕ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО РЫНКА ТРУДА

М.М. Рустамова

Ферганский государственный технический университет
e-mail: M.Rustamova1005@gmail.com
(Получена 22.02.2026 г.)

Аннотация. *Современная керамическая промышленность сталкивается с рядом вызовов, связанных с трансформацией рынка труда, изменением потребительских предпочтений и усилением конкуренции. В этих условиях совершенствование маркетинга и системы обеспечения становится критически важным для повышения эффективности предприятий и укрепления их рыночных позиций.*

Ключевые слова: *маркетинг, управление обеспечением, керамическая промышленность, рынок труда, цифровизация, инновационные подходы, клиенториентированные стратегии, оптимизация бизнес-процессов, управление продажами, конкурентоспособность*

Annotatsiya. *Zamonaviy keramika sanoati mehnat bozorining o‘garishi, iste‘molchilarning afzalliklarining o‘zgarishi va raqobatning kuchayishi bilan bog‘liq bir qator muammolarga duch kelmoqda. Bunday sharoitda marketing va ta‘minot tizimlarini takomillashtirish kompaniyalar samaradorligini oshirish va ularning bozordagi mavqeini mustahkamlash uchun juda muhim ahamiyat kasb etmoqda.*

Tayanch so‘zlar: *marketing, ta‘minot zanjiri boshqaruvi, keramika sanoati, mehnat bozori, raqamlashtirish, innovatsion yondashuvlar, mijozga yo‘naltirilgan strategiyalar, biznes jarayonlarini optimallashtirish, savdo boshqaruvi, raqobatbardoshlik*

Abstract. *The modern ceramics industry faces a number of challenges related to the transformation of the labor market, changing consumer preferences, and intensifying competition. Under these conditions, improving marketing and procurement systems is becoming critical to increasing the efficiency of companies and strengthening their market position.*

Key words: *marketing, supply chain management, ceramic industry, labor market, digitalization, innovative approaches, customer-oriented strategies, business process optimization, sales management, competitiveness.*

I.Введение: Современная керамическая промышленность играет важную роль в развитии строительного сектора и формировании материально-технической базы страны. Однако динамичные изменения на рынке труда, трансформация потребительских предпочтений и усиливающаяся конкуренция создают новые вызовы для предприятий отрасли. В этих условиях эффективное управление маркетингом и системой обеспечения становится ключевым фактором повышения конкурентоспособности и устойчивости бизнеса.

Трансформация рынка труда влияет не только на кадровый состав предприятий, но и на организацию производственных и сбытовых процессов. Рост требований к цифровым компетенциям, появление новых профессий и расширение функций существующих специалистов требуют пересмотра методов управления снабжением, оптимизации запасов и внедрения инновационных маркетинговых инструментов. Эффективное сочетание этих элементов позволяет компаниям более гибко реагировать на колебания спроса, снижать операционные издержки и повышать качество обслуживания клиентов.

Несмотря на наличие опыта в области маркетинга и логистики, в отечественной литературе отмечается недостаточная разработанность комплексных подходов к интеграции систем обеспечения и маркетинговых стратегий с учетом изменений на рынке труда. Это определяет актуальность исследования, направленного на выявление современных методов организации снабжения и продвижения продукции, способствующих повышению эффективности предприятий керамической промышленности.

Цель данной статьи заключается в анализе существующих практик маркетинга и системы обеспечения, выявлении проблем и возможностей их совершенствования, а также разработке рекомендаций по внедрению инновационных подходов в условиях трансформации рынка труда. Реализация предложенных мер позволит предприятиям керамической отрасли повысить адаптивность, улучшить управление ресурсами и укрепить позиции на рынке.

II.Методология исследования: Исследование построено на комплексном использовании теоретических и эмпирических методов, направленных на изучение современного состояния маркетинга и системы обеспечения предприятий керамической промышленности в условиях трансформации рынка труда. Методология исследования включает несколько взаимодополняющих подходов:

системный подход использовался для рассмотрения маркетинговой деятельности и процессов обеспечения как взаимосвязанных компонентов производственно-коммерческой системы. Это позволило выявить взаимное влияние изменений на рынке труда и внутренних бизнес-процессов предприятия.

анализ финансово-логистических показателей включал изучение структуры закупок, управления запасами, себестоимости продукции и объемов продаж. Количественные данные позволили определить эффективность существующих процессов снабжения и маркетинга, выявить узкие места и оценить потенциал оптимизации.

функционально-структурный анализ применялся для изучения организации работы отделов закупок, логистики и маркетинга. Анализ процессов позволил выявить недостатки в распределении ресурсов, возможности для внедрения инноваций и повышения оперативности принятия решений.

сравнительный анализ проводился с учетом опыта аналогичных предприятий керамической отрасли в Узбекистане и зарубежных практик. Этот метод позволил определить передовые решения в управлении снабжением и маркетингом, подходящие для адаптации в отечественных условиях.

экспертная оценка включала интервью и опросы руководителей и специалистов отделов маркетинга, снабжения и производства. Целью было выявление текущих проблем, потенциальных рисков и возможностей внедрения инновационных методов.

Использование цифровых инструментов аналитики позволило моделировать сценарии спроса, оптимизировать уровни запасов и оценить эффективность различных стратегий маркетинга. Применялись методы прогнозирования, анализа клиентских данных и планирования цепочек поставок.

Комплексное применение качественных и количественных методов исследования обеспечило всесторонний анализ проблем совершенствования маркетинга и системы обеспечения, а также позволило сформулировать рекомендации по внедрению инновационных решений, учитывающих изменения на современном рынке труда.

III.Результаты исследования: Проведённое исследование позволило выявить ключевые тенденции, проблемы и возможности совершенствования маркетинга и системы обеспечения предприятий керамической промышленности в условиях трансформации рынка труда.

Состояние системы обеспечения: анализ процессов закупок и управления запасами показал, что на многих предприятиях керамической отрасли применяются традиционные методы, характеризующиеся низкой прозрачностью и ограниченной оперативностью. Это приводит к накоплению избыточных запасов, задержкам в снабжении и увеличению себестоимости продукции. Внедрение цифровых платформ и автоматизированных систем планирования закупок позволяет повысить точность прогнозирования потребностей, оптимизировать складские запасы и снизить операционные издержки.

Результаты анализа показали ограниченное использование цифровых инструментов и аналитических платформ для продвижения продукции и прогнозирования спроса. Предприятия преимущественно опираются на традиционные методы рекламы и прямые

продажи, что снижает гибкость реагирования на изменения потребительских предпочтений. Внедрение CRM-систем, инструментов цифровой аналитики и многоканальных стратегий продвижения продукции способствует улучшению точности маркетинговых решений и повышению лояльности клиентов.

Трансформация рынка труда с ростом требований к цифровым компетенциям, появлением новых профессий и изменением структуры кадров оказывает прямое влияние на эффективность работы предприятий. Недостаток квалифицированных специалистов в области маркетинга, логистики и цифровой аналитики ограничивает возможности внедрения инновационных решений и замедляет адаптацию к изменениям на рынке.

Исследование показало, что наибольшая эффективность достигается при комплексной интеграции процессов снабжения и маркетинга. Синхронизация закупок, планирования производства и стратегий продвижения продукции позволяет быстрее реагировать на колебания спроса, снижать издержки и повышать конкурентоспособность предприятий.

Предприятия, применяющие цифровые платформы для управления запасами и маркетинговой аналитики, продемонстрировали снижение расходов на 10–15% и увеличение точности прогнозирования спроса. Это подтверждает, что инновационные подходы не только повышают эффективность бизнес-процессов, но и способствуют устойчивому развитию предприятия в условиях современного рынка труда.

Таким образом, результаты исследования подчеркивают необходимость внедрения инновационных методов управления маркетингом и системой обеспечения, цифровизации процессов и развития кадрового потенциала, что является ключевым фактором повышения конкурентоспособности предприятий керамической промышленности.

IV.Обсуждение: Анализ результатов исследования свидетельствует о том, что трансформация рынка труда оказывает значительное влияние на организацию маркетинга и системы обеспечения предприятий керамической промышленности. Изменения в квалификации сотрудников, рост требований к цифровым компетенциям и появление новых профессиональных ролей создают как вызовы, так и возможности для повышения эффективности бизнес-процессов.

Выявлено, что традиционные методы управления снабжением и маркетингом оказываются недостаточно гибкими в условиях динамичных изменений спроса. Ручное планирование закупок и ограниченное использование аналитических инструментов приводят к увеличению издержек и снижению скорости реакции на рыночные колебания. Внедрение цифровых платформ, автоматизированных систем планирования и инструментов прогнозирования позволяет повысить точность управления запасами, оптимизировать закупки и улучшить согласованность бизнес-процессов.

Маркетинговая деятельность предприятий керамической отрасли требует интеграции с современными цифровыми технологиями. Использование многоканальных стратегий продвижения, CRM-систем и инструментов аналитики клиентских данных обеспечивает более точное прогнозирование спроса, улучшает взаимодействие с потребителями и повышает уровень лояльности. Применение инновационных маркетинговых решений особенно важно в условиях растущей конкуренции и изменения потребительских предпочтений.

Комплексная интеграция процессов маркетинга и обеспечения является ключевым фактором повышения эффективности. Синхронизация закупок, производства и продвижения продукции позволяет оптимизировать ресурсы, снизить операционные издержки и повысить скорость адаптации к изменениям на рынке. Практика показывает, что предприятия, внедрившие такие интегрированные подходы, демонстрируют улучшение финансовых и операционных показателей, а также повышение конкурентоспособности на рынке.

Кроме того, исследования показали, что успешное внедрение инноваций невозможно без развития кадрового потенциала. Недостаток специалистов с навыками цифровой аналитики, логистики и маркетинга ограничивает возможности автоматизации и

модернизации процессов. Это подчеркивает необходимость постоянного обучения персонала, программ переквалификации и внедрения корпоративных стандартов цифровых компетенций.

Таким образом, обсуждение результатов исследования подтверждает, что совершенствование маркетинга и системы обеспечения предприятий керамической промышленности требует комплексного подхода. Интеграция цифровых технологий, оптимизация процессов и развитие кадрового потенциала являются взаимосвязанными элементами, которые обеспечивают устойчивость и конкурентоспособность бизнеса в условиях современного рынка труда.

V.Выводы и предложения: Исследование показало, что традиционные методы маркетинга и управления системой обеспечения на предприятиях керамической промышленности недостаточно эффективны в условиях трансформации рынка труда. Внедрение современных цифровых технологий и аналитических инструментов позволяет повысить гибкость и оперативность процессов.

Изменения в структуре занятости, рост требований к цифровым и аналитическим компетенциям, появление новых профессий оказывают прямое влияние на организацию закупок, производство и маркетинг. Предприятия, способные адаптироваться к новым требованиям, получают конкурентные преимущества.

Синхронизация закупок, производства и продвижения продукции позволяет оптимизировать ресурсы, сокращать издержки и повышать точность планирования продаж. Комплексный подход обеспечивает устойчивость и повышает конкурентоспособность предприятий.

Эффективность инновационных решений напрямую зависит от квалификации персонала. Недостаток специалистов с навыками цифровой аналитики, маркетинга и логистики ограничивает возможности модернизации процессов.

Эффективность цифровых инструментов: Внедрение CRM-систем, платформ для планирования запасов и инструментов аналитики спроса позволяет оптимизировать бизнес-процессы, повысить точность прогнозирования продаж и улучшить клиентский сервис.

Реализация предложенных мер позволит предприятиям керамической промышленности повысить адаптивность, оптимизировать процессы обеспечения и маркетинга, улучшить управление ресурсами и укрепить позиции на современном рынке труда.

Список литературы:

[1]. Абдуллаев А. А. Современные методы управления снабжением и запасами на промышленных предприятиях, Ташкент: “Иқтисодиёт”, 2022.
[2]. Бобоев Х. Х. Маркетинговая стратегия в промышленности: теория и практика, Ташкент: Фан, 2021.
[3]. Ходжаев М. М., Муродов А. А. Логистика и управление цепочками поставок в условиях цифровизации, Ташкент: “Иқтисодиёт”, 2023.
[4]. Каримов Б. Б. Инновационные подходы к управлению промышленными предприятиями, Ташкент: “Фан ва технология”, 2020.
[5]. Рахмонов И. И. Эффективность цифровых инструментов в управлении маркетингом и снабжением, Ташкент: НМИУ, 2023.

УПРАВЛЕНИЕ ОПЕРАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

З.Т. Зокирова

Ферганский государственный технический университет
(Получена 22.02.2026 г.)

Аннотация: *В статье рассматриваются современные подходы к управлению операционной деятельностью предприятий с применением информационных технологий. Особое внимание уделяется цифровизации процессов, автоматизации рабочих операций и использованию аналитических инструментов для повышения эффективности и снижения издержек.*

Ключевые слова: *операционная деятельность, информационные технологии, цифровизация процессов, автоматизация управления, ERP-системы, бизнес-аналитика (BI), эффективность предприятия, управленческие решения*

Annotatsiya: *Ushbu maqolada axborot texnologiyalaridan foydalangan holda korxona faoliyatini boshqarishning zamonaviy yondashuvlari ko'rib chiqiladi. Jarayonlarni raqamlashtirish, ish jarayonlarini avtomatlashtirish va samaradorlikni oshirish va xarajatlarni kamaytirish uchun analitik vositalardan foydalanishga alohida e'tibor qaratilgan.*

Tayanch so‘zlar: *operatsion faoliyat, axborot texnologiyalari, jarayonlarni raqamlashtirish, boshqaruvni avtomatlashtirish, ERP tizimlari, biznes-tahlil (BI), korxona samaradorligi, boshqaruv qarorlari*

Abstract: *This article examines modern approaches to managing enterprise operations using information technology. Particular attention is paid to the digitalization of processes, automation of workflows, and the use of analytical tools to improve efficiency and reduce costs.*

Key words: *operational activities, information technology, digitalization of processes, management automation, ERP systems, business analytics (BI), enterprise efficiency, management decisions*.

I.Введение: Современные организации функционируют в условиях высокой динамичности и конкуренции, что требует от них постоянного совершенствования процессов управления и повышения эффективности операционной деятельности. Одним из ключевых факторов обеспечения конкурентоспособности предприятия становится внедрение современных информационных технологий (ИТ), которые позволяют автоматизировать процессы, оптимизировать ресурсы и принимать управленческие решения на основе достоверных данных.

Современные ИТ-инструменты, такие как системы управления предприятием (ERP), системы бизнес-аналитики (BI), облачные сервисы и технологии обработки больших данных (Big Data), предоставляют возможности для интеграции и анализа информации в реальном времени. Это не только повышает скорость реагирования на изменения внешней среды, но и способствует снижению операционных затрат, улучшению качества продукции и услуг, а также укреплению стратегических позиций на рынке.

В данной статье рассматриваются подходы к управлению операционной деятельностью с использованием современных информационных технологий, анализируются их влияние на эффективность бизнес-процессов, а также оцениваются преимущества и риски внедрения таких решений в организационную практику. Особое внимание уделяется систематизации существующих методов и инструментов ИТ-поддержки, что позволяет формировать практические рекомендации для предприятий различных отраслей.

II.Методология исследования: Методологическая основа данного исследования формировалась с учетом целей и задач, направленных на изучение влияния современных информационных технологий на управление операционной деятельностью предприятий. Исследование носит комплексный характер и объединяет теоретические, эмпирические и аналитические подходы, что позволяет получить целостное представление о процессах внедрения ИТ и их эффективности.

На первом этапе проводится обзор научной литературы, отраслевых стандартов и практических рекомендаций по управлению операционной деятельностью и применению информационных технологий. Это позволяет выявить современные подходы к автоматизации процессов, определить ключевые технологии и системные решения, а также структурировать существующие методики оценки эффективности операционной деятельности.

Для получения практических данных используются методы опроса, интервью и анкетирования менеджеров предприятий различных отраслей. Данный этап направлен на

выявление уровня внедрения информационных технологий, их влияния на производительность и качество управленческих решений, а также на определение существующих проблем и барьеров в практическом применении ИТ.

Собранные данные обрабатываются с применением статистических методов, анализа бизнес-процессов и сравнительного анализа. Используются инструменты визуализации информации и показатели эффективности операционной деятельности, что позволяет выявить взаимосвязь между уровнем автоматизации процессов и результативностью предприятия.

На завершающем этапе исследуются возможности внедрения современных ИТ-решений с использованием моделей оптимизации процессов и прогнозирования производительности. Это позволяет оценить потенциальный эффект от интеграции информационных технологий и сформулировать практические рекомендации для повышения эффективности операционной деятельности.

Таким образом, сочетание теоретического анализа, эмпирических исследований, аналитических методов и моделирования обеспечивает всестороннее изучение исследуемой проблемы и позволяет сформировать обоснованные выводы о роли информационных технологий в управлении операционной деятельностью.

III.Результаты исследования: Проведённое исследование показало, что внедрение современных информационных технологий оказывает значительное влияние на эффективность операционной деятельности предприятий. Анализ данных, собранных в ходе опросов и интервью с менеджерами различных компаний, позволил выделить ключевые тенденции и выявить практические эффекты от применения ИТ-инструментов.

Результаты показали, что большинство предприятий используют комбинацию ERP-систем, BI-платформ и облачных сервисов для управления операционными процессами. Около 68% респондентов отметили, что внедрение таких решений позволило сократить время обработки информации и повысить точность планирования ресурсов.

Применение информационных технологий способствует автоматизации рутинных операций, снижению количества ошибок и ускорению производственных циклов. По данным исследования, предприятия, активно использующие ИТ-инструменты, демонстрируют увеличение производительности на 15–20% по сравнению с организациями, где внедрение технологий ограничено.

Использование систем бизнес-аналитики и инструментов визуализации данных позволяет менеджерам получать оперативные отчёты и прогнозы, что повышает качество стратегических и оперативных решений. Более 72% участников исследования отметили, что доступ к актуальной информации в режиме реального времени стал важным фактором повышения конкурентоспособности.

Несмотря на положительные эффекты, исследование выявило и ряд проблем. Среди них — высокие затраты на внедрение ИТ, необходимость обучения персонала и сложность интеграции новых систем с существующими процессами. При этом успешное преодоление этих барьеров напрямую связано с грамотным управлением проектами и поддержкой руководства.

На основании анализа данных можно сделать вывод, что современные информационные технологии являются ключевым инструментом повышения эффективности операционной деятельности. Их внедрение позволяет оптимизировать ресурсы, ускорять процессы, улучшать качество управления и повышать адаптивность предприятий к изменениям внешней среды.

Таким образом, результаты исследования подтверждают, что интеграция ИТ в операционное управление становится стратегическим фактором развития современных организаций и требует системного подхода как на уровне технологий, так и на уровне организационной культуры.

IV.Обсуждение: Анализ полученных данных свидетельствует о том, что внедрение современных информационных технологий значительно трансформирует управление

операционной деятельностью предприятий. Результаты исследования демонстрируют, что автоматизация процессов и использование аналитических инструментов позволяют не только повышать производительность, но и улучшать качество управленческих решений.

Одним из ключевых аспектов является интеграция ERP-систем и BI-платформ, которая обеспечивает централизованный доступ к данным и сокращает время на обработку информации. Это особенно важно для предприятий с распределёнными структурами, где своевременный обмен информацией влияет на эффективность всех бизнес-процессов. Данный результат согласуется с исследованиями, подтверждающими, что цифровизация операционной деятельности способствует снижению операционных затрат и увеличению адаптивности компаний к изменениям внешней среды.

В то же время выявленные ограничения, такие как высокая стоимость внедрения, необходимость подготовки персонала и трудности интеграции с существующими системами, подчеркивают, что технологические решения требуют комплексного подхода. Только синергия между технологиями, управленческими практиками и обучением сотрудников позволяет достигнуть устойчивого повышения эффективности.

Интересным наблюдением является то, что предприятия, активно использующие ИТ-инструменты, демонстрируют не только улучшение внутренних процессов, но и повышение качества взаимодействия с клиентами и партнёрами. Это подтверждает гипотезу о том, что цифровизация операционной деятельности напрямую влияет на конкурентоспособность и стратегическую устойчивость организации.

В целом, обсуждение результатов показывает, что современные информационные технологии являются не просто вспомогательным инструментом, а стратегическим фактором, обеспечивающим оптимизацию ресурсов, повышение прозрачности процессов и ускорение принятия управленческих решений. Однако успешное внедрение требует не только финансовых инвестиций, но и системного подхода к изменению организационной культуры и структуры управления.

V.Выводы и предложения: Проведённое исследование подтвердило, что внедрение современных информационных технологий оказывает существенное влияние на эффективность операционной деятельности предприятий. Использование ERP-систем, бизнес-аналитики, облачных сервисов и инструментов обработки больших данных способствует автоматизации процессов, снижению операционных затрат и повышению точности управленческих решений.

Цифровизация операционной деятельности позволяет предприятиям получать актуальную информацию в режиме реального времени, что повышает скорость реагирования на изменения внешней среды и улучшает планирование ресурсов.

Эффективное использование ИТ-инструментов напрямую связано с уровнем подготовки персонала, организационной структурой и поддержкой со стороны руководства. Недостаток компетенций или сопротивление изменениям могут снизить потенциальный эффект от внедрения технологий.

Компании, активно интегрирующие информационные технологии, демонстрируют улучшение производственных показателей, повышение качества обслуживания клиентов и укрепление конкурентных позиций на рынке.

Для успешного внедрения ИТ необходимо разрабатывать стратегию цифровизации, которая учитывает как технологические аспекты, так и организационные изменения, включая обучение сотрудников и адаптацию бизнес-процессов.

Рекомендуется использовать комплексные ИТ-решения, интегрирующие ERP, BI и системы управления производственными процессами, чтобы обеспечить централизованный контроль и аналитическую поддержку управленческих решений.

Необходимо регулярно оценивать эффективность внедрённых технологий с помощью KPI и показателей производительности, чтобы корректировать процессы и оптимизировать использование ресурсов.

Особое внимание следует уделять вопросам кибербезопасности и защите данных, поскольку расширение цифровых инструментов повышает уязвимость информационных систем предприятия.

Для повышения устойчивости организации к изменениям внешней среды рекомендуется внедрять инструменты прогнозирования и моделирования бизнес-процессов, что позволит оперативно адаптировать стратегию управления операционной деятельностью.

Таким образом, интеграция современных информационных технологий в операционное управление является ключевым фактором повышения эффективности, конкурентоспособности и адаптивности предприятий в условиях современного динамичного рынка.

Список литературы:

[1]. Хейзер Дж., Рендер Б., Мунсон К. Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management. 14-е изд. Pearson, 2021.
[2]. Рахмонов Б. Управление операционной деятельностью с использованием информационных технологий. Ташкент: Фан ва Технология, 2021.
[3]. Каримов О., Юсупов А. Современные ИТ-инструменты и оптимизация деятельности предприятия. Ташкент: Экономика и Менеджмент, 2022.
[4]. Абдуллаев С., Турсунов Ф. Цифровая трансформация и автоматизация бизнес-процессов. Ташкент: Университетский издательский центр, 2020.

CHARACTERISTIC FEATURES OF THE PHONEME AND METHODS OF PHONEMIC ANALYSIS

L.R. Teshebayeva

Fergana state technical university
e-mail: lolatesebaeva@gmail.com
ORCID: 0009-0004-0433-040x
(Received on March 10 th, 2026)

Abstract: *This article explores the characteristic features of the phoneme and the methods of phonemic analysis. It focuses on identifying phonemic and non-phonemic sound differences and establishing the phoneme system of a language. Special attention is given to the semantic method (commutation test and minimal pairs) and the distributional method (contrastive, complementary, and free variation). And it considers phonological oppositions (single, double, triple) and explains the distinction between phonemes and allophones, as well as their role in distinguishing meaning. It also reviews different linguistic approaches to the phoneme (mentalistic, functional, and physical) and highlights the contributions of major phonological schools.*

Key words: *phoneme; phonological analysis; distributional method; Phonological opposition; allophone; contrastive distribution; distinctive features; phonemic structure; linguistic schools; Functional aspect; Generative phonology.*

Аннотация: *В статье рассматриваются характерные особенности фонемы и методы фонемного анализа. Основное внимание уделяется выявлению фонемных и нефонемных различий звуков и установлению системы фонем языка. Особое внимание уделяется семантическому методу (тест комутации и минимальные пары) и дистрибуционному методу (контрастное, дополнительное и свободное распределение). Также анализируются фонологические оппозиции (одиночные, двойные, тройные) и объясняется различие между фонемами и аллофонами, а также их роль в различении значений. Рассматриваются различные лингвистические подходы к фонеме (менталистский, функциональный и физический) и подчеркиваются достижения основных фонологических школ.*

Ключевые слова: *фонема; фонологический анализ; дистрибуционный метод; фонологическая оппозиция; аллофон; контрастное распределение; дистинктивные признаки; фонемная структура; лингвистические школы; функциональный аспект; генеративная фонология.*

Annotatsiya: *Ushbu maqolada fonema xususiyatlari va fonematik tahlil usullari ko‘rib chiqilgan. Asosiy e’tibor fonematik va fonematik bo‘lmagan tovush farqlarini aniqlash hamda tilning fonema tizimini belgilashga qaratilgan. Maxsus e’tibor semantik usulga (kommutatsiya testi va minimal juftliklar) va*

taqsimot usuliga (kontrastli, komplementar va erkin taqsimot) qaratilgan. Shuningdek, fonologik qarama-qarshiliklar (yagona, juft, uchlik) tahlil qilinadi va fonemalar va allofoonlar o‘rtasidagi farq, shuningdek ularning ma’no ajratishda roli tushuntiriladi. Shuningdek, fonemaga turli lingvistik yondashuvlar (mentalistik, funksional va fizik) ko‘rib chiqiladi va asosiy fonologik maktablarning hissasi ta’kidlanadi.

Kalit so‘zlar: *fonema; fonologik tahlil; taqsimot usuli; fonologik qarama-qarshilik; allofoon; kontrastli taqsimot; ajratuvchi xususiyatlar; fonematik tuzilma; lingvistik maktablar; funksional aspekt; generativ fonologiya.*

The aim of the phonological analysis is, firstly, to determine which differences of sounds are phonemic and which are non-phonemic and, secondly, to find the inventory of phonemes of the language.

As it was mentioned above, phonology has its own methods of investigation. Semantic method is applied for phonological analysis of both unknown languages and languages already described. The method is based on a phonemic rule that phonemes can distinguish words and morphemes when opposed to one another. It consists in systematic substitution of one sound for another in order to find out in which cases where the phonetic context remains the same such replacing leads to a change of meaning. This procedure is called the commutation test. It consists in finding minimal pairs of words and their grammatical forms. For example:

pen [pen] gain [gein] ten [ten]
Ben [ben] cane [kein] den[den]

Minimal pairs are useful for establishing the phonemes of the language. Thus, a phoneme can only perform its distinctive function if it is opposed to another phoneme in the same position. Such an opposition is called phonological. Let us consider the classification of phonological oppositions worked out by N.S. Trubetzkoy **[7]**. It is based on the number of distinctive articulatory features underlying the opposition.

1. If the opposition is based on a single difference in the articulation of two speech sounds, it is a single phonological opposition, e.g. [p]-[t], as in [pen]-[ten]; bilabial vs. forelingual, all the other features are the same.
2. If the sounds in distinctive opposition have two differences in their articulation, the opposition is double one, or a sum of two single oppositions, e.g. [p]-[d], as in [pen]-[den], 1) bilabial vs. forelingual 2) voiceless-fortis vs. voiced-lenis
3. If there are three articulatory differences, the opposition is triple one, or a sum of three single oppositions, e.g. [p]- [ð], as in [pei]-[ðei]: 1) bilabial vs. forelingual, 2) occlusive vs. constrictive, 3) voiceless-fortis vs. voiced-lenis.

American descriptivists, whose most zealous representative is, perhaps, Zellig Harris, declare the distributional method to be the only scientific one. At the same time they declare the semantic method unscientific because they consider recourse to meaning external to linguistics**[9]**. Descriptivists consider the phonemic analysis in terms of distribution. They consider it possible to discover the phonemes of a language by the rigid application of a distributional method. It means to group all the sounds pronounced by native speakers into phoneme according to the laws of phonemic and allophonic distribution:

1. Allophones of different phonemes occur in the same phonetic context. In this case their distribution is contrastive.
2. Allophones of the same phoneme(s) never occur in the same phonetic context. In this case their distribution is complementary.

There is, however, a third possibility, namely, that the sounds both occur in a language but the speakers are inconsistent in the way they use them, for example, *калоши-галоши*, and [‘eiʃэ - ‘eiʒэ]. In such cases we must take them as free variants of a single phoneme. We could explain the case on the basis of sociolinguistics. Thus, there are three types of distribution: contrastive, complementary and free variation.

In all these definitions, views, linguists disagree with each other on this or that matter. All these facts show that different linguists follow different principles and use different methods and adhere to different conceptions. As to the definitions of the phoneme they have not arrived at a

working definition acceptable to all. Because it is actually impossible to devise a formula or a formal definition in a single sentence that would reflect all the aspects and functions.

An outstanding Russian phonetician V.A. Vasilyev's following definition of the phoneme seems to be the best among them: "The segmental phoneme is the smallest language unit (sound type) that exists in the speech of all the members of a given language community as such speech sounds which are capable of distinguishing one word from another word of the same language or one grammatical form from another grammatical form of the same word"**[6]**.

It should be taken into account that speech sounds can perform this distinctive function only when they are opposed to each other or to no sound in one and the same position. For example: bid-bad-bed, ask-asks-asked

If the slight articulatory and acoustic change of the quality of the speech sound doesn't influence the meaning of the word or word form, then this actually pronounced speech sound is called an allophone (or variant) of the phoneme, because in this case this allophone is incapable of differentiating words or the grammatical forms of one and the same word.

To know how sounds are produced is not enough to describe and classify them as language units. When we talk about the sounds of language, the term "sound" can be interpreted in two different ways. First, we can say that [t] and [d], for example, are two different sounds in English: e.g. *ten-den, seat-seed.* But on the other hand, we know that [t] in *let us* and [t] in *let them* are not the same. In both examples the sounds differ in one articulatory feature only. In the second case the difference between the sounds has functionally no significance. It is clear that the sense of "sound" in these two cases is different. To avoid this ambiguity, linguists use two separate terms: phoneme and allophone. **[5]**.

The phoneme is a minimal abstract linguistic unit realized in speech in the form of speech sounds opposable to other phonemes of the same language to distinguish the meaning of morphemes and words.

The articulatory features which do not serve to distinguish meaning are called non-distinctive, irrelevant or redundant. For example, it is impossible to oppose an aspirated [p^h] to a non-aspirated one in the same phonetic context to distinguish meaning**[1]**.

We know that anyone who studies a foreign language makes mistakes in the articulation of sounds and such pronunciation errors are classified as phonological and phonetic. If an allophone is replaced by an allophone of a different phoneme the mistake is called phonological. If an allophone of the phoneme is replaced by another allophone of the same phoneme the mistake is called phonetic.

A number of principles have been established for ascertaining the phonemic structure of a language. For an unknown language the procedure of identifying the pho nemes of a language as the smallest language units has several stages. The first step is to determine the minimum recurrent seg ments (segmentation of speech continuum) and to record them graphically by means of allophonic transcription. To do this an analyst gathers a number of sound sequences with different meanings and compares them. For example, the comparison of [stik] and [stæk] reveals the segments (sounds) [i] and [æ], comparison of [stik] and [spik] reveals the segments [st] and [sp] and the further comparison of these two with [tik] and [tæk], [sik] and [sæk] splits these segments into smaller segments [s], [t], [p]. If we try to divide them further there is no comparison that al lows us to divide [s] or [t] or [p] into two, and we have therefore arrived at the minimal segments. From what we have shown it follows that it is possible to single out the minimal segments op posing them to one another in the same phonetic context or, in other words, in sequences which differ in one element only.

The next step in the procedure is the arranging of sounds into functionally similar groups. We do not know yet what sounds are contrastive in this language and what sounds are merely allophones of one and the same phoneme. There are two most widely used methods of finding it out. They are the distri butional method and the semantic method.

The distributional method is mainly used by phoneticians of "structuralist" persuasions. These phoneticians consider it to group all the sounds pronounced by native speakers into

phonemes according to the two laws of phonemic and allophonic distribution. These laws were discovered long ago and are as follows.

1. Allophones of different phonemes occur in the same phonetic context.
2. Allophones of the same phoneme never occur in the same phonetic context.

The fact is that the sounds of a language combine according to a certain pattern characteristic of this language. Phonemic opposability depends on the way the phonemes are distributed in their occurrence. That means that in any language certain sounds do not occur in certain positions**[2]**.

If more or less different sounds occur in the same phonetic context they should be allophones of different phonemes. In this case their distribution is contrastive. If more or less similar speech sounds occur in different positions and never occur in the same phonetic context they are al lophones of one and the same phoneme. In this case their distribution is complementary.

Still there are cases when two sounds are in complemen tary distribution but are not referred to the same phoneme. This is the case with the English [h] and [n]. [h] occurs only initially or before a vowel while [n] occurs only medially or finally after a vowel and never occurs initially. In such case the method of dis tribution is modified by addition of the criterion of phonetic similarity/dissimilarity. The decisions are not made purely on distri butional grounds. Articulatory features are taken into account as well.

So far we have considered cases when the distribution of sounds was either contrastive or complementary. There is, however, a third possibility, namely, that the sounds both occur in a language but the speakers are inconsistent in the way they use them. In such cases we must take them as free variants of a single phoneme. We could explain it on the basis of "dialect" or on the basis of sociolinguistics. It could be that one variant is a "prestige" form which the speaker uses when he is constantly "monitoring" what he says while the other variant of pronunciation is found in casual or less formal speech.

The semantic method. Semantic method attaches special importance to meaning. It is widely used in Russia. The semantic analysis is performed through the system of phonological oppositions. It is based on the following fundamental phonological rule: Phonemes can distinguish the meaning when opposed to one another in the same phonetic context, ship [ɪ] – sheep [iː], day [d] – they [ð]. It is applied for phonological analysis of both unknown languages and languages already described. In case of the latter it is used to determine the phonemic status of sounds which are not easily identified from phonological point of view. The method is based on a phonemic rule that phonemes can distinguish words and mor phemes when opposed to one another. The semantic method of identifying the phonemes of a language attaches great significance to meaning. It consists in systematic substitution of the sound for another in order to ascertain in which cases where the phonetic context remains the same such substitution leads to a change of meaning. It is with the help of an informant that the change of meaning is stated. This procedure is called the commutation test. It consists in finding minimal pairs of words and their grammatical forms. For example, an analyst arrives at the se quence [pin]. He substitutes the sound [p] for the sound [b] or [s], [d], [w]. The substitution leads to the change of meaning, cf.: *pin, bin, sin, din, win.* This would be a strong evidence that [p], [b], [s], [d], [w] can be regarded as allophones of different phonemes.

To establish the phonemic structure of a language it is necessary to establish the whole system of oppositions. All the sounds should be opposed in word-initial, wordmedial and word-final positions. There are three kinds of oppositions. If members of the opposition differ in one feature the opposition is said to be single, e.g. *pen – ben.* Common features: occlusive – occlusive, labial – labial. Differentiating feature: fortis – lenis.

If two distinctive features are marked, the opposition is said to be double, e.g. *pen – den.* Common features: occlusive – occlusive. Differentiating features: labial – lingual, fortis voiceless – lenis voiced.

If three distinctive features are marked the opposition is said to be triple, e.g. *pen – then.* Differentiating features: occlusive – constrictive, labial – dental, fortis voiceless – lenis voiced.

It is generally acknowledged that the phoneme is one of the basic language units. However, it is described by different scholars and representatives of different linguistic schools in different

ways. Before we look at the most significant theories, let's say a quick word on the history of phonological studies and mention the names of outstanding scholars who contributed to the understanding of this complicated language phenomenon.

Distributional approach was practiced by American linguists and focuses on the position of the sound in the word or its distribution**[4]**.

So, to establish the phonemic status of the sound it is necessary to oppose one sound to some other in the same phonetic context. This procedure is called **"commutation test"**. We must find or establish the so-called minimal pairs. A minimal pair is a pair of words which differ in one sound only. So, we replace one sound by another and try to find out if the opposed sounds belong to the same or different phonemes. The commutation test may have three possible results:

1. [pin] – [sin] The meaning is different, so the opposed sounds [p/s] belong to different phonemes.

2. [pin] – [p^hin] The meaning is the same, so the opposed sounds belong to the same phoneme. Here the allophone is different, used wrongly.

3. [p^hin] – [hin] We have a meaningless word [hin], so we cannot make any conclusion about the phonemic status of the second sound. We can't identify it.

Types of phonological opposition

1. Single – if the members of the opposition differ in one articulatory feature.
pen – Ben (occlusive; labial; [p] fortis, [b] lenis)
2. Double – if there are two distinctive features, which are different.
pen – den (occlusive, [p] labial, [d] alveolar; [p] fortis, [d] lenis)
3. Triple/Multiple – there are three distinctive features.
pen – then ([p] occlusive, [ð] constrictive; [p] labial, [ð] interdental; [p] fortis, [ð] lenis)

To establish the system of phonemes of a language it is necessary to oppose sounds in all possible position (initial, medial, final). But there are cases when the sounds can't be used in the same position and can't be opposed, e.g.:
[h] is never used in final position.
[ŋ] is never used in initial position.

These sounds are treated as different phonemes on the basis of native speaker's knowledge and their phonetic dissimilarity.

There is another interesting case which is analyzed and explained by different schools of classical phonology. In some cases different sounds occur in the same position and in the same phonetic context, but the meaning of the word remains unchanged (калоши – галоши, letter [lɛtə] – letter [lɛdə]). They are called free variants. The existing of free variance is explained by stylistic, regional and individual variations.

The idea of distinguishing between the functional approach of the study of speech sounds and their material substance was first expressed by the Russian linguist Baudauin de Courtenay at the end of the 19th century. But it was only at the end of the 20s and 30s of the 20th century that a number of phonological conceptions appeared in different countries. We should mention the great Russian scholar N. S. Trubetzkoy's who left Russia after the revolution and founded the famous linguistic circle in Prague. R. Jakobson also took an active part in the development of the Prague phonological conception. The theory of those two linguists formed the basis of functional linguistics and classical phonology. Similar theories appeared at the same time in the USA.

In Russia the ideas of phonology were later developed in different ways by the so-called Leningrad and Moscow Schools. In St. Petersburg the phonological theory was developed by L.V.Shcherba and his followers: L. R. Zinder and L.V.Bondarko. The most outstanding representatives of the Moscow School are: R. I. Avanesov, P. S. Kuznetsov, A. A. Reformatskii. All these theories are called "traditional" and the description of the phonological system they give is generally called "static", because its main concern is the description of all the phonemes and their allophones. In other words it has a classificatory character.

In the 1960s there appeared the so-called **"new phonology"** which was aimed at explaining how speech is actually produced and understood by the humans. Generative phonology represented

by a well-known American linguist N.Chomsky viewed phonology in close connection with syntax and semantics. The ideas of generative phonology were represented in the book by Chomsky and M.Halle "The Sound Pattern of English". Classical static phonological models were aimed at creating classifications of the sound system of a particular language. "Dynamic" models were aimed at establishing the sound pattern of an utterance on the basis of its semantic and grammar characteristics**[2]**.

Now let's try to group these schools into bigger categories and see what is the main criterion in the approach of linguists to the phoneme. In fact, the main criterion is three aspects of the phoneme. Some linguists exaggerate the abstract aspect of the phoneme and ignore the material aspect. Others, on the contrary, pay more attention to the material aspect and ignore the abstract one. We must admit that no theories ignore the functional aspect.

Conceptions that pay special attention to the abstract aspect. According to mentalistic and psychological view, the phoneme is an ideal mental image, it doesn't exist objectively, it exists only in the mind of the speaker. Actual speech sounds are imperfect realization of it. These ideals were expressed by Baudauin de Courtenay and by Sommerfelt.

Conception that can be called "functional" because special focus is given to the ability of the phoneme to differentiate the meaning. Scholars are particularly interested in relevant or distinctive features of the phoneme, while non-distinctive features are often ignored. This view was shared by scholar N. S. Trubetzkoy, R. Jakobson and Bloomfield. The great achievement of these scholars was that it gave rise to phonology as a linguistic discipline. However, it resulted in the separation of phonetics (физическая сторона) and phonology (речевая сторона).

The aim of phonology is the study of the system of distincted features and meaningful aspect of the phoneme. Phonetics was limited to the description of physiological and acoustic characteristics of speech sounds without reference to their linguistic function. The scholars claimed only phonology was a linguistic discipline, while phonetics should belong to biology. Thus we can say that the material aspect of the phoneme was ignored within this approach.

The group concerned with the material aspect. The physical view represented by Daniel Jones and B.Bloch regards the phoneme as the family of related sounds. In other words the phoneme is a mechanical sum of its allophones. So, similarity between sounds is considered to be the main criterion for attributing them to a particular phoneme. We see that the representatives of this approach ignore the abstract and functional aspect of the phoneme.

This brief overview of the approaches demonstrate that the definition given by L. V. Shcherba is definitely a comprehensive one because it gives equal importance to all the three aspects of the phoneme: material, abstract, functional**[8]**.

Conclusion

Linguists have not yet arrived at a definition of the phoneme acceptable to all. There are several conceptions of the phoneme current among linguists, and none of their definitions of the phoneme are quite satisfactory from all points of view. The difficulty of giving such a definition lies in the fact that the phoneme has several aspects and functions, and it is actually impossible to devise a formula, or a formal definition, in a single sentence that would reflect all these aspects and functions.

References

[1]. D. Jones. The phoneme. Its nature and use – Cambridge, 1967
[2]. Gimson A.C. An Introduction to the Pronunciation of English. – London, 1981.
[3]. Hill, A. A- Introduction to Linguistic Structures. N. Y. 1958.
[4]. Katamba F. An Introduction to Phonology. (1947) . London, New York, 1989. 200p.
[5]. Sweet, H. a) A Primer of Spoken English. Oxford, 1929; b) The Sounds of English. Oxford, 1929.
[6]. Trubetzkoy N.S. 1969. Principles of Phonology (transl. by Christine Anne Marie Baltaxe of Trubetzkoy 1939). Berkeley/Los Angeles: University of California Press.
[7]. Трубецкой Н. С. Основы фонологии (перевод с немецкого). М., 1960.
[8]. Щерба Л. В. И. А. Бодуэн де Куртенэ (Некролог) //Щерба Л. В. Языковая система и речевая деятельность. Л.: Наука, 1974. С.381-394.
[9]. Якобсон Р. Избранные работы по лингвистике. Благовещенский гуманитарный колледж им. И. А. Бодуэна де Куртенэ, 1998. 450с.

QURILISH MUHANDISLIGI TALABALARINING NUTQIY KOMPETENSIYANI KOLLABORATIV YONDASHUV ASOSIDA RIVOJLANTIRISH METODIKASI

G‘.Sh.Tajibayev[1], tayanch doktorant M.B. Jurayeva[2]

[1]Namangan davlat chet tillar instituti,
[2]Namangan davlat texnika universiteti,
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada qurilish muhandisligi talabalari nutqiy kompetensiyasini kollaborativ yondashuv asosida rivojlantirish metodikasi tadqiq etilgan. Tadqiqot Namangan davlat texnika universiteti, Farg‘ona davlat texnika universiteti va Jizzax politexnika institutida 274 nafar respondent ishtirokida o‘tkazilgan tajriba-sinov ishlari asosida amalga oshirildi. Tadqiqot natijalari kollaborativ yondashuv asosida tashkil etilgan o‘quv faoliyati talabalarning nutq ravonlik, interaktiv muloqot, diskursiv boshqaruv va kasbiy kommunikativ kompetensiyalarini rivojlantirishda samarali ekanini ko‘rsatdi. Jigsaw, Think-Pair-Share va muammoga asoslangan guruhli topshiriqlarning nutqiy kompetensiyani rivojlantirishdagi metodik imkoniyatlari asoslandi. Tadqiqot natijalari asosida qurilish muhandisligi ta’limida kollaborativ yondashuvni joriy etish bo‘yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi.*

Kalit so‘zlar: *nutqiy kompetensiya, kollaborativ yondashuv, qurilish muhandisligi, kommunikativ kompetensiya, ESP, interaktiv metodlar, fluency, discourse management.*

Аннотация. *В данной статье исследуется методика развития речевой компетенции студентов строительной инженерии на основе коллаборативного подхода. Исследование проведено на основе опытно-экспериментальной работы с участием 274 респондентов в Наманганский государственный технический университет, Ферганский государственный технический университет и Джизакский политехнический институт. Результаты исследования показали, что учебная деятельность, организованная на основе коллаборативного подхода, эффективно способствует развитию устной беглости, интерактивного общения, дискурсивного управления и профессиональной коммуникативной компетенции студентов. Обоснованы методические возможности Jigsaw, Think-Pair-Share и проблемно-ориентированных групповых заданий в развитии речевой компетенции. На основе результатов исследования разработаны научно-практические рекомендации по внедрению коллаборативного подхода в инженерное образование.*

Ключевые слова: *речевая компетенция, коллаборативный подход, строительная инженерия, коммуникативная компетенция, ESP, интерактивные методы, fluency, discourse management.*

Abstract. *This article investigates the methodology for developing the speech competence of civil engineering students through a collaborative approach. The study was conducted based on experimental research involving 274 respondents from Namangan state technical university, Fergana state technical university and Jizzakh polytechnic institute. The findings revealed that instructional activities organized through collaborative learning effectively improve students’ oral fluency, interactive communication, discourse management and professional communicative competence. The methodological potential of Jigsaw, Think-Pair-Share and problem-based group tasks in developing speech competence was substantiated. Based on the findings, scientific and practical recommendations were developed for integrating collaborative approaches into engineering education.*

Keywords: *speech competence, collaborative approach, civil engineering, communicative competence, ESP, interactive methods, fluency, discourse management.*

KIRISH. Bizga ma’lumki, o‘zgarishlar davrida ta’lim tizimi ijtimoiy jarayonlardan kelib chiqqan holda shiddat bilan rivojlanishni taqozo etadi. Ta’lim orqali jamiyatda kelajakdagi vazifalarni bajarishga qodir bo‘lgan yangi avlod shakllantiriladi.

Bugungi kunda mamlakat iqtisodiyotining muhim tarmoqlaridan biri qurilish sohasi – strategik ahamiyat kasb etuvchi tarmoqlardan biri hisoblanadi. Xususan, Prezidentimiz Shavkat Mirziyoyev tomonidan ta’kidlanganidek: “Bugungi keskin raqobat sharoitida iqtisodiyotimizni rivojlantirish uchun

zamonaviy bilim va ko‘nikmaga ega bo‘lgan, amaliy tajribali muhandis-kadrlar tayyorlash eng muhim vazifalardan biridir”[2]. Ushbu berilgan fikrlar infratuzilma obyektlari, sanoat inshootlari va turar-joy binolarining barpo etilishi bevosita malakali muhandis kadrlarga bog‘liqligi yana bir bor zarur ekanligini beradi. Shu nuqtai nazardan, qurilish muhandisligi yo‘nalishida tahsil olayotgan talabalar – kelajakda mamlakatning iqtisodiy barqarorligi va shaharlashish rivojlanishini ta’minlovchi muhim inson kapitali sifatida qaraladi. Qurilish muhandisligi talabalari nafaqat nazariy bilimlarni egallashi, balki ularni amaliyot bilan uyg‘unlashtira olishi zarur. Ular loyiha ishlab chiqish, konstruktiv hisob-kitoblar, zamonaviy qurilish materiallari va texnologiyalarini qo‘llash, shuningdek, me’yoriy hujjatlar asosida xavfsiz va samarali inshootlar yaratish ko‘nikmalariga ega bo‘lishi talab etiladi. Shu bilan birga, global iqlim o‘zgarishi, resurslardan oqilona foydalanish va barqaror rivojlanish tamoyillari qurilish muhandisligi ta’limiga yangi yondashuvlarni joriy etishni taqozo etmoqda.

Bugungi globallashuv jarayonida qurilish muhandisligi sohasida faoliyat yurituvchi mutaxassislar uchun ingliz tilini bilish muhim kompetensiyalardan biriga aylanmoqda. Chunki ilg‘or ilmiy tadqiqotlar, texnik hujjatlar, xalqaro standartlar va innovatsion texnologiyalarning aksariyati ingliz tilida taqdim etiladi. Shuningdek, xorijiy kompaniyalar bilan hamkorlik qilish, xalqaro loyihalarda ishtirok etish va professional tajriba almashinuvi jarayonlarida ingliz tilini mukammal egallash katta ustunlik beradi. Shu sababli, qurilish muhandisligi talabalari uchun ingliz tilini o‘qitish jarayonini kasbiy yo‘nalishga moslashtirish, ya’ni texnik terminologiya va sohaviy kommunikatsiyaga e’tibor qaratish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi.

Barcha sohalar qatori kompetensiyaviy yondashuv bugungi kunda mamlakatimizning har bir fuqarosi umumiy madaniyatining zaruriy elementi bo‘lib, umumta’lim, texnikum va oliy ta’lim muassasasini bitirgan yoshlar ijtimoiy, iqtisodiyotning turli hamda madaniy hayotning turli jabhalarida, muloqot va munosabatning barcha turlarida uning cheksiz imkoniyatlaridan to‘laqonli bahramand bo‘lish, zaruriy ko‘nikma, malakalarga ega bo‘lishlari kerak. So‘nggi paytlarda «kompetensiya», «kompetensiyaviy yondashuv» kabi tushunchalarga alohida e’tibor qaratilmoqda. Bu jarayon xalqaro tendensiyalar ta’sirida ham, ulardan qisman mustaqil ravishda ham rivojlanmoqda.

MAVZUGA OID ADABIYOTLAR SHARHI. Qurilish muhandisligi talabalari nutqiy kompetensiyasini kollaborativ yondashuv asosida rivojlantirish muammosi xorijiy til o‘qitish metodikasi, English for Specific Purposes (ESP), kommunikativ kompetensiya va kollaborativ pedagogika kesishgan nuqtasida shakllangan kompleks tadqiqot yo‘nalishi hisoblanadi. Ushbu muammo bo‘yicha ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish shuni ko‘rsatadiki, mavjud tadqiqotlar asosan uch yo‘nalishda rivojlangan: kommunikativ kompetensiyaning nazariy asoslari, kollaborativ o‘qitishning pedagogik imkoniyatlari va ESP/texnik yo‘nalish talabalari kontekstidagi amaliy tadqiqotlar.

Nutqiy kompetensiyaning nazariy asoslari dastlab Dell Hymes tomonidan shakllantirilgan bo‘lib, unda til bilish grammatik bilim bilan cheklanmasdan, ijtimoiy kontekstda maqsadga muvofiq muloqot qila olish qobiliyati sifatida talqin etiladi. Ushbu nazariya keyinchalik Michael Canale va Merrill Swain tomonidan grammatik, sotsiolingvistik, diskursiv va strategik komponentlar asosida kengaytirildi. Mazkur model bugungi kunda ESP metodikasida ham asosiy nazariy tayanchlardan biri sifatida qo‘llanadi. Shuningdek, Council of Europe tomonidan ishlab chiqilgan CEFR va uning 2020-yilgi Companion Volume talabalarning nutq interaksiya, mediatsiya va kasbiy kommunikatsiya ko‘nikmalarini baholash uchun metodologik asos yaratdi.

Kollaborativ o‘qitishning nazariy-metodologik asoslari, avvalo, Lev Vygotskyning sotsiokultural nazariyasi va “yaqin rivojlanish zonasi” konsepsiyasi bilan bog‘liq. Ushbu yondashuvga ko‘ra, til va tafakkur rivoji ijtimoiy interaksiya orqali yuz beradi. Keyinchalik David W. Johnson va Roger T. Johnson ijtimoiy o‘zaro bog‘liqlik (social interdependence) nazariyasi asosida kollaborativ o‘qitishning samaradorlik omillarini – positive interdependence, individual accountability, promotive interaction kabi komponentlar orqali asoslagan.

Kollaborativ yondashuvning nutqiy kompetensiyaga ta’siri bo‘yicha empirik tadqiqotlar ham ushbu bog‘liqlikni tasdiqlaydi. So‘nggi tadqiqotlarda kollaborativ topshiriqlar, guruhli muhokamalar, muammoli vazifalar va loyiha asosli faoliyatlar talabalarning fluency, negotiation of meaning va interactional competence ko‘rsatkichlarini oshirishi qayd etilgan. 2024-yilda A. A. Alzubi va

[2] O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoyev raisligida 2024-yil 20-iyun kuni “Muhandislik sohalarida kadrlar tayyorlash va oliy ta’lim muassasalari faoliyatini yanada takomillashtirish” masalalariga bag‘ishlangan videoselektor yig‘ilishidan olingan.

hammualliflar tomonidan olib borilgan tadqiqot kollaborativ intervention EFL talabalarning til o‘rganish va ijtimoiy interaksiyasini sezilarli yaxshilaganini ko‘rsatgan. Shuningdek, 2026-yildagi tahliliy ishda kollaborativ learning kommunikativ kompetensiyani rivojlantirishda autentik interaksiya va meaning negotiationni kuchaytiruvchi omil sifatida tavsiflangan[3].

ESP kontekstida, ayniqsa texnik va muhandislik ta’limida olib borilgan tadqiqotlar ushbu masalaning amaliy ahamiyatini yanada kuchaytiradi. Muhandislik ta’limida kollaborativ learning faqat til o‘rganish vositasi emas, balki professional problem-solving, technical communication va jamoaviy qaror qabul qilish kompetensiyalarini rivojlantirish vositasi sifatida ham ko‘rilmoqda. Muhandislik ta’limida kollaborativ pedagogika bo‘yicha survey tadqiqotlar guruhli o‘qitish muhandislik talabalarida akademik faollik va kommunikativ ishtirokni oshirishini ko‘rsatadi. Bu jihat qurilish muhandisligi talabalari uchun ayniqsa muhim, chunki kasbiy faoliyatning o‘zi ko‘p hollarda jamoaviy kommunikatsiya asosida tashkil etiladi[4].

Biroq tahlil qilingan adabiyotlar shuni ko‘rsatadiki, qurilish muhandisligi talabalari nutqiy kompetensiyasini aynan kollaborativ yondashuv asosida rivojlantirish metodikasiga bag‘ishlangan maxsus tadqiqotlar soni cheklangan. Mavjud ishlarda asosan umumiy ESP, EFL yoki texnik ta’lim konteksti yoritilgan, biroq qurilish terminologiyasi, professional discourse, task-based collaborative speaking activities va sohaga mos metodik model yetarli darajada ishlab chiqilmagan.

Aynan shu ilmiy bo‘shliq (research gap) mazkur tadqiqotning dolzarbligini belgilaydi va qurilish muhandisligi talabalari nutqiy kompetensiyasini kollaborativ yondashuv asosida rivojlantirishning maxsus metodikasini ishlab chiqish zaruratini asoslaydi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI. Mazkur tadqiqotda qurilish muhandisligi talabalari nutqiy kompetensiyasini kollaborativ yondashuv asosida rivojlantirish samaradorligini aniqlash maqsadida kvazi-eksperimental tadqiqot dizayni qo‘llanildi. Tadqiqotda tajriba va nazorat guruhlari shakllantirilib, tajriba guruhida Jigsaw, Think-Pair-Share hamda muammoga asoslangan guruhli muhokama kabi kollaborativ metodlar asosida ta’lim jarayoni tashkil etildi, nazorat guruhida esa an’anaviy o‘qitish usullari saqlandi. O‘quv jarayonida kasbiy yo‘naltirilgan kommunikativ topshiriqlar orqali talabalarning og‘zaki muloqot, kasbiy terminologiyadan foydalanish va interaktiv nutq ko‘nikmalarini rivojlantirishga e’tibor qaratildi.

Tadqiqotda ma’lumotlar pre-test va post-test, analitik baholash rubrikalari hamda kuzatuv metodlari orqali yig‘ildi. Nutqiy kompetensiya CEFR deskriptorlari hamda Canale va Swain modelining fluency, accuracy, interaction va discourse management komponentlari asosida baholandi. Olingan natijalar miqdoriy va sifat jihatdan tahlil qilinib, kollaborativ yondashuvning nutqiy kompetensiyani rivojlantirishdagi samaradorligi aniqlandi.

TAHLIL VA NATIJALAR. Tadqiqot natijalari Namangan davlat texnika universiteti (*n=70*), Farg‘ona davlat texnika universiteti (*n=104*) va Jizzax politexnika instituti (*n=100*) qurilish muhandisligi yo‘nalishida tahsil olayotgan jami 274 nafar respondent ishtirokida o‘tkazilgan tajriba-sinov ishlari asosida shakllantirildi va qiyosiy tahlil qilindi. Tanlanmaning uchta mustaqil oliy ta’lim muassasasidan shakllantirilgani tadqiqotning reprezentativligi va natijalarning umumlashtirish imkoniyatini kuchaytirdi. Dastlabki diagnostik baholash (pre-test) natijalari respondentlarning nutqiy kompetensiya bo‘yicha boshlang‘ich darajalari o‘zaro yaqin ekanini ko‘rsatdi. Bu esa intervensiya natijasida yuz bergan o‘zgarishlarni aynan qo‘llangan kollaborativ metodika bilan bog‘lab tahlil qilish imkonini berdi. Yakuniy baholash (post-test) natijalari esa kollaborativ yondashuv asosida tashkil etilgan o‘quv faoliyati nutqiy kompetensiyaning asosiy komponentlari rivojiga sezilarli ijobiy ta’sir ko‘rsatganini namoyon etdi.

Tahlillar asosida nutq ravonlik (fluency) bo‘yicha talabalar javoblarining hajmi, fikr davomiyligi va nutq uzilishlarisiz muloqot olib borish ko‘rsatkichlari yaxshilangani kuzatildi. Dastlab ko‘proq qisqa va fragmentar javob berishga moyil bo‘lgan respondentlarda intervensiya yakunida kengaytirilgan, mantiqiy bog‘langan va kommunikativ maqsadga yo‘naltirilgan javoblar ulushi ortdi. Ayniqsa, Think-Pair-Share va Jigsaw asosida tashkil etilgan topshiriqlar talabalar o‘rtasida oldindan fikr shakllantirish,

[3] Ali A. Alzubi, Mohd Nazim and Jalal Ahamad. Examining the effect of a collaborative learning intervention on EFL students’ English learning and social interaction // Journal of Pedagogical Research Volume 8, Issue 2, 2024 https://doi.org/10.33902/JPR.202425541

[4] Carlo Gabriel, Orland Basas, Johans Claudine Ufano, John Denn Sinlao, Juvenel Mark Rosario. Collaborative Learning in Engineering Education: A Survey of Literature and Studies Toward a More Reflective and Responsive Research and Pedagogy // US-China Education Review B, Nov.-Dec. 2022, Vol. 12, No. 6, 199-206 doi: 10.17265/2161-6248/2022.06.003

sherik bilan mazmuniy almashuv va keyinchalik umumiy muhokamada faol ishtirok etish ko‘nikmasini kuchaytirdi. Bu holat ravonlikning faqat tez gapirish emas, balki mazmunli va uzluksiz nutq qurish bilan bog‘liq funksional rivojini ko‘rsatdi.

Interaction komponenti bo‘yicha olingan natijalar ham muhim o‘zgarishlarni ko‘rsatdi. Intervensiyadan oldingi bosqichda respondentlar asosan o‘qituvchi yo‘naltirgan savol-javob modeliga tayangan bo‘lsa, kollaborativ faoliyatdan keyin o‘zaro savol berish, aniqlashtirish, fikrga munosabat bildirish va mazmun bo‘yicha kelishuvga erishish (negotiation of meaning) chastotasi ortdi. Ayniqsa, kasbiy vaziyatlarga asoslangan muammoli muhokamalarda respondentlar “technical clarification”, “proposal justification” va “problem-solving interaction” elementlarini faolroq qo‘llay boshladi. Kuzatuv protokollari bu o‘zgarishlarning barqaror va takrorlanuvchi xarakterga ega ekanini ko‘rsatdi.

Discourse management bo‘yicha ham sezilarli siljishlar qayd etildi. Dastlab talabalar javoblarida nutq tarkibiy yaxlitligi, fikrlararo bog‘lanish va mavzuni izchil davom ettirishda uzilishlar kuzatilgan bo‘lsa, intervensiyadan keyin mantiqiy ketma-ketlik, bog‘lovchi vositalardan foydalanish va professional diskursni tashkil etish sifati yaxshilandi. Ayniqsa loyiha taqdimoti va “site communication” topshiriqlarida talabalar muhandislikka oid tushunchalarni izchil va kommunikativ maqsadga mos ifodalashda faolroq bo‘ldilar. Bu holat kollaborativ topshiriqlarning diskursiv kompetensiyani rivojlantirishdagi metodik imkoniyatini ko‘rsatdi.

Professional vocabulary use ko‘rsatkichi bo‘yicha natijalar ham ijobiy dinamikani namoyon etdi. Dastlab respondentlar kasbiy terminologiyadan cheklangan va ayrim hollarda noto‘g‘ri foydalanishga moyil bo‘lgan bo‘lsa, intervensiyadan keyin texnik leksika va sohaga xos kommunikativ birliklardan foydalanish chastotasi oshdi. “Structural load”, “construction materials”, “site safety”, “design specifications” kabi kasbiy birliklarni vaziyatga mos va maqsadli qo‘llash holatlari ko‘paydi. Bu esa kollaborativ yondashuvning ESP kontekstida faqat umumiy til emas, balki professional kommunikatsiya rivojiga ham ta’sir ko‘rsatishini ko‘rsatdi.

Sifat tahlili (qualitative analysis) ham miqdoriy kuzatuvlarni tasdiqladi. Respondentlar refleksiv fikrlarida guruhli ishlash ingliz tilida gapirishdagi psixologik to‘siqlarni kamaytirgani, xato qilishdan qo‘rqish darajasini pasaytirgani va muloqotga kirishish ishonchini oshirganini qayd etdilar. Ayniqsa, avval sust ishtirok etgan talabalar ham peer interaction asosida faolroq muloqotga kirisha boshlagani kuzatildi. Bu holat kollaborativ yondashuv motivatsion va affektiv omillarga ham ijobiy ta’sir ko‘rsatganini ko‘rsatdi.

Uch oliy ta’lim muassasasi kesimidagi kuzatuvlar natijalarining o‘zaro yaqinligi ham metodikaning barqarorligini tasdiqladi. Ya’ni, respondentlar soni, akademik guruhlar tarkibi va institutsional farqlarga qaramay, nutqiy kompetensiya rivojida kuzatilgan asosiy tendensiyalar umumiy xarakterga ega bo‘ldi. Bu esa ishlab chiqilgan metodikaning faqat lokal emas, balki boshqa texnik oliy ta’lim muassasalarida ham tatbiq etish imkoniyatini ko‘rsatadi.

Umuman, 274 nafar respondent ishtirokidagi tajriba-sinov natijalari kollaborativ yondashuv asosida ishlab chiqilgan metodika qurilish muhandisligi talabalari nutqiy kompetensiyasini rivojlantirishda yuqori pedagogik samaradorlikka ega ekanini ko‘rsatdi. Olingan natijalar fluency, interaction, discourse management va professional communicative competence komponentlarining integrallashgan rivojini tasdiqladi hamda tadqiqot gipotezasining amaliy jihatdan asoslanganini ko‘rsatdi.

XULOSA VA TAKLIFLAR. Olib borilgan tadqiqot natijalari qurilish muhandisligi talabalari nutqiy kompetensiyasini kollaborativ yondashuv asosida rivojlantirish metodikasi ilmiy va amaliy jihatdan samarali ekanini ko‘rsatdi. Namangan davlat texnika universiteti, Farg'ona davlat texnika universiteti va Jizzax politexnika instituti da 274 nafar respondent ishtirokida o‘tkazilgan tajriba-sinov natijalari kollaborativ yondashuv asosida tashkil etilgan ta’lim jarayoni talabalarning fluency, interaction, discourse management va professional communicative competence ko‘rsatkichlariga ijobiy ta’sir ko‘rsatganini tasdiqladi. Tadqiqot davomida qo‘llangan Jigsaw, Think-Pair-Share, muammoga asoslangan guruhli muhokama va kasbiy kommunikativ topshiriqlar nutqiy kompetensiyani rivojlantirishda metodik jihatdan samarali vositalar sifatida namoyon bo‘ldi. Shu asosda, kollaborativ yondashuvni qurilish muhandisligi talabalari uchun ingliz tilini o‘qitish jarayoniga integratsiyalash zarur degan xulosa shakllantirildi.

Tadqiqot natijalari asosida quyidagi takliflar ilgari suriladi: birinchidan, qurilish muhandisligi ta’lim dasturlariga kollaborativ yondashuvga asoslangan nutqiy kompetensiya rivojlantirish metodlarini tizimli joriy etish maqsadga muvofiq; ikkinchidan, English for Specific Purposes (ESP) fanlari

mazmuniga kasbiy kommunikativ vaziyatlar, loyiha muhokamalari va texnik diskursga asoslangan interaktiv topshiriqlarni keng kiritish lozim; uchinchidan, oliy ta’lim muassasalarida xorijiy til o‘qituvchilari uchun kollaborativ metodlar bo‘yicha metodik trening va malaka oshirish tizimini kuchaytirish zarur; to‘rtinchidan, kelgusida mazkur metodikani boshqa texnik yo‘nalishlar, jumladan Mechanical Engineering, Electrical Engineering va Civil Engineering talabalari kontekstida ham sinovdan o‘tkazish tavsiya etiladi. Mazkur takliflar tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy etish va texnik oliy ta’limda nutqiy kompetensiyani rivojlantirish sifatini oshirishga xizmat qiladi.

Adabiyotlar

[1]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 8-oktyabrdagi PF-5847-son “O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi Farmon.

[2]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 19-maydagi PQ-5117-son “O‘zbekiston Respublikasida xorijiy tillarni o‘rganishni ommalashtirish faoliyatini sifat jihatidan yangi bosqichga olib chiqish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi Qarori.

[3]. Ali A. Alzubi, Mohd Nazim and Jalal Ahamad. Examining the effect of a collaborative learning intervention on EFL students’ English learning and social interaction // Journal of Pedagogical Research Volume 8, Issue 2, 2024 https://doi.org/10.33902/JPR.202425541

[4]. Carlo Gabriel, Orland Basas, Johans Claudine Ufano, John Denn Sinlao, Juvenel Mark Rosario. Collaborative Learning in Engineering Education: A Survey of Literature and Studies Toward a More Reflective and Responsive Research and Pedagogy // US-China Education Review B, Nov.-Dec. 2022, Vol. 12, No. 6, 199-206 doi: 10.17265/2161-6248/2022.06.003

[5]. Collaborative Pedagogy in Engineering Education: Effects on Professional Communication Skills. International Journal of Information and Education Technology, 2025.

[6]. Juraeva M.B. A collaborative approach to developing english language competences in technical higher educational institutions // Eurasian journal of academic research. Volume 5, Issue 6, June 2025 ISSN 2181-2020. -P 170-175.

[7]. Jurayeva M.B. “Qurilish muhandisligi (bino va inshootlar qurilishi)” sohasidagi talabalarning ingliz tilida so‘zlash kompetentsiyasini rivojlantirish uchun usullar va vositalar // Pioneering studies and theories xalqaro ilmiy-elektron jurnal. Volume 1. Issue 7. 2025.

[8]. Жураева М.Б. Теоретико - методологические основы коллаборативного обучения, кооперативных подходов и интерактивных педагогических методов // Maktabgacha va maktab ta’limi jurnali. – Toshkent. 2025. -№12. – B. 119-124.

[9]. Juraeva M.B. Ingliz tilini o‘qitishda kollaborativ yondoshuv va uning afzalliklari // Kasb-hunar ta’limi jurnali. 2024 yil, №9, 108-113 b. (OAKning 29.08.2017-yil, №241/8 qarori).

[10]. Jurayeva M.B. Zamonaviy lingvistik korpuslarning ingliz tilini o‘qitishdagi kompyuter modellari // “Yangi O‘zbekiston iqtisodiyotini rivojlantirishning dolzarb masalalari” mavzusida Respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy konferensiya materiallari II to‘plami. НамДУ, Наманган. 29-30-sentyabr 2022-yil. 448-453 b.

[11]. Jurayeva M.B. Ingliz tilini o‘qitishda – korpus texnologiyalar // “Yangi O‘zbekiston iqtisodiyotini rivojlantirishning dolzarb masalalari” mavzusida Respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy konferensiya materiallari II to‘plami. НамДУ, Наманган. 29-30-sentyabr 2022-yil. 453-457 b.

BIR O‘LCHAMLI IZING MODELIDA O‘ZARO TA’SIRLAR BILAN BOSHQARILADIGAN SIKLIK ISSIQLIK MASHINASINING ISH UNUMDORLIGI VA SAMARADORLIGI

J.A. Axmadaliyev

Farg’ona davlat texnika universiteti,
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Mazkur maqolada bir o‘lchamli Izing modeli asosida ishlovchi siklik issiqlik mashinasining termodinamik xossalari o‘zaro ta’sir parametri, tashqi magnit maydon hamda ikki xil haroratli issiqlik rezervuari o‘rtasidagi bog‘lanish nuqtai nazaridan tahlil qilinadi. Tadqiqotning asosiy g‘oyasi shundan iboratki, o‘zaro ta’sirlar oddiy tuzilishga ega bo‘lgan spin sistemasida faqat energiya almashinuvining ichki mexanizmini murakkablashtiribgina qolmay, balki issiqlik mashinasining umuman ishlashi mumkin bo‘lgan parametrlar sohasini ham sezilarli ravishda kengaytiradi.*

Kalit so‘zlar: *Ising modeli, siklik issiqlik mashinasi, bir o‘lchamli spin zanjiri, o‘zaro ta’sir, magnit maydon, samaradorlik, ish ajralishi, stoxastik termodinamika.*

Аннотация. *В данной статье исследуются термодинамические свойства циклической тепловой машины на основе одномерной модели Изинга с точки зрения взаимосвязи между параметром межспинового взаимодействия, внешним магнитным полем и двумя тепловыми резервуарами с различными температурами.*

Ключевые слова: *модель Изинга, циклическая тепловая машина, одномерная спиновая цепочка, взаимодействие, магнитное поле, эффективность, извлечение работы, стохастическая термодинамика.*

Abstract. *This paper analyzes the thermodynamic behavior of a cyclic heat engine based on the one-dimensional Ising model by focusing on the coupled roles of spin interaction strength, external magnetic field, and two thermal reservoirs kept at different temperatures. The central idea is that interactions do not merely modify the internal redistribution of energy in a spin chain, but can also enlarge the operational region in which a thermodynamic cycle is able to extract useful work.*

Keywords: *Ising model, cyclic heat engine, one-dimensional spin chain, interaction, magnetic field, efficiency, work extraction, stochastic thermodynamics.*

Issiqlik mashinalarining nazariyasi uzoq vaqt davomida makroskopik tizimlar doirasida rivojlangan bo‘lsa-da, so‘nggi o‘n yilliklarda mikroskopik va mezoskopik obyektlar asosida ishlovchi issiqlik dvigatellari fizikasi alohida yo‘nalishga aylandi, chunki bunday sistemalarda energiya fluktuatsiyalari, relaksatsiya jarayonlari, boshqaruv protokoli va ichki o‘zaro ta’sirlar bir-biridan ajralmas darajada bog‘langan bo‘ladi [1–6]. Ayniqsa, ko‘p zarrachali sistemalar uchun issiqlik mashinasining qanday ishlashi, o‘zaro ta’sirlar ish ishlab chiqarish jarayoniga qanday ta’sir qilishi va samaradorlik qaysi sharoitlarda oshishi mumkinligi haqidagi savollar bugungi kunda ham dolzarb bo‘lib qolmoqda. Ising modeli bu nuqtai nazardan juda qulay nazariy platforma hisoblanadi, chunki u bir tomondan fazoviy korrelyatsiyalar va spinlararo bog‘lanishlarning eng muhim xususiyatlarini o‘zida mujassamlashtiradi, ikkinchi tomondan esa bir o‘lchamli holatda ko‘plab kattaliklar aniq yoki yopiq ko‘rinishda ifodalanadi.

So‘nggi nazariy ishlar shuni ko‘rsatadiki, Ising tipidagi ishchi jism uchun sikl davomida harorat va magnit maydonni almashlab o‘zgartirish issiqlikni foydali ishga aylantirish imkonini beradi, bunda o‘zaro ta’sirlar mavjud bo‘lganda mashinaning ishlash sohasi kengayadi va ayrim hollarda samaradorlik ham, ajraladigan ish ham ortadi [6]. Mazkur maqolada ana shu yo‘nalish kengaytirilib, bir o‘lchamli Ising zanjiri asosidagi issiqlik mashinasi uchun o‘zaro ta’sir parametri nafaqat matematik koeffitsiyent, balki dvigatelni “yoqib-o‘chiruvchi” nazorat parametri sifatida qaraladi. Shuningdek, real mikrotizimlarga yaqinlashish maqsadida cheklangan zanjir uzunligi, relaksatsiya kechikishi va kichik strukturaviy notekisliklarning mumkin bo‘lgan ta’siri ham muhokamaga kiritiladi.

Bir o‘lchamli Ising zanjiri uchun ishchi jism energiyasi yaqin qo‘shni spinlarning o‘zaro ta’siri va tashqi magnit maydon hissalaridan tashkil topadi. Agar siklning sovuq qismida sistema

(β_c, H_1) issiq qismida esa (β_h, H_2) parametrlar ostida ishlasa, uzoq period limitida bir siklga to‘g‘ri keluvchi o‘rtacha ish

$$W = (H_2 - H_1)[m(\beta_c, H_1, J) - m(\beta_h, H_2, J)]$$

ko‘rinishda yoziladi, bu yerda m — magnitlanish, J esa spinlararo o‘zaro ta’sir parametridir [6]. Bir o‘lchamli modelning muhim afzalligi shundaki, unda magnitlanishning aniq ifodasi ma’lum bo‘lib, shu sababli issiqlik mashinasi rejimining mavjudlik sharti ham analitik ravishda yozilishi mumkin. Bu fakt bir qarashda faqat pedagogik qulaylik bo‘lib tuyulsa-da, aslida u o‘zaro ta’sir bilan boshqariladigan issiqlik mashinasining ishlash mexanizmini chuqur tushunish uchun juda muhimdir.

O‘zaro ta’sir nolga teng bo‘lganda sistema xuddi mustaqil spinlar to‘plamidek tutadi va mashinaning ishlashi uchun maydon hamda harorat parametrlarining odatiy cheklovi talab qilinadi. Biroq $J \neq 0$ bo‘lgan holatda spinlar orasida korrelyatsiya paydo bo‘ladi, buning natijasida sovuq va issiq bosqichlarda magnitlanishning javobi turlicha bo‘lib, aynan shu farq ishning musbat bo‘lishiga xizmat qiladi. Shuning uchun o‘zaro ta’sirli sistema ishni faqat ko‘proq “energiya saqlovchi” obyekt sifatida emas, balki tashqi boshqaruvga nisbatan sezgir kollektiv muhit sifatida namoyon etadi.

Bir o‘lchamli Ising issiqlik mashinasining eng qiziqarli jihatlaridan biri shundaki, ferromagnit bog‘lanish kuchaygani sari sovuq bosqichdagi tartiblanish ortadi va shu bilan birga issiq bosqichdagi magnitlanish pasayishi nisbatan keskinlashadi, natijada $m(\beta_c, H_1, J) - m(\beta_h, H_2, J)$ farqi kattalashib, ish chiqishi ortadi. Bunday holat fizik ma’noda shuni bildiradiki, o‘zaro ta’sirlar sistema ichida “kollektiv xotira” hosil qiladi va u sovuq rezervuar ta’sirida shakllangan magnit tartibni bir muddat saqlab turadi, so‘ng issiq bosqichda u nisbatan sustlashib, tashqi magnit maydon almashinuvi bilan birgalikda foydali ish ajralishiga imkon beradi. Shu sababli maksimal ish odatda ferromagnit sohada kuzatilishi tabiiydir.

Samaradorlik masalasi esa murakkabroq tus oladi, chunki samaradorlik faqat ishning o‘zi bilan emas, balki issiq rezervuardan yutilgan issiqlik miqdori bilan ham belgilanadi. Antiferromagnit bog‘lanish ayrim parametrlar oralig‘ida ishni kuchli oshirmasligi mumkin, ammo yutiladigan issiqlikni nisbatan samaraliroq qayta taqsimlagani sababli umumiy $\eta = \frac{W}{Q_h}$ kattalikning yaxshilanishiga olib kelishi ehtimoldan xoli emas. Demak, maksimal ish va maksimal samaradorlik bir xil nuqtaga to‘g‘ri kelmasligi issiqlik mashinasining muhim va fizik jihatdan mazmunli xususiyati bo‘lib, u mikroskopik tizimlarda energiya oqimlari bilan tartiblanish mexanizmi o‘rtasidagi nozik bog‘lanishni ifodalaydi. Mazkur maqolada qo‘shimcha nazariy kengaytma sifatida cheklangan uzunlikdagi zanjirlar uchun ham quyidagi fikr ilgari suriladi: zanjir uzunligi kamaygan sari sirt effektlari va statistikaning diskretligi sababli magnitlanishning bosqichma-bosqich o‘zgarishi kuchayadi, natijada issiqlik mashinasining ish sohasi torayishi, ammo boshqaruv parametrlari aniq tanlanganda sezgirlik oshishi mumkin. Bu esa nanoo‘lchamli spin qurilmalarida kichik sonli spinlardan tuzilgan ishchi jismlar, ideal cheksiz zanjirga qaraganda, ayrim texnologik vazifalarda afzalliklarga ega bo‘lishi mumkinligini anglatadi. Xuddi shuningdek, zanjir bo‘ylab juda kichik tartibsizlik, masalan, J ning zaif fluktuatsiyasi kiritilsa, u umumiy samaradorlikni har doim pasaytirmaydi, balki ayrim hollarda rezonansga yaqin sezgirlik yaratib, boshqaruvni yanada noziklashtirishi mumkin.

Adabiyotlar

[1]. Curzon F. L., Ahlborn B. Efficiency of a Carnot engine at maximum power output // American Journal of Physics. 1975. Vol. 43. P. 22–24.

[2]. Seifert U. Stochastic thermodynamics, fluctuation theorems, and molecular machines // Reports on Progress in Physics. 2012. Vol. 75. 126001.

[3]. van den Broeck C. Thermodynamic efficiency at maximum power // Physical Review Letters. 2005. Vol. 95. 190602.

[4]. Esposito M., Lindenberg K., van den Broeck C. Universality of efficiency at maximum power // Physical Review Letters. 2009. Vol. 102. 130602.

[5]. Schmiedl T., Seifert U. Efficiency at maximum power: An analytically solvable model for stochastic heat engines // EPL. 2008. Vol. 81. 20003.

[6]. Forao G. A. L., Datta A., Fiore C. E., Barato A. C. Cyclic Heat Engine with the Ising model: role of interactions and criticality // arXiv preprint. 2026. arXiv:2604.04730.

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МИКРО- И НАНОСТРУКТУР МЕТОДОМ ИОННО-ЛУЧЕВОГО ТРАВЛЕНИЯ ЧЕРЕЗ САМООРГАНИЗУЮЩУЮСЯ МАСКУ

Б.К. Туйчибаев

Ферганский государственный технический университет
(Получена 10.03.2026 г.)

Аннотация. *В работе исследована возможность получения полупроводниковых микро- и наноструктур методом ионно-лучевого травления через самоорганизующуюся маску. На поверхности подложек GaAs в результате термической обработки формировались капли галлия, выполнявшие роль маскирующего покрытия. Установлено, что при времени травления 12 минут формируются наноструктуры высотой 50–180 нм и диаметром основания около 370 нм. Показана перспективность данного метода для создания микро- и наноструктур, а также гетероструктур с квантовыми точками.*

Ключевые слова: *ионно-лучевое травление, самоорганизующаяся маска, полупроводниковые наноструктуры, GaAs, капли галлия, квантовые точки, гетероструктуры.*

Abstract. *This paper investigates the possibility of fabricating semiconductor micro- and nanostructures by ion-beam etching through a self-organized mask. Gallium droplets formed on the surface of GaAs substrates as a result of thermal treatment and served as a masking coating. It was found that, at an etching time of 12 minutes, nanostructures with a height of 50–180 nm and a base diameter of about 370 nm are formed. The prospects of this method for the fabrication of micro- and nanostructures, as well as heterostructures with quantum dots, are demonstrated.*

Keywords: *ion-beam etching, self-organized mask, semiconductor nanostructures, GaAs, gallium droplets, quantum dots, heterostructures.*

Annotatsiya. *Ushbu ishda o‘z-o‘zidan shakllanuvchi niqob orqali ion-nurli yeydirish usuli yordamida yarimo‘tkazgich mikro- va nanostrukturalarini olish imkoniyati tadqiq qilindi. Termik ishlov berish natijasida GaAs tagliklari yuzasida niqoblovchi qoplama vazifasini bajaruvchi galliy tomchilari hosil qilindi. Aniqlanishicha, yeydirish vaqti 12 daqiqa bo‘lganda balandligi 50–180 nm va asos diametri taxminan 370 nm bo‘lgan nanostrukturalar shakllanadi. Mazkur usulning mikro- va nanostrukturalar, shuningdek kvant nuqtali geterotuzilmalarni yaratish uchun istiqbolli ekanligi ko‘rsatildi.*

Kalit so‘zlar: *ion-nurli yeydirish, o‘z-o‘zidan shakllanuvchi niqob, yarimo‘tkazgich nanostrukturalari, GaAs, galliy tomchilari, kvant nuqtalar, geterotuzilmalar.*

В настоящее время внимание специалистов в области физики конденсированного состояния и физики полупроводников приковано к изучению квантово-размерных эффектов, возникающих при уменьшении размеров структур. К таким структурам относятся квантовые ямы, нити и точки (КТ). Использование КТ привлекательно с точки зрения повышения эффективности современных полупроводниковых приборов. Например, использование КТ в солнечных элементах (СЭ), по разным оценкам, может привести к увеличению их КПД до 70 % и выше [4].

Существует два принципа формирования КТ: принцип «снизу — вверх» и «сверху — вниз». К способам, основанным на первом принципе, относится самоорганизация массива КТ отличного от подложки по параметру решетки при эпитаксиальном росте посредством молекулярно-лучевой (МЛЭ), жидкофазной (ЖФЭ) и газотранспортной (ГФЭ) эпитаксии. Недостатками таких методов являются: малая производительность процесса, дорогостоящее оборудование, использование сверхчистых материалов (для МЛЭ), использование ядовитых химических веществ (ГФЭ и МОС-гидридная эпитаксия), а также требование высококвалифицированного персонала [3].

Принцип «сверху — вниз» основан на получении КТ из сплошной структуры посредством травления через маскирующее покрытие, полученное, например, с

помощью фотолитографии [1].

В связи с этим, целью данной исследовательской работы являлось исследование возможности получения микро- и наноструктур ионно-лучевым методом для их использования в полупроводниковой индустрии и солнечной энергетике.

С помощью установки ионно-лучевого распыления была отработана технология получения микро- и наноструктур полупроводников A_3B_5, которая в дальнейшем может быть применена для получения массива КТ.

Суть эксперимента заключалась в получении само организованной маски и последующего травления полупроводниковой подложки потоком ионизированных частиц аргона.

Подложка GaAs протравленная химически, очищенная и обезжиренная, была термически обработана, в результате чего на поверхности подложки были получены капли галлия, образовавшиеся в связи с диссоциацией поверхностных молекул GaAs. В результате разогрева подложки атомы мышьяка десорбировались, а галлий скапливался на поверхности. Так как галлий плохо смачивал GaAs подложку, он собирался в капельки различной формы и размеров.

Была проведена серия экспериментов по отжигу GaAs подложки, в ходе которой была выявлена оптимальная температура T=575 °C, при которой образовывались нанокапли различного размера. Большие капли имели размер порядка 250—350 нм, между которыми располагались маленькие капли размером около 80—100 нм (рис. 1).

Затем, полупроводниковую подложку с маскирующим покрытием подвергали ионно-лучевому травлению при временах проведения данного процесса равных 4, 8, 12 минут. Под маскирующим покрытием материал подложки не стравливался, в результате чего образовывались определенные наноструктуры.

Полученные образцы были исследованы на растровом электронном микроскопе (РЭМ) Quanta 200 и атомно-силовом микроскопе (АСМ) Solver HV. Обработка полученных АСМ изображений произведена в программной среде Nova 1000.

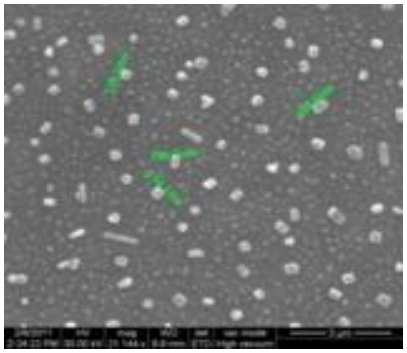


Рис. 1. РЭМ изображение поверхности подложки GaAs, после термической обработки.

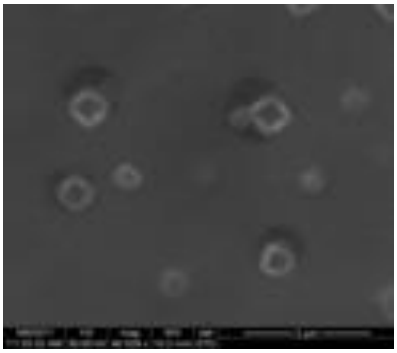


Рис. 2. РЭМ изображение поверхности подложки GaAs протравленной ионным пучком через само организованную маску, t=8 мин.

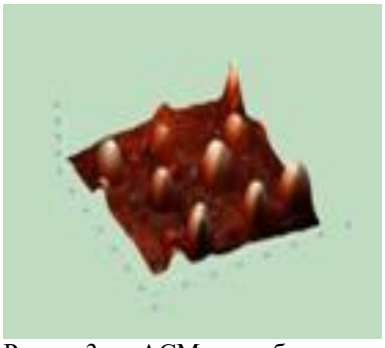


Рис. 3. АСМ изображение наноструктур на поверхности подложки GaAs, после ионно-лучевого травления через маску, t=12 мин.

На образце № 1, подвергшемся травлению 4 минуты, капли протравленной области уменьшились приблизительно на 10—15 %. Форма капель стала более округлая.

В результате проведения данного эксперимента можно сделать вывод о том, что время травления 4 минуты было не достаточно для полного вытравливания капель галлия.

При исследовании образца № 2 (время травления 8 минут), на РЭМ фотографиях было показано, что большие капли галлия уменьшились в размерах, а мелкие капли почти полностью стравились (рис. 2).

На РЭМ изображениях поверхности подложки образца № 3 (время травления 12 минут) наблюдаются остатки стравленных больших капель галлия. Маленькие капельки галлия полностью стравлены.

Лучшие результаты были достигнуты при максимальном времени травления t=12 мин. На изображениях, полученных на атомно-силовом микроскопе (АСМ), видны нано структуры образовавшиеся под каплями галлия, которые были использованы в качестве маски при ионно-лучевом травлении (рис. 3).

Размеры наноструктур по высоте варьируется от 50 до 180 нм. Диаметр в основании составляет примерно 370 нм.

В результате проведения данных исследований можно сделать вывод о том, что получение наноструктур данным методом весьма перспективно.

Основной проблемой данного метода на данный момент остается проблема получения маски с заданными параметрами, для получения структур определенной формы и размеров.

При использовании комбинированного метода ионно-лучевого распыления и травления возможно получать гетероструктуры с квантовыми точками. Для этого необходимо: 1) напылить один полупроводниковый материал на подложку другого полупроводника; 2) нанести маскирующее покрытие, например, как в нашем случае, методом самоорганизации при термическом воздействии; 3) протравить осажденную полупроводниковую пленку через маскирующее покрытие ионным пучком до полного стравления осажденного материала. В результате получится массив квантовых точек одного полупроводникового материала на другом.

Список литературы

[1]. Бериш Р., Виттмак К., Легрейд Н. Распыление под действием бомбардировки частицами. Выпуск 3: Характеристики распыленных частиц, применения в технике., пер. с англ. СПб. : Мир, 1998. 551 с.

[2]. Ефремов А. М., Светцов В. И., Рыбкин В. В. Вакуумно-плазменные процессы и технологии: Учебное пособие, ГОУВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2006. 260 с.

[3]. Оуэнс Ф., Пул-мл. Ч. Нанотехнологии. М.: Техносфера, 2007. 327 с.

[4]. Cuadra L, Marti A., Lopez N. II 3rd World Conf. on Photovoltaic Energy Conversion. Osaka, Japan, 2003. PCD IPL-B2-01.

YARIMO‘TKAZGICHLI TERMOJUFTLARDA ISSIQLIK VA ELEKTR O‘TKAZUVCHANLIK JARAYONLARINI NAZARIY TADQIQ ETISH

B.O. Akramov

Oziq-ovqat texnologiyasi va muhandisligi xalqaro instituti

(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada termoelektrik hodisalarning fizik asoslari va yarimo‘tkazgichli termojuftlarning ishlash prinsipi nazariy jihatdan tahlil qilinadi. Zeebek, Peltier va Tomson effektlari asosida issiqlik va elektr energiyasining o‘zaro bog‘liqligi ko‘rib chiqiladi. Izotrop qattiq jismlarda issiqlik va elektr zaryadining uzatilish jarayonlarini ifodalovchi asosiy tenglamalar keltirilib, termoelektrik qurilmalarning energiya balansiga ta’siri o‘rganiladi. Shuningdek, termojuftlarning generator va sovutgich rejimlarida ishlashi, maksimal quvvat va foydali ish koeffitsienti shartlari matematik modellar asosida aniqlanadi. Olingan natijalar termoelektrik qurilmalar samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega.*

Kalit so‘zlar: *Termoelektrik hodisalar, termojuft, Zeebek effekti, Peltier effekti, Tomson effekti, issiqlik o‘tkazuvchanlik, elektr o‘tkazuvchanlik, energiya balansi, termoelektrik generator, foydali ish koeffitsienti (FIK), yarimo‘tkazgich materiallar.*

Аннотация. *В данной работе проведён теоретический анализ физических основ термоэлектрических явлений и принципа работы полупроводниковых термопар. Рассмотрены эффекты Зеебека, Пельтье и Томсона, а также взаимосвязь тепловой и электрической энергии. Приведены основные уравнения переноса тепла и электрического заряда в изотропных твёрдых телах и исследовано их влияние на энергетический баланс термоэлектрических устройств. Кроме того, проанализированы режимы работы термопар (генераторный и холодильный), а также определены условия максимальной мощности и коэффициента полезного действия на основе математических моделей. Полученные результаты имеют важное значение для повышения эффективности термоэлектрических систем.*

Ключевые слова: *Термоэлектрические явления, термопара, эффект Зеебека, эффект Пельтье, эффект Томсона, теплопроводность, электропроводность, энергетический баланс, термоэлектрический генератор, коэффициент полезного действия, полупроводниковые материалы.*

Abstract. *This paper presents a theoretical analysis of the physical principles of thermoelectric phenomena and the operation of semiconductor thermocouples. The Seebeck, Peltier, and Thomson effects are examined, highlighting the interrelation between thermal and electrical energy. The fundamental equations describing heat and charge transport in isotropic solids are formulated, and their influence on the energy balance of thermoelectric devices is investigated. In addition, the operating modes of thermocouples, including power generation and cooling, are analyzed, and the conditions for maximum power and efficiency are determined using mathematical models. The obtained results are significant for improving the performance of thermoelectric systems.*

Keywords: *Thermoelectric phenomena, thermocouple, Seebeck effect, Peltier effect, Thomson effect, thermal conductivity, electrical conductivity, energy balance, thermoelectric generator, efficiency, semiconductor materials.*

Termoelektrik hodisalar zamonaviy energetika va issiqlik texnologiyalarida muhim o‘rin tutadi. Xususan, issiqlik energiyasini bevosita elektr energiyasiga aylantirish imkonini beruvchi termoelektrik generatorlar (TEG) hamda sovutish tizimlarida qo‘llaniladigan termoelektrik qurilmalar ilmiy va amaliy jihatdan katta ahamiyat kasb etmoqda. Bunday qurilmalarning asosiy elementi bo‘lgan termojuftlar Zeebek, Peltier va Tomson effektlari asosida ishlaydi.

So‘nggi yillarda energiya tejamkor texnologiyalarga bo‘lgan ehtiyojning ortishi termoelektrik materiallar va qurilmalarni chuqur o‘rganishni talab etmoqda. Ayniqsa, yarimo‘tkazgichli termojuftlarning samaradorligini oshirish, ularning issiqlik va elektr transport xususiyatlarini optimallashtirish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi.

Mazkur ishda izotrop qattiq jismlarda issiqlik va elektr zaryadining uzatilish jarayonlari nazariy jihatdan tahlil qilinadi. Termojuft elementlarida issiqlik oqimi, elektr toki va energiya balansini ifodalovchi asosiy tenglamalar keltirilib, ularning fizik mazmuni yoritiladi. Shuningdek, termoelektrik qurilmalarning turli ish rejimlari — generator va sovutgich rejimlari matematik modellar asosida o‘rganiladi hamda maksimal quvvat va foydali ish koeffitsienti (FIK) sharoitlari aniqlanadi.Zeebek koeffitsienti termojuft orqali harorat farqi mavjud bo‘lganda paydo bo‘ladigan kuchlanishni belgilaydi va uning energiya samaradorligini aniqlashda muhim ahamiyatga ega. Elektr qarshiligi esa termojuft orqali oqayotgan tokning qarshiligi bo‘lib, energiyaning issiqlik sifatida yo‘qolishiga ta’sir qiladi. Termal o‘tkazuvchanlik material orqali issiqlikning qanday tezlikda uzatilishini ko‘rsatadi; yuqori o‘tkazuvchanlik energiya yo‘qotilishini oshiradi va samaradorlikni kamaytiradi. Energiya chiqishi termojuftning ishlashi natijasida hosil bo‘ladigan elektr energiya miqdoriga bog‘liq bo‘lib, Zeebek koeffitsienti, harorat farqi va tok bilan belgilanadi. Shu bilan birga, samaradorlik termojuftning issiqlik energiyasini elektr energiyasiga aylantirish qobiliyatini ko‘rsatadi. Izotrop qattiq jismda issiqlik va elektr zaryadini uzatish jarayonlari quyidagi tenglamalar orqali ifodalanadi:

$$j = -\frac{1}{\rho}(\alpha \nabla T + \nabla \varphi)$$

$$div\, j = 0$$

Mazkur tenglamalar yarimo‘tkazgichli termojuftlarda ($\alpha \neq 0$) kuzatiladigan termoelektrik effektlarni, shuningdek issiqlik uzatish, elektr shinalari, issiqlik va elektr izolyatsiyasi kabi holatlarda ($\alpha = 0$) sodir bo‘ladigan jarayonlarni tavsiflaydi. Ular termoelektrik batareyaning istalgan elementi uchun umumiy ko‘rinishdagi asosiy muvozanat tenglamalari hisoblanadi.

Muayyan qurilma uchun bu tenglamalarning umumiy yechimini olish materiallarning termofizik xususiyatlarining harorat va koordinatalarga murakkab bog‘liqligi tufayli juda qiyin. Biroq, TEG (Termoelektrik generator) issiqlik va quvvat hisob-kitoblarida ko‘p hollarda T va φ ning doimiy qiymatlarini aniqlashni talab qilinmaydi. Odatda, faqat integral xususiyatlarni bilish kerak, masalan, issiqlik oqimlari, elektr quvvati, samaradorlik va boshqalar, shuning uchun issiqlik va elektr uzatish tenglamalari strukturaning har bir alohida elementida issiqlik oqimi va elektr toki ta’sirida hal qilinadi. Harorat bir xil chegaralarda berilgan potentsial qiymatlarga qarab, uning chegaralari topiladi. Olingan munosabatlar (issiqlik balansi tenglamalari va oqim-kuchlanish

xarakteristikasi) yuqoridagi differensial tenglamalar o‘rnini bosadi va termoelektrik batareyani hisoblash issiqlik va zaryad balansi tenglamalarining algebraik tizimini yechishga qisqartiriladi. Ushbu yondashuvga muvofiq, biz strukturaning asosiy elementlari uchun bunday munosabatlarni ketma-ket ravishda olamiz.

Demak, yarimo'tkazgichli termojuftlar bilan boshlaylik, u uzunligi *l* doimiy kesma maydoni *S* bo‘lgan sterjendir. Uning chegaralarida (kesimlarida) harorat va potentsial qiymatlari berilgan:

$$T(0) = T_0, \qquad T(1) = T_1$$
$$\varphi(0) = \varphi_0, \qquad \varphi(1) = \varphi_1$$

Biz hozircha materialning $\alpha, \chi \; va \; \rho$ xossalari doimiy bo‘lgan holat bilan cheklanamiz. Shuni ta’kidlaymizki, doimiy moddiy xususiyatlar uchun yechimlar $\alpha, \chi \; va \; \rho$ haroratga uzviy bilan bog‘liq bo‘lgan taqdirda ham, agar biz ularning ma’lum qoidalarga muvofiq hisoblangan o‘rtacha (yoki samarali) qiymatlaridan foydalansak bo‘ladi.

Ko‘p elementli termojuftda har bir termojuftning yon yuzasidan issiqlik yo‘qotishlari odatda e’tiborsiz qolishi mumkin, barcha miqdorlar faqat x koordinatasiga bog‘liq, ya’ni bir o‘lchovli. Tok zichligi ***j***, issiqlik oqimi zichligi ***q*** va energiya oqimining zichligi ***ω*** uchun ijobiy yo‘nalish sifatida biz shartli ravishda x o‘qiga qarama-qarshi yo‘nalishni tanlaymiz, ya’ni:

$$j=-j_x, \quad q=-q_x, \quad \omega = -\omega_x$$

U holda 1 tenglama quyidagi ko‘rinishga keladi:

$$j = \frac{1}{\rho}(\alpha\frac{dT}{dx} + \frac{d\varphi}{dx}); \tag{1}$$

$$q = \chi\frac{dT}{dx} + \alpha T j, \quad \omega = q + \varphi j; \tag{2}$$

$$\frac{d\omega}{dx} = 0 \tag{3}$$

$$\frac{dj}{dx} = 0 \tag{4}$$

Energiyaning saqlanish qonuni (3) da harorat uchun differensial tenglamani nazarda tutadi (issiqlik o‘tkazuvchanlik tenglamasi).

$$\chi\frac{d^2T}{dx^2} + j^2\rho = 0 \tag{5}$$

Bu yerda (4) ga muvofiq *j* = *const* va Tomson issiqligi esa yo‘q, chunki *α* = *const* uchun koeffitsient $\tau = T\frac{d\alpha}{dT}$ nolga teng bo‘ladi.

(5) ifodani (1) ifodada keltirilganga ko‘ra yechilsa x koordinatasi bo‘yicha temperaturani aniqlaymiz:

$$T(x) = T_0 + \frac{T_1 - T_0}{l}x + \frac{1}{2}\frac{j^2\rho}{\chi}x(l-x).$$

bu yerda birinchi ikkita atama chiziqli taqsimotga to‘g‘ri keladi, undan og‘ish Joul isishi (uchinchi shart) bilan bog‘liq. Topilgan taqsimotni T(x) ni (2) ga almashtirish orqali issiqlik oqimi zichligini x=0 va x = 1 oraliqda hisoblash imkonini beradi (issiqlik balansi tenglamalari):

$$q(0) = q_0 = x\frac{T_1 - T_0}{l} + j\alpha T_0 + \frac{1}{2}j^2\rho l,$$
$$q(l) = q_1 = \chi\frac{T_1 - T_0}{l} + j\alpha T_1 - \frac{1}{2}j^2\rho l.$$

Ushbu ifodalar qo‘shimcha ravishda issiqlik o‘tkazuvchanligi, Peltier issiqligining ulanish joylarida chiqishi (yutilishi) va issiqlik ustunining hajmida Joul issiqligining chiqishi bilan issiqlik o‘tkazuvchanligini hisobga oladigan atamalarni o‘z ichiga oladi. Potensiallar farqi (kuchlanish), tok oqim zichligi ***j***, ya’ni volt-amper xarakteristikasiga ko‘ra, biz (1) ifodani *X* o‘qi bo‘ylab 0 dan *l* gacha bo‘lgan oraliqda integrallash orqali quyidagi ifodani olamiz:

$$\varphi_0 - \varphi_1 \equiv U = \alpha(T_1 - T_0) - j\rho l$$

Endi o‘ziga xos qiymatlarni termojuftlarning S maydoniga ko‘paytiramiz, hamda yuqoridagi munosabatlarni shaklda qayta yozamiz.

$$Q_0 = S\chi\frac{T_1 - T_0}{l} + J\alpha T_0 + \frac{1}{2}J^2R,$$
$$Q_1 = S\chi\frac{T_1 - T_0}{l} + J\alpha T_1 - \frac{1}{2}J^2R,$$
$$V = \alpha(T_1 - T_0) - JR, \tag{6}$$

bu yerda $R = \rho\frac{l}{S}$ – termojuftning ichki elektr qarshiligi; $J=jS$ – elektr toki; $Q = q_0 S$ va $Q_1 = q_1 S$ – issiqlik oqimlari.

Algebraik tenglamalar (6) yarimo‘tkazgichli termojuftlar ishini to‘liq tavsiflaydi va har qanday termoelektrik qurilmaning issiqlik va quvvatini hisoblash uchun asosdir. Shuni ta’kidlash kerakki, differensial tenglamalarni yechishda birinchi turdagi (1) chegaraviy shartlardan foydalanish hech qanday holatda natijaning umumiyligini kamaytirmaydi. x=0 va x=l da harorat va potentsial qiymatlari shunchaki parametrlar bo‘lib, ular orqali $\boldsymbol{Q_0}$, $\boldsymbol{Q_1}$ va $\boldsymbol{J}$ funktsiyalarini ifodalash qulay bo‘ladi.

Termojuftlarning asosiy ishlash rejimlarini ko‘rib chiqamiz. Issiqlik oqimi Q bu yerda T haroratda issiqlik manbasidan termojuftlar tutashuviga vaqt birligida beriladigan issiqlik miqdori, Q_0esa T haroratda boshqa tutashuvdan sovutgichga vaqt birligida chiqarilgan issiqlik miqdoridir T_0(T_0< T_1). Ularning farqi elektr energiyasiga aylanadi, bu yuklanish esa foydali ishni bajaradi, bu orqali elektr berk konturga aylanadi. Darhaqiqat, Q_0 va Q_1 farqidan biz shuni topib olsak Q_1-Q_0=W, bu yerda $\boldsymbol{P=IU}$ – yuklanishning elektr quvvati. Bunday holda, issiqlik energiyasini elektr energiyasiga aylantirish samaradorligi quvvatning kirish quvvatiga nisbati sifatida aniqlanadi. $\eta = \frac{P}{Q_1}$

Volt amper xarakteristikasi ifodasidan ko‘rinib turibdiki, elektr toki J noldan qisqa tutashuv oqimigacha o‘zgarganda quvvat musbat bo‘ladi:

$$J_{qt} = \frac{\alpha(T_1 - T_0)}{R}$$

Bunday oqimlarda termojuftlar generator rejimida ishlaydi, issiqlikni elektr energiyasiga aylantiradi. Formulalar tahlili (11) shuni ko‘rsatadiki, J<0 bo‘lganda Q<0, uchun Q_0<0, P<0 vaziyat yuzaga kelishi mumkin. Bu holda (biz buni tekshirmaymiz) issiqlik past haroratli T_0 birikma yuqori haroratli T_1 birikmaga termojuft muzlatgich yoki issiqlik nasosi rejimida ishlaydi.

O‘zgaruvchi J ning qiymatini noldan J_{qt} oralig‘ida tanlash uchun ba’zi qo‘shimcha shartlarni kiritish kerak. Odatda, bu maksimal yoki quvvat P yoki FIK η ga bog‘liq. Shunga ko‘ra, maksimal quvvat va maksimal FIK termojuftlarning ikkita ish rejimi ajratiladi. Quvvat yoki oqim samaradorligini optimallashtirishda tegishli chegara shartlaridan foydalanish kerak, ya’ni. T_0 va T_1 o‘tish joylarining haroratini ma’lum bir muammoda ko‘rsatilgan qiymatlar bilan bog‘lash, masalan, issiqlik oqimlari yoki atrof-muhit harorati va issiqlik uzatish koeffitsientlari va boshqalar. Shunday qilib, oqimning optimal qiymati J va energiya xususiyatlarining mos keladigan qiymatlari turli chegara sharoitlari uchun har xil bo‘ladi.

Eng oddiy, lekin ayni paytda amaliy jihatdan muhim holat sifatida T_0 = const, T_1=const shartlarini ko‘rib chiqamiz. O‘tish joylarining doimiy haroratida Volt amper xarakteristikasi chiziqli, elektr quvvati elektr tokga qarab parabola ko‘rinishida bo‘ladi. U holda tok quyidagiga teng bo‘ladi

$$J = \frac{\alpha(T_1 - T_0)}{2R}, \qquad (7)$$

quvvat maksimumga erishganda

$$P = \frac{\alpha^2 (T_1 - T_0)^2}{4R}$$

Olingan optimal oqim qiymatini maksimal quvvat rejimida (7) issiqlik oqimlari, kuchlanish va FIK formulalariga almashtirib, ushbu xususiyatlarning mos keladigan qiymatlarini topish mumkin. Endi maksimal FIK rejimiga o‘tamiz. Bu yerda J o‘zgaruvchisi o‘rniga formula bo‘yicha yangi M o‘zgaruvchisini kiritish qulay

$$J = \frac{\alpha(T_1 - T_0)}{R(M+1)}$$

U holda issiqlik oqimlari, kuchlanish va quvvat uchun ifodalar quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi

$$Q_0 = S\chi\frac{T_1 - T_0}{l}\left[1 + \frac{zT_0}{M+1} + \frac{1}{2}\frac{z(T_1 - T_0)}{(M+1)^2}\right],$$

$$Q_1 = S\chi\frac{T_1 - T_0}{l}\left[1 + \frac{zT_0}{M+1} - \frac{1}{2}\frac{z(T_1 - T_0)}{(M+1)^2}\right]$$

$$V = \alpha(T_1 - T_0)\frac{M}{M+1},$$

$$P = \frac{\alpha^2(T_1 - T_0)^2}{R}\frac{M}{(M+1)^2} \qquad (8)$$

Bu yerda $z = \alpha^2/\rho\chi$ parametri materialning asillilik holatini tavsiflaydi. Yuklanish qarshiligining termojuftlarning ichki qarshiligiga nisbati ma'nosiga ega bo'lgan o'lchamsiz M, o'zgaruvchisiga o'tish Q va Q_0 iboralarda asosiy ko'rsatkich sifatida issiqlik o'tkazuvchanligi tufayli issiqlik oqimini ajratib ko'rsatishga imkon berdi.

Adabiyotlar

[1]. И.В.Савелев. Курс общей физика. Т.1.М. «Наука», 1986.

[2]. О.В. Марченко, А.П. Кашин, В.И. Лозбин, М.З. Максимов "Методы расчета термоэлектрических генераторов" . Сибирская издательская фирма «Наука», 1995

[3]. JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, VOL. 20, NO. 5, OCTOBER 2011, "Multistage Planar Thermoelectric Microcoolers" Andrew J. Gross, Gi Suk Hwang, Baoling Huang, Hengxi Yang, Niloufar Ghafouri, Student Member, IEEE, Hanseup Kim, Member, IEEE, Rebecca L. Peterson, Member, IEEE, Ctirad Uher, Massoud Kaviany, Fellow, ASME, and Khalil Najafi, Fellow, IEEE

[4]. Mamatkarimov O.O., Vlasov S.I., Nazirov D.E. «Yarimo'tkazgich materiallar va asboblar fizikasi praktikumi». T. O'zMU. 2007.

[5]. B.O.Akramov. Termoelektrik hodisalarning termodinamik asoslari va mikromodul sovutgichlarda ularning roli. [Monografiya] – "Omadbek print number one" MCHJ. Andijon: 2025. – 100 b

БЕСПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ

Б.К. Туйчибаев студент группы 55-25 DIr В.Шачнев

Ферганский государственный технический университет

(Получена 10.03.2026 г.)

***Аннотация**. В данной статье сравниваются инновационные методы беспроводной передачи энергии, выявлены перспективные отрасли для внедрения изобретений. Предложены рекомендации для дальнейшего развития представленных технологий.*

***Ключевые слова**: беспроводная передача энергии, скалярные волны, лазерные технологии.*

***Abstract**. This article compares innovative methods of wireless energy transmission, identifies promising industries for the implementation of inventions, and offers recommendations for the further development of the presented technologies.*

***Keywords**: wireless energy transfer, scalar waves, laser technology.*

***Annotatsiya.** Ushbu maqolada energiyani simsiz uzatishning innovatsion usullari qiyosiy tahlil qilingan, ixtirolarni joriy etish uchun istiqbolli sohalar aniqlangan. Taqdim etilgan texnologiyalarni yanada rivojlantirish bo'yicha tavsiyalar berilgan.*

***Kalit so'zlar:** energiyani simsiz uzatish, skalyar to'lqinlar, lazer texnologiyalari.*

Введение

Со времён открытия электричества и создания электроприборов человечество непрерывно наращивало количество техники для модернизации производства и улучшения качества жизни. Компьютеры, роботы, принтеры и другие приборы изменили экономику и уклад общества, вынудив искать новые источники и способы транспортировки большого объёма электроэнергии. Потенциально новые технологии существенно повысят эффективность отраслей: от энергетики до космонавтики.

Анализ научных исследований

Таблица 1.

Технологии беспроводной передачи энергии

Технология	**Скалярные волны**	**Лазерное излучение**
Принцип работы	Волны скалярного и векторного потенциала без электрического или магнитного поля	Направленный лазерный луч, преобразуемый в электричество фотоэлементами
Эффективность	Теоретически высокая, но практические данные отсутствуют	10–20% т.к. ограничено преобразованием света в электричество
Преимущества	Не нужны проводники, возможна передача через атмосферу и вакуум	Высокая направленность, компактность техники, отсутствие помех и возможно применение в космосе
Недостатки	Сложность генерации и приёма энергии	Зависимость от погоды, необходимость прямой видимости.
Сферы внедрения	Промышленность, энергоснабжение городов	Космос, БПЛА, бытовые устройства

На данный момент представленные технологии кажутся перспективными, однако существенные недостатки препятствуют массовому внедрению в экономику.

Описание методики исследования

С помощью анализа научных публикаций было проведено сравнение технологий беспроводной передачи энергии. Каждая технология проверялась по ключевым параметрам: эффективность, преимущества и недостатки, а также потенциальные сферы внедрения.

Результаты исследований

На основании исследования выявлено, что лазерные технологии являются наиболее перспективным направлением, учитывая уровень научно-технического прогресса и развитие космической отрасли. Будущие проекты исследования Солнечной системы будут зависеть от стабильного и постоянного источника электричества. Используя “Солнечные станции” и лазерные технологии можно упростить добычу и транспортировку энергии в космосе, ускорив темпы колонизации.

Заключение

Несмотря на сложность исследований, учёные со всего мира не прекращают поиск революционной технологии в энергетической отрасли. Преуспев в этом направлении, люди смогут избавиться от проводов, предоставив доступ к электричеству в любой стране на Земле. Это открытие станет технологическим переворотом, которое кардинально изменит транспорт, промышленность и повседневную жизнь. В перспективе ускорит освоение галактики, сделав беспроводную энергию основой будущей космической цивилизации.

Список литературы

[1]. Трунев, А.П. Скалярные волны и беспроводная передача электричества.// Научный журнал КубГАУ. – 2013. № 93(09). – С. 71–92. URL:https://elibrary.ru/item.asp?id=20929321

[2]. Бойчук Е.С., Киреева Н.М., Гаркушин А.А, Струк В.К., Криштоп В.В, Карпец Ю.М, Ливашвили А.И. Передача энергии лазерным излучением в свободном пространстве. // Бюллетень научных сообщений. – 2020. № 25. – С. 91–102. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=44349072

n-SnO_2/p-Si TUZILMALARDA FOTOLYUMINESSENSIYA HAMDA YAQIN IK YUTILISHNING QIYOSIY ILMIY TAHLILI

N.A. Sultanov, M.M. Madraximov

Farg'ona davlat texnika universiteti,
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Аннотация. *В данной работе проведено сравнительное исследование оптических свойств двух комплементарных гетеропереходов на основе SnO_2/Si — p-SnO_2/n-Si и n-SnO_2/p-Si. Для структуры p-SnO_2/n-Si в спектре фотолюминесценции (PL) зарегистрирован доминирующий узкий пик излучения при λ≈700 нм (E≈1.77 эВ). В образце n-SnO_2/p-Si в ближней инфракрасной области наблюдается сильное поглощение (или резкое снижение пропускания) при λ≈1000 нм (E≈1.24 эВ). Полученные результаты показывают, что в видимой области спектра доминируют глубокие радиационные центры, тогда как в ближнем инфракрасном диапазоне преобладают переходы, связанные с кремнием и поддерживаемые интерфейсными состояниями. Подчёркивается, что полярность гетероперехода, дефектная структура и интерфейсный потенциал позволяют целенаправленно управлять спектральным откликом.*

Ключевые слова: *SnO_2/Si гетероструктура; фотолюминесценция; ближнее инфракрасное поглощение; интерфейсные состояния; рекомбинация с участием ловушек; спектральная селективность.*

Abstract. *In this work, a comparative study of the optical properties of two complementary SnO_2/Si heterojunctions — p-SnO_2/n-Si and n-SnO_2/p-Si — is presented. For the p-SnO_2/n-Si structure, a dominant and narrow emission peak is observed in the photoluminescence (PL) spectrum at λ≈700 nm (E≈1.77 eV). In contrast, the n-SnO_2/p-Si sample exhibits strong absorption (or a sharp decrease in transmittance) in the near-infrared region around λ≈1000 nm (E≈1.24 eV). The results indicate that deep radiative centers dominate the emission in the visible region, whereas silicon-related and interface-assisted transitions prevail in the near-infrared range. It is emphasized that the junction polarity, defect landscape, and interface potential enable purposeful tuning of the spectral response.*

Keywords: *SnO_2/Si heterostructure; photoluminescence; near-infrared absorption; interface states; trap-assisted recombination; spectral selectivity.*

Annotatsiya. *Ushbu ishda SnO_2/Si asosidagi ikki komplementar geteroulanish — p-SnO_2/n-Si va n-SnO_2/p-Si — ning optik xususiyatlari qiyosiy o'rganildi. p-SnO_2/n-Si tuzilma uchun PL spektrida λ≈700 nm atrofida ustun va tor emissiya cho'qqisi qayd etildi (E≈1.77 eV). n-SnO_2/p-Si namunasida esa yaqin IK sohada λ≈1000 nm atrofida kuchli yutilish (yoki o'tkazuvchanlikning keskin pasayishi) kuzatildi (E≈1.24 eV). Natijalar ko'rinadigan soha emissiyasida chuqur radiasion markazlar, yaqin IK diapazonda esa kremniyga bog'liq va interfeys orqali qo'llab-quvvatlanuvchi o'tishlar ustun ekanini ko'rsatdi. Ta'kidlanishicha, ulanish qutblanishi, defekt manzarasi va interfeys potensiali spektral javobni maqsadli boshqarish imkonini beradi.*

Kalit so'zlar. *SnO_2/Si geterostruktura; fotolyuminessensiya; yaqin IK yutilish; interfeys holatlari; trap-assisted recombination; spektral selektivlik.*

SnO_2 keng zonali oksid yarimo'tkazgich bo'lib, yuqori shaffoflik, ximiyaviy barqarorlik va texnologik moslashuvchanlik kabi afzalliklarga ega. Kremniy (Si) bilan biriktirilganda SnO_2/Si geteroulanishlar fotodetektor, selektiv sensor va gibrid optoelektron qurilmalar uchun istiqbolli platformaga aylanadi. Bunda optik javob faqat hajmiy zonalararo o'tishlar bilan emas, balki interfeysdagi energiya sathlari, sirt holatlar va kislorodga bog'liq defektlar bilan ham belgilanadi.
Aynan shu sababli ikki qarama-qarshi qutbli tuzilmalarni (p-SnO_2/n-Si va n-SnO_2/p-Si) qiyosiy tahlil qilish rekombinatsiya va yutilish mexanizmlarini ochishda muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu maqolada PL va yaqin IK spektrlar birgalikda tahlil qilinib, dominant energetik kanallar va ularning fizik tabiati ilmiy muhokama qilindi.

Spektral cho'qqiga mos energiya quyidagi munosabat orqali baholandi:

$$E\ (eV) = 1240 / \lambda\ (nm)$$

Ushbu ifoda asosida p-SnO_2/n-Si uchun λ≈700 nm → E≈1.77 eV, n-SnO_2/p-Si uchun λ≈1000 nm → E≈1.24 eV qiymatlar olindi.

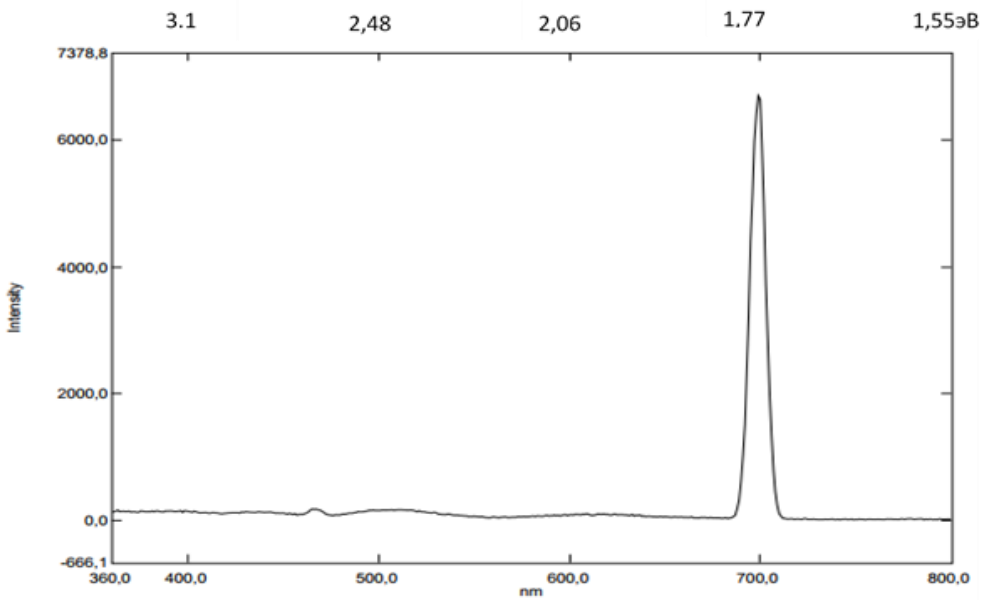
SnO_2/Si interfeysidagi potensial profil, depletion sohasi kengligi va trap-sathlar zichligi fotogeneratsiyalangan tashuvchilarning ajralishi, tutilishi va rekombinatsiya ehtimolini belgilaydi. Chuqur sathlar odatda keng energiya intervalida lokallashgan bo‘lib, muayyan sharoitlarda tor emissiya kanalini ham shakllantirishi mumkin. Kremniy tomonida esa yaqin IK diapazondagi o‘tishlar interfeys orqali kuchayishi ehtimoli yuqori.

SnO_2 yupqa plonkalari kremniy podlojkalar ustiga [depozisiya usuli: vakumda termik bug’latish] orqali hosil qilindi. p-SnO_2/n-Si va n-SnO_2/p-Si tuzilmalari uchun podlojka turi, qalinlik, harorat, bosim va annealing parametrlari [jadvalda] ko‘rsatildi. PL o‘lchovlar 360-800 nm diapazonda, yaqin IK o‘lchovlar 200-1400 nm diapazonda bajarildi. Spektrlar bazaviy chiziqka nisbatan korrektirovka qilinib, nisbiy birliklarda taqdim etildi.

Takrorlanuvchanlikni baholash maqsadida har bir tuzilma uchun kamida 3 ta namuna o‘lchandi. Natijalarni statistik solishtirishda cho‘qqi pozisiyasi (λ0), yarim-kenglik (FWHM) va nisbiy maydon kabi parametrlar qo‘llandi.

n-SnO_2/p-Si geterostrukturasining PL tahlili. PL spektrida λ≈700 nm atrofida juda kuchli va tor cho‘qqi qayd etildi. Energetik mos qiymat E≈1.77 eV bo‘lib, bu ko‘rinadigan diapazonda defekt orqali radiasion rekombinatsiya ustunligini ko‘rsatadi. 450-600 nm intervaldagi past intensivlikli fon/yelka esa qo‘shimcha, kam samarali lokal markazlar hissasini anglatadi.

Cho‘qqining torligi (kichik FWHM) dominant kanalning energetik jihatdan nisbatan bir xil ekanini ko‘rsatadi. Agar qo‘zg‘atish quvvati oshirilganda cho‘qqi pozisiyasi o‘zgarmasa, bu markazning barqaror defekt tabiatini tasdiqlaydi. Aksincha, kuchli siljish kuzatilsa, interfeysdagi ko‘p kanalli rekombinatsiya yoki mahalliy qizish ta’siri inobatga olinishi lozim.



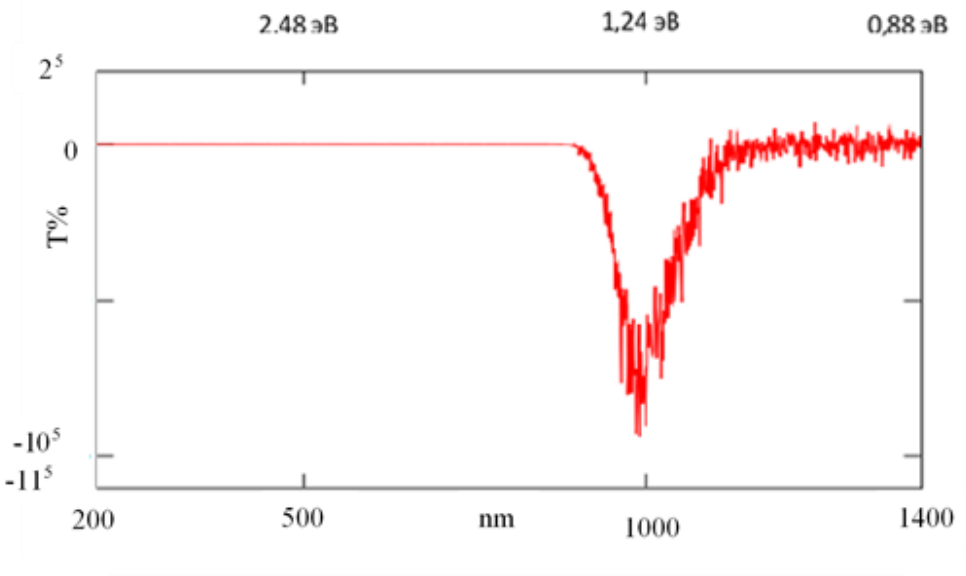
4-rasm. p-SnO2/n-Si geterostrukturasining fotolyuminestsentsiya spektri

n-SnO_2/p-Si tuzilmasida yaqin IK yutilish xususiyatlari.

n-SnO_2/p-Si spektrida λ≈1000 nm atrofida chuqur minimum kuzatildi. Unga mos energiya E≈1.24 eV bo‘lib, ushbu sohada optik o‘tish ehtimoli ortganini ko‘rsatadi. Bunday minimum odatda Si tomoniga bog‘liq o‘tishlar va interfeys yordamchi kanallar (interface-assisted transitions) bilan izohlanadi.

n-SnO_2/p-Si spektrida λ≈1000 nm atrofida chuqur minimum kuzatildi. Unga mos energiya E≈1.24 eV bo‘lib, ushbu sohada optik o‘tish ehtimoli ortganini ko‘rsatadi. Bunday minimum odatda Si tomoniga bog‘liq o‘tishlar va interfeys yordamchi kanallar (interface-assisted transitions) bilan izohlanadi.

Shu nuqtai nazardan, SnO_2/Si tizimida spektral selektivlikni sozlash uchun quyidagi boshqaruv omillari muhim: (i) SnO_2 defekt konsentratsiyasi, (ii) interfeys oksid qavati qalinligi, (iii) annealing atmosferasi, (iv) qo‘shimcha passivation.



5-rasm. n-SnO_2/p-Si namunalaridagi IK yutilish spektrlari

Ushbu qiyosiy tahlil p-SnO_2/n-Si tuzilmasida λ≈700 nm (E≈1.77 eV) atrofida kuchli PL emissiya dominant ekanini, n-SnO_2/p-Si tuzilmasida esa λ≈1000 nm (E≈1.24 eV) yaqin IK sohada kuchli yutilish kanali ustunligini ko‘rsatdi. Natijalar SnO_2/Si geterostrukturalarida optik javobni qutblanish, defektlar va interfeys muhandisligi orqali maqsadli boshqarish mumkinligini tasdiqlaydi. Bu esa spektral selektiv fotodetektorlar va gibrid optoelektron qurilmalar ishlab chiqishda muhim ilmiy-amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar

[1]. С.И.Рембеза, Т.В.Свистова, Е.С.Рембеза, О.И.Борсякова. SnO2 ning yupqa qatlamlarining mikrotuzilishi va fizik xususiyatlari. "Fizika" yarim o'tkazgichlar texnikasi: 2001. T.35, son 7.
[2]. Н.А.Султанов, З.Мирзажонов, Ф.Т.Юсупов. - Кремниy asosida ZnO geterojuftliklarini olish texnologiyasi va elektr xususiyatlari.
[3]. Sze S.M., Ng K.K. Physics of Semiconductor Devices. 3rd ed. Wiley, 2007.
[4]. Streetman B.G., Banerjee S. Solid State Electronic Devices. 7th ed. Pearson, 2014.
[5]. Diebold U. The surface science of tin oxide. Surface Science Reports. 2003;48:53-229.

KOMPLEKS SONLARNING TEXNIKA VA FIZIKA MASALALARIDAGI QO‘LLANILISHI

M.T. Sayitjonova

Andijon davlat texnika instituti
Mas’ul muallif, e-mail:mashasaliyevaaziz@gmail.com
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya, *Ushbu maqolada kompleks sonlarning texnika va fizika masalalaridagi qo‘llanilishi tizimli ravishda tahlil qilinadi. Algebraik, trigonometrik va eksponensial shakllar yordamida elektr zanjirlari, tebranishlar va signal tahlili masalalarida hisoblashlarni soddalashtirish imkoniyati ko‘rsatildi. Shu bilan birga, ta’lim jarayonida kompleks sonlarni amaliy misollar orqali o‘rgatishning samaradorligi muhokama qilindi. Natijalar kompleks sonlarning nafaqat nazariy, balki amaliy jihatdan ham dolzarb ekanligini tasdiqlaydi.*

Kalit so‘zlar: *Kompleks sonlar, algebraik shakl, eksponensial shakl, fizika masalalari, elektr zanjirlari, tebranishlar, signal tahlili, ta’limda qo‘llanilishi.*

Аннотация. *В данной статье систематически анализируется применение комплексных чисел в задачах техники и физики. Показано, что использование алгебраической, тригонометрической и экспоненциальной форм упрощает расчёты в электрических цепях,*

колебательных системах и анализе сигналов. Также обсуждается эффективность преподавания комплексных чисел на практических примерах. Результаты подтверждают, что комплексные числа актуальны не только в теории, но и в практическом применении.

Ключевые слова: *Комплексные числа, алгебраическая форма, экспоненциальная форма, физические задачи, электрические цепи, колебания, анализ сигналов, применение в обучении.*

Abstract. *This paper provides a systematic analysis of the application of complex numbers in technical and physical problems. It demonstrates that the use of algebraic, trigonometric, and exponential forms simplifies calculations in electrical circuits, oscillatory systems, and signal analysis. The study also discusses the effectiveness of teaching complex numbers through practical examples. The results confirm that complex numbers are relevant not only theoretically but also in practical applications.*

Keywords: *Complex numbers, algebraic form, exponential form, physics problems, electrical circuits, oscillations, signal analysis, educational applications.*

1. Kirish. Zamonaviy ilm-fan va texnologiyalar taraqqiyoti matematik modellashtirish usullarining takomillashuvi bilan bevosita bog‘liq bo‘lib, bu jarayonda kompleks sonlar nazariyasi alohida o‘rin egallaydi. Kompleks sonlar dastlab sof matematik tushuncha sifatida shakllangan bo‘lsa-da, bugungi kunda ularning texnika va fizika fanlaridagi amaliy ahamiyati nihoyatda kengaygan. Ayniqsa, chiziqli va chiziqsiz jarayonlarni tahlil qilish, tebranish va to‘lqin hodisalarini modellashtirish hamda elektr va radiotexnika tizimlarini hisoblashda kompleks sonlar asosiy matematik apparat sifatida qo‘llanilmoqda.

Fizik jarayonlarning aksariyati faza va amplituda bilan tavsiflanadigan davriy yoki kvazidavriy xarakterga ega bo‘lib, ularni real sonlar doirasida ifodalash ko‘pincha murakkab hisoblashlarga olib keladi. Shu nuqtayi nazardan, kompleks sonlarning algebraik, trigonometrik va eksponensial shakllari fizik kattaliklarni ixcham, umumlashgan va qulay ko‘rinishda ifodalash imkonini beradi. Euler formulasi, De Moivr tenglamasi va kompleks eksponensial funksiyalar ushbu jarayonlarning matematik mohiyatini ochib berishda muhim vosita hisoblanadi.

Texnika fanlarida, xususan, o‘zgaruvchan tok zanjirlarini tahlil qilishda kompleks qarshilik (impedans) tushunchasining joriy etilishi differensial tenglamalarsiz yechim olish imkonini yaratadi. Bu esa muhandislik hisob-kitoblarining samaradorligini oshirish bilan birga, jarayonlarning fizik mazmunini chuqurroq anglashga xizmat qiladi. Signalni qayta ishlash, aloqa tizimlari va avtomatika sohalarida kompleks sonlar asosida qurilgan matematik modellar signallarning spektral tahlilini amalga oshirishda asosiy rol o‘ynaydi.

Ta’lim jarayonida kompleks sonlarning texnika va fizika bilan uzviy bog‘liqligini yoritish matematika fanining amaliy yo‘naltirilganligini kuchaytiradi. Matematika o‘qituvchisi uchun ushbu mavzuni fanlararo integratsiya asosida o‘qitish o‘quvchilarda analitik tafakkurni rivojlantiradi, nazariy bilimlarni real jarayonlar bilan bog‘lash ko‘nikmasini shakllantiradi. Shu sababli, kompleks sonlarning texnika va fizika masalalaridagi qo‘llanilishini ilmiy-uslubiy jihatdan tahlil qilish dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi.

2. Metodlar. Mazkur tadqiqotda kompleks sonlarning texnika va fizika masalalaridagi qo‘llanilishini o‘rganish **nazariy-analitik**, **matematik modellashtirish** hamda **fanlararo integratsiya** metodlari asosida amalga oshirildi. Tadqiqot metodologiyasi kompleks sonlarning algebraik, trigonometrik va eksponensial shakllaridan foydalanishga asoslanadi hamda ularning fizik jarayonlarni ifodalashdagi samaradorligini aniqlashga yo‘naltirilgan.

Birinchi bosqichda kompleks sonlar algebraik shaklda

$$z = a + bi \quad (a, b \in R,\ i^2 = -1)$$

ko‘rinishida qaralib, ushbu ifodaning o‘zgaruvchan tok zanjirlaridagi kuchlanish va tok tenglamalariga tatbiqi tahlil qilindi. Elektr texnikasida qarshilik, induktivlik va sig‘im elementlari kompleks ko‘rinishda quyidagicha modellashtirildi:

$$Z_R = R, \quad Z_L = i\omega L, \quad Z_C = \frac{1}{i\omega C}$$

bu yerda ω — burchak chastota. Ushbu yondashuv Kirchhoff qonunlarini kompleks algebraik tenglamalar shaklida ifodalash imkonini berdi.[1]

Ikkinchi bosqichda davriy jarayonlarni tahlil qilishda kompleks sonlarning trigonometrik va eksponensial shakllaridan foydalanildi:

$$z = r(\cos\varphi + i\sin\varphi), \quad z = re^{i\varphi}$$

bu yerda = — modul, = — argument. Euler formulasi

$$e^{i\varphi} = \cos\varphi + i\sin$$

asosida mexanik va elektromagnit tebranishlar matematik jihatdan modellashtirildi.[2] Ushbu metod sinusoidal kattaliklarni differensial tenglamalarsiz tahlil qilish imkonini berdi.

Uchinchi bosqichda signalni qayta ishlash masalalari o‘rganilib, kompleks sonlarga tayangan Fourier o‘zgartirishidan foydalanildi:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t}\,dt$$

Bu metod signallarning amplituda va faza spektrlarini aniqlash hamda murakkab signallarni garmonik tarkiblarga ajratishda qo‘llanildi. Natijalar real va mavhum qismlar orqali tahlil qilindi.

Shuningdek, ta’lim jarayoniga tatbiq etish nuqtayi nazaridan kompleks sonlar asosida tuzilgan fizik masalalar didaktik jihatdan tahlil qilindi. Fanlararo integratsiyalashgan masalalarning o‘quvchilarning analitik va mantiqiy fikrlashiga ta’siri pedagogik kuzatuvlar orqali baholandi.

Mazkur metodologik yondashuv kompleks sonlarning texnika va fizika masalalaridagi nazariy va amaliy ahamiyatini tizimli ravishda ochib berish hamda ularni o‘qitish samaradorligini ilmiy asoslashga xizmat qildi.

3. Natijalar. Tadqiqot natijalari kompleks sonlarning texnika va fizika masalalarida qo‘llanilishi jarayonlarni matematik jihatdan soddalashtirish bilan birga, ularning fizik mazmunini chuqurroq anglash imkonini berishini ko‘rsatdi.

O‘zgaruvchan tok zanjirlarini tahlil qilishda kompleks sonlarning algebraik va eksponensial shakllaridan foydalanish elektr parametrlarini ifodalashni ancha qulaylashtirdi. Kompleks qarshilik tushunchasi yordamida zanjirdagi tok va kuchlanishlarni hisoblash oddiy algebraik jarayon sifatida amalga oshiriladi, bu esa amaliy hisob-kitoblarda vaqtni va xatolik ehtimolini sezilarli darajada kamaytiradi.[3] Shu bilan birga, amplituda va faza o‘zgarishlarini tahlil qilish imkoniyati zanjirlar bilan bog‘liq murakkab fizik jarayonlarni aniq va ixcham tarzda modellashtirishga xizmat qiladi.

Mexanik va elektromagnit tebranishlar nazariyasida kompleks eksponensial yondashuv sinusoidal jarayonlarni birlashtirish va ularning natijalarini umumlashtirish imkonini berdi. Masalan, ikki yoki undan ortiq tebranishning yig‘indisi matematik jihatdan murakkab emas, chunki amplituda va fazalar kompleks ko‘rinishda birlashtiriladi. Bu metodik yondashuv tebranishlar va to‘lqinlar xatti-harakatlarini tahlil qilishda hisoblashlarni sezilarli darajada soddalashtiradi.

Signal tahlili sohasida Fourier o‘zgartirishning kompleks sonlar orqali amalga oshirilishi signallarni spektral tarkibga ajratish jarayonini qulaylashtirdi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, amplituda va fazani alohida hisoblash orqali signalning xususiyatlarini aniqlash ancha samarali bo‘ladi. Shu bilan birga, bu yondashuv raqamli va analog aloqa tizimlaridagi signallarni tahlil qilish va optimallashtirish imkoniyatlarini kengaytiradi.

Ta’lim jarayonida ushbu masalalarning yoritilishi o‘quvchilarda matematik va fizik bilimlarni bog‘lash ko‘nikmasini rivojlantiradi. Kompleks sonlarning amaliy qo‘llanilishi misollari o‘quvchilarni nazariy bilimlarni real jarayonlar bilan bog‘lashga rag‘batlantiradi, mantiqiy tafakkur va analitik ko‘nikmalarni mustahkamlaydi. Shuningdek, fanlararo integratsiya orqali murakkab jarayonlarni vizual va matematik jihatdan tushuntirish dars samaradorligini oshiradi.[4]

4. Muhokama. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, kompleks sonlarning texnika va fizika masalalarida qo‘llanilishi nafaqat hisoblashlarni soddalashtiradi, balki jarayonlarning fizik mazmunini chuqurroq tushunishga imkon yaratadi. Masalan, o‘zgaruvchan tok zanjirlarida kuchlanish va tokni kompleks qarshilik orqali ifodalash:

$$Z = R + i\omega L + \frac{1}{i\omega C}$$

amaliy hisob-kitoblarni sezilarli darajada ixchamlashtiradi va tizimning faza-amplituda munosabatlarini aniq ko‘rsatadi. Shu bilan birga, bu yondashuv fizik hodisalarni mantiqan

tushunishga yordam beradi, chunki real va mavhum qismlar orqali jarayonning ikki asosiy xususiyati — amplituda va faza — alohida tahlil qilinadi.

Tebranishlar va to‘lqinlar nazariyasida esa sinusoidal jarayonlarni kompleks eksponensial shaklda ifodalash:

$$x(t) = \mathrm{R}\{Xe^{i\omega t}\}$$

tebranishlarning yig‘indisi va superpozitsiyasini soddalashtiradi. Bu metod yordamida ikki yoki undan ortiq tebranish amplituda va faza jihatidan birlashtiriladi, natijada umumiy tebranishning xarakteristikalari aniq va ixcham tarzda aniqlanadi. Bu fizik hodisalarni matematik model orqali tahlil qilish imkonini beradi va murakkab jarayonlarni intuitiv tushunishga yordam beradi.[5]

Signalni qayta ishlash sohasida kompleks sonlar va Fourier transformasi yordamida

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t}\, dt$$

signallarni spektral tarkibga ajratish samaradorligi oshadi. Bu yondashuv amplituda va fazaning alohida tahlil qilinishini ta’minlaydi, shuningdek, raqamli va analog aloqa tizimlaridagi murakkab signal jarayonlarini optimallashtirishga imkon beradi.

Ta’lim jarayonida kompleks sonlarning amaliy qo‘llanilishini o‘quvchilarga ko‘rsatish fanlararo integratsiyani kuchaytiradi, matematik bilimlarni real fizik jarayonlar bilan bog‘lash ko‘nikmasini rivojlantiradi va analitik tafakkurni mustahkamlaydi. Shu bilan birga, matematik modellashtirish va murakkab hisoblashlarni osonlashtiruvchi yondashuvlarni o‘rgatish, o‘quvchilarning nazariy bilimlarni amaliy jarayonlarda qo‘llash qobiliyatini oshiradi, bu esa ta’lim samaradorligini sezilarli darajada kuchaytiradi.

Kompleks sonlarning texnika va fizika masalalaridagi qo‘llanilishi **nafaqat nazariy, balki amaliy jihatdan ham samarali** ekanligi ilmiy tarzda tasdiqlangan. Algebraik, trigonometrik va eksponensial shakllar orqali jarayonlarni modellashtirish, ularning faza va amplitudasini tahlil qilish, shuningdek, murakkab signal va tebranishlarni o‘rganish ta’lim va ilmiy tadqiqotlar uchun qulay va zarur vosita hisoblanadi.

5. Xulosa. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, kompleks sonlar nazariyasi shunchaki mavhum matematik tushuncha emas, balki zamonaviy fizika va muhandislikning fundamental asosi hisoblanadi. Kompleks sonlarning algebraik, trigonometrik va eksponensial shakllari yordamida o‘zgaruvchan tok zanjirlari, tebranishlar va signal tahlili kabi jarayonlarni tizimli modellashtirish hisoblash ishlarini sezilarli darajada soddalashtiradi hamda differensial tenglamalarni oddiy algebraik amallar bilan almashtirish imkonini beradi. Bu yondashuv fizik kattaliklarning amplituda va faza xususiyatlarini bir vaqtning o‘zida, ixcham ko‘rinishda tahlil qilish orqali jarayonlarning ichki dinamikasini va fizik mohiyatini chuqurroq anglashga xizmat qiladi.

Shuningdek, ta’lim jarayonida kompleks sonlarning amaliy tatbiqlarini fanlararo integratsiya asosida yoritish o‘quvchilarning analitik tafakkurini rivojlantirishda va nazariy bilimlarni real texnik masalalar bilan bog‘lashda muhim pedagogik vositadir. Matematik modellashtirish orqali murakkab fizik hodisalarni soddalashtirish ko‘nikmasini shakllantirish nafaqat o‘quv samaradorligini oshiradi, balki bo‘lajak mutaxassislarda muhandislik masalalariga kreativ yondashuvni shakllantiradi. Kelajakda ushbu metodologiyani avtomatik boshqaruv tizimlari va raqamli aloqa texnologiyalari kabi sohalarda kengroq tadqiq etish ilm-fan va texnika taraqqiyotini yangi bosqichga olib chiqishda dolzarb ahamiyat kasb etadi.

Adabiyotlar

[1]. Boas, Mary L. Mathematical Methods in the Physical Sciences — kompleks sonlar, to‘lqinlar va elektromagnit jarayonlarni tahlil qilish uchun keng qo‘llaniladigan matematik metodlar jamlanmasi.

[2]. Cohen, Harold. Complex Analysis with Applications in Science and Engineering — kompleks analiz nazariyasi va uning fizika hamda muhandislikdagi amaliy qo‘llanilishiga bag‘ishlangan ilmiy asar.

[3]. Senior, Thomas B. A. “Complex numbers” — Mathematical Methods in Electrical Engineering kitobi boblari, kompleks sonlarni elektrotexnika va chastota domenidagi tahlil uchun ifodalaydi.

[4]. Schwerdtfeger, Hans. Geometry of Complex Numbers — kompleks sonlarning geometrik talqini va Argand tekisligi bo‘yicha klassik darslik.

[5]. Yılmaz, F. “Complex numbers and some applications” — kompleks sonlar matematikasi va ularning fizik hamda muhandislikda ishlatilishi bo‘yicha bo‘limli asosiy ilmiy maqola/chapter.

ОТРАЖЕНИЕ ИДЕАЛЬНОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ ОТ ТВЕРДОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Т.А. Джалилова

Андижанского государственного технического института
Автор для корреспонденции, e-mail: turgunoydjalilova@gmail.com
(Получена 10.03.2026 г.)

Аннотация: *В данной статье разработана усовершенствованная механическая модель, всесторонне описывающая процесс отталкивания дисперсной среды от поверхности твердого тела. На основе теории движения двухкомпонентной среды проанализированы механизмы межфазного взаимодействия и установлена взаимосвязь между линией отрыва потока, функцией потенциала скорости и геометрическими параметрами тела. В рамках модели разработаны аналитические и вычислительные формулы для пространственного распределения полей давления и скорости в пристеночной (пограничной) области. Полученные результаты могут быть использованы для оценки аэрогидродинамических свойств тел, взаимодействующих с дисперсной средой, и для уточнения инженерных расчетов.*

Ключевые слова: *дисперсная среда, линия раздела, потенциал скорости, пристеночная область, отраженный поток.*

Annotatsiya: *Mazkur maqolada dispers muhitning qattiq jism yuzasidan qaytish jarayonini kompleks ravishda tavsiflovchi takomillashtirilgan mexanik model ishlab chiqilgan. Ikki komponentli muhit harakati nazariyasi asosida fazalararo o‘zaro ta’sir mexanizmlari tahlil qilinib, oqimning bo‘linish chizig‘i, tezlik potensiali funksiyasi hamda jismning geometrik parametrlari o‘rtasidagi bog‘liqlik aniqlangan. Model doirasida devoryoni (chegaraviy qatlam) sohada bosim va tezlik maydonlarining fazoviy taqsimoti uchun analitik-hisobiy formulalar hosil qilingan. Olingan natijalar dispers muhit bilan o‘zaro ta’sir qiluvchi jismlarning aerogidrodinamik xususiyatlarini baholash va muhandislik hisob-kitoblarini aniqlashtirishda qo‘llanishi mumkin.*

Kalit so‘zlar: *dispers muhit, bo‘linish chizig‘i, tezlik potensiali, devoryoni soha, qaytuvchi oqim.*

Abstract: *In this article, an improved mechanical model has been developed that comprehensively describes the process of repulsion of a dispersed medium from the surface of a solid body. Based on the theory of two-component medium motion, the mechanisms of interphase interaction have been analyzed, and the relationship between the flow separation line, the velocity potential function, and the geometric parameters of the body has been determined. Within the framework of the model, analytical and computational formulas have been developed for the spatial distribution of pressure and velocity fields in the near-wall (boundary layer) region. The results obtained can be used to assess the aerohydrodynamic properties of bodies interacting with a dispersed medium and to refine engineering calculations.*

Keywords: *disperse media, dividing line, velocity potential, near-wall region, reflected flow.*

Введение. В настоящей работе предложена механическая модель движения дисперсных сред с учетом их отражения от поверхности тела и найдены форма тела и потенциал скорости потока, взаимодействующего с ним при заданной форме линии раздела.

Пусть на тело набегает поток жидкости по направлению оси , скорость которого на бесконечности равна U. В случае существования вблизи тела отраженного от него потока применяется теория движения двухкомпонентной среды, взаимодействующей с телом [1].

Граничную линию тока отраженного потока назовем линией раздела, которая является границей пристеночной области и подлежит определению.

Движение жидкости вне пристенной области описывается обычным уравнением однофазного потока, а внутри – уравнением взаимопроникающей двухкомпонентной среды [2].

В случае плоского стационарного течения эти уравнения принимают вид: вне пристеночной области –

$$\frac{\partial^2 \varphi_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi_0}{\partial y^2} = 0 \qquad (1)$$

внутри пристеночной области –

$$\frac{\partial^2 \varphi_1^{\bullet}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi_2^{\bullet}}{\partial y^2} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 \varphi_2^{\bullet}}{\partial x} + \alpha \varphi_2^{\bullet} = 0; \quad (3)$$

здесь

$$\varphi_1^{\bullet} = \varphi_1 + \varphi_2;\ \varphi_2^{\bullet} = \varphi_1 - \varphi_2;\ \alpha = \frac{4k}{U_0 \rho_i};$$

$\varphi 0, \varphi 1, \varphi 2 -$ потенциалы скоростей;

$\rho i -$ истинная плотность жидкости;

коэффициент взаимодействия падающего и отраженного потоков жидкости в пристеночной области.

Предполагается, что падающие и отраженные потоки жидкости в пристенной области взаимодействуют по линейному закону относительных скоростей.

Интегрируем уравнение (3):

$$\varphi_2^{\bullet}(x,y) = F(y)e^{-\alpha x}, \quad (4)$$

где) - неизвестная функция.

Рассмотрим случай симметричного профиля относительно направления . Тогда решение будем строить с помощью распределенных источников, расположенных на участке оси, интенсивностью $\gamma 0, \gamma$. Т. Для компонентов скоростей имеем

$$\varphi_{0x} = -\frac{1}{2\pi}\int_0^{\infty} \frac{\gamma_0(x_0)(x-x_0)dx_0}{(x-x_0)^2 + y^2}, \quad (5)$$

$$\varphi_{0y} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\infty} \frac{y \cdot \gamma_0(x_0)dx_0}{(x-x_0)^2 + y^2}, \quad (6)$$

$$\varphi_{1x} = -\frac{1}{4\pi}\int_0^{\infty} \frac{\gamma_0(x_0)(x-x_0)dx_0}{(x-x_0)^2 + y^2} - \frac{\alpha}{2}F(y) \cdot e^{-\alpha x}, \quad (7)$$

$$\varphi_{1y} = \frac{1}{4\pi}\int_0^{\infty} \frac{y \cdot \gamma_0(x_0)dx_0}{(x-x_0)^2 + y^2} + \frac{1}{2}\frac{dF(y)}{dy} \cdot e^{-\alpha x}, \quad (8)$$

$$\varphi_{2x} = -\frac{1}{4\pi}\int_0^{\infty} \frac{\gamma_0(x_0)(x-x_0)dx_0}{(x-x_0)^2 + y^2} + \frac{\alpha}{2}F(y) \cdot e^{-\alpha x}, \quad (9)$$

$$\varphi_{2y} = \frac{1}{4\pi}\int_0^{\infty} \frac{y \cdot \gamma_0(x_0)dx_0}{(x-x_0)^2 + y^2} - \frac{1}{2}\frac{dF(y)}{dy} \cdot e^{-\alpha x}, \quad (10)$$

Пусть линия раздела = задана. Предположим, что

$$\gamma_x = \frac{aB}{x+a}; \quad (11)$$

здесь – произвольные постоянные;

$\beta 3 -$ угол наклона линии раздела с осью O_x. В случае (11) для нахождения $\gamma 0(x,$ и) запишем условия

$$\frac{\partial \varphi_0}{\partial y} = \frac{\partial \varphi_1}{\partial y}, \quad (12)$$

$$\frac{\partial \varphi_2}{\partial y} = U_0 \beta_3. \qquad (13)$$

Следовательно, на линии раздела терпит разрыв касательная составляющая скорости набегающего потока. Из условия отражения линии тока от твердой поверхности следует, что угол наклона потока, направленного к телу, равен углу наклона потока, направленного от тела, т. е. при =

$$\beta_0(x) = \frac{\beta_1(x) + \beta_2(x)}{2}; \qquad (14)$$

здесь $\partial\varphi 1 \partial y = U0\beta 1x, \ \partial\varphi 2 \partial y = U0\beta 2$

$\beta 0x -$ угол наклона поверхности тела с осью .

Введем безразмерные величины:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{y_0}{a} = \overline{y_0}, \ \frac{y}{a} = \bar{y}, \ \frac{x}{a} = \bar{x}, \ \frac{B}{4\pi U_0} = \bar{B}, \\ &\frac{\gamma_0}{U_0} = \overline{\gamma_0}, \frac{\gamma}{U_0} = \overline{\gamma}, \qquad \frac{P - P_\infty}{\frac{\rho_i {U_0}^2}{2}} = C_p^{\bullet} \end{aligned}\right\}. \qquad (15)$$

Тогда из (12) получаем [3]

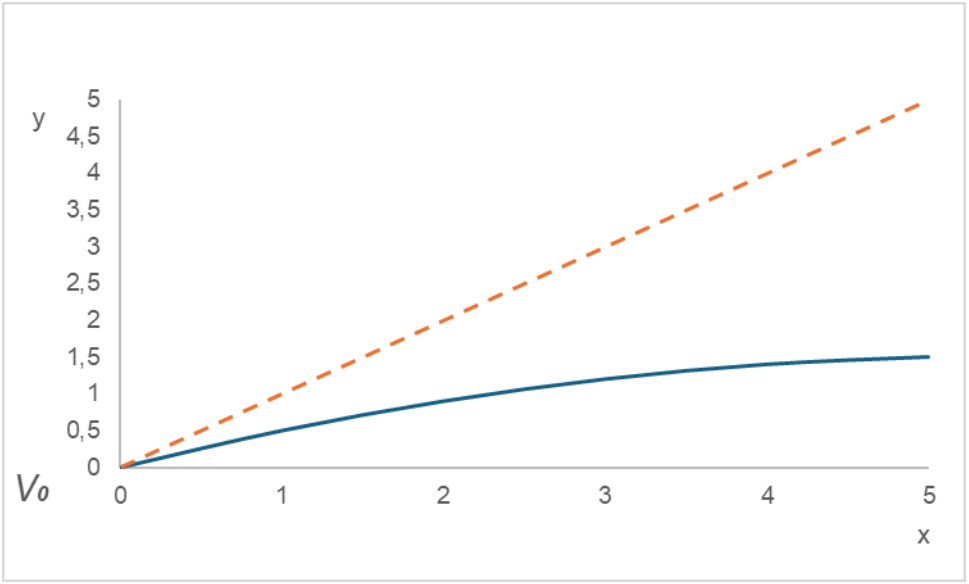
$$\overline{\gamma_0} = \frac{4\pi \bar{B}}{\bar{x} + 1} + \frac{2\pi\beta_3}{\frac{\pi}{2} + arctg\frac{1}{\beta_3}} \qquad (16)$$

Из-за громоздкости выражение) не приводится. В этом случае дифференциальное уравнение (14) тонкого тела принимает вид

$$\frac{\overline{d\gamma_0}}{\overline{dx}} = \bar{B}\frac{(\bar{x}+1)}{\overline{y_0^2} + (\bar{x}+1)^2}\left(\frac{\pi}{2} + arctg\frac{\bar{x}}{\overline{y_0}}\right) + \bar{B}\frac{\overline{y_0}\ln\sqrt{\overline{x^2} + \overline{y_0^2}}}{\overline{y_0^2} + (\bar{x}+1)^2}. \qquad (17)$$

Неизвестная постоянная $\bar{B}$ определяется через $\beta_0(x) = \beta_{00}$. Исследование выражения (17) показало, что тонкое тело описывается выпуклой кривой, простирающейся в бесконечность и стремящейся быть параллельной с осью Ox.

.



Конкретная форма тела (рисунок) определена методом последовательного приближения в случае

$$\beta_3 = \frac{\pi}{9}, \qquad \beta_{00} = \frac{\pi}{10}.$$

Очевидно, что давление вне пристеночной области выражается уравнением Бернулли, а внутри слоя – формулой

$$C_p^x = \frac{\bar{B}}{2}\left\{\frac{\bar{x}\cdot arctg\frac{\bar{x}}{\bar{y}} - \frac{\pi}{2}}{\bar{y}} + \frac{(\bar{x}+1)}{\overline{y^2 + (\bar{x}+1)^2}}\cdot\left[\frac{\pi}{2}\frac{\bar{x}+1}{\bar{y}} + \frac{1}{2}\ln(\overline{x^2} + \overline{y^2}) - \frac{\overline{y^2} + \bar{x}(\bar{x}+1)}{\bar{y}} arctg\frac{\bar{x}}{\bar{y}}\right]\right\}. \quad (18)$$

Отметим, что C_p обращается в бесконечность при $x=y=0$.

Заключение. В данной работе предложена и исследована математическая модель обтекания тонкого тела дисперсным потоком с учетом формирования пристеночной области отраженных частиц. На основе теории взаимопроникающих сред сформулированы уравнения движения для падающего и отраженного потоков, учитывающие их динамическое взаимодействие по линейному закону относительных скоростей. Использование метода распределенных источников позволило получить аналитические выражения для потенциалов скоростей и компонентов потока в различных зонах течения.

Анализ полученных результатов показал, что форма обтекаемого тела и газодинамические параметры существенно зависят от конфигурации линии раздела и коэффициента взаимодействия фаз. Установлено, что при заданной линии раздела поверхность тела описывается выпуклой кривой, асимптотически стремящейся к направлению набегающего потока. Предложенная формула для расчета давления внутри пристеночного слоя позволяет учитывать специфику двухкомпонентного движения, что имеет важное прикладное значение для проектирования технических устройств, работающих в условиях запыленных или многофазных сред.

Список литературы

[1]. Крайко А. Н., Стернин Л. Е. ПММ, 1965, 29, вып. 3.

[2]. Рахматулин Х.А. ПММ, 1956, 20, вып. 3.

[3]. Градштейн Н.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов сумм, рядов и произведений, М., 1963.

[4]. Джалилова Т.А. Инновационные технологии. Научно-техничиский журнал. Специалъный выпуск 2025ю

[5]. Science and education in agriculture №11, november.

[6]. Джалилова Т.А. Динамическое расширение сферической полости в грунтах и горных породах. Том 29. №5. 2025.

YOMG‘IR KANALIZATSIYA TARMOQLARINING GIDRAVLIK HISOBI

J.T. Orzimatov, D.M. Davronova

Farg‘ona davlat texnika universiteti
jaxongirorzimatovfarpi@gmail.com
dvrndrdn@gmail.com

(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya: *Ushbu maqolada urbanizatsiyalashgan hududlarda yuzaki oqava suvlarni samarali chetlatish maqsadida yomg‘ir kanalizatsiya tarmoqlarini gidravlik hisoblash usullari va tamoyillari tadqiq etilgan. Tadqiqot doirasida yog‘ingarchilik jadalligi, sirtning shimilish koeffitsiyenti va relyef xususiyatlarining quvurlar o‘tkazuvchanlik qobiliyatiga ta’siri matematik modellar yordamida tahlil qilingan. Tizimdagi gidravlik qiyalik va suv harakati tezligining ruxsat etilgan me’yoriy qiymatlarini optimallashtirish orqali quvurlarda loyqalanish va toshqin xavfini kamaytirish masalalari ko‘rib chiqilgan. Shuningdek, zamonaviy gidrologik hisoblash uslublarining an’anaviy formulalar bilan qiyosiy tahlili keltirilib, muhandislik loyihalarining aniqligini oshirish bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqilgan. Hisob-kitoblar*

natijasida tarmoqning turg‘un ishlashini ta’minlovchi optimal diametr va nishablik ko‘rsatkichlari aniqlangan.

Kalit so‘zlar: *kollektor, oqim tezligi, suv sarfi, qiyalik, ekvivalent diametr, gidravlik radius, qarshilik koeffisenti.*

Abstract: *This article examines the methods and principles of hydraulic calculation of storm sewerage networks for the effective removal of surface runoff in urbanized areas. Within the framework of the study, the influence of precipitation intensity, surface infiltration coefficient, and relief features on the pipeline capacity was analyzed using mathematical models. Issues of reducing the risk of turbidity and flooding in pipelines by optimizing the permissible normative values of the hydraulic slope and water flow velocity in the system were considered. Also, a comparative analysis of modern hydrological calculation methods with traditional formulas is presented, and recommendations for increasing the accuracy of engineering projects are developed. As a result of the calculations, the optimal diameter and slope indicators were determined, ensuring stable network operation.*

Keywords: *collector, flow rate, water discharge, slope, equivalent diameter, hydraulic radius, resistance coefficient.*

KIRISH

Yomg‘ir kanalizatsiya tarmog‘ini gidravlik hisoblashdan maqsad, yomg‘ir suvi oqimining taxminiy tezligini boshqarish uchun zarur bo‘lgan quvur diametrlari va qiyaliklarini aniqlashdir. Yomg‘ir suvlarining kollektorga oqadigan obyektlarda kollektorning bir qismi uning boshida hosil bo‘lgan oqim tezligi uchun hisoblanadi. Faqat kamdan kamdan – kam hollarda, kollektorni loyihalash bosqichida hisoblash kerak bo‘lganda, yomg‘ir suvi kirish joylarining joylashuvi no’malum bo‘lsa va hisoblash katta uchastkalarga asoslangan bo‘lsa, ularning drenaj quvvati oxirgi kesmada hosil bo‘lgan oqim tezligiga qarab tanlanadi. [1,2]

Metodologiya

Yuqorida muhokama qilingan usullar yordamida taxminiy oqim tezligini aniqlash uchun kollektor o‘tayotgan oqim davomiyligini bilish kerak. Yuqori oqim qismidan boshlab kollektor uchastkalarini ketma – ket hisoblash orqali bu oqim davomiyligi oldingi bo‘limlardagi uzunliklar va oqim tezligiga qarab osongina aniqlanadi.

Quvurlarni gidravlik hisoblash quyidagi formulalar bo‘yicha aniqlanadi:

Suv sarfi: $$Q = \omega \cdot v\,, m^3/s; \quad (1)$$

Qiyalik: $$J = \frac{\lambda \cdot v^2}{d \cdot 2g} = \frac{\lambda \cdot v^2}{8Rg}. \quad (2)$$

Bu yerda: Q – suv sarfi, m^3/s; v – oqim tezligi, m/s; ω – oqim maydoni, m^2; J – qiyalik; d – quvur diametri, m; R – gidravlik radius, m; g – erkin tushish tezlanishi, 9.81 m/s^2; λ – qarshilik koeffisenti.[12]

Qarshilik koeffientini aniqlash uchun N.F.Federov taklif qilgan quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2g\left(\frac{\Delta_э}{3.42\,d} + \frac{a_2}{Re}\right). \quad (3)$$

Bu yerda: $\Delta_э$ - absolyut ekvivalent g‘adur – budurlik, sm; a_2 – o‘lchovsiz kattalik bo‘lib, quvurlarning g‘adur – budurligi va tuzilishiga bog‘liq bo‘lgan kattalik; Re – Renolds soni.[3,4,5]

Faqat sanoat oqova suvlarini olib o‘tadigan quvurlar diametri kamida 150 mm bo‘lishi kerak. Bunday quvurlarni to‘liq to‘ldirishga (h/D) faqat qisqa muddatli oqova suvlarni tushirish uchun ruhsat beriladi. Boshqa hollarda to‘ldirish mahalliy tarmoqalar uchun standartlarga muvofiq amalga oshiriladi.

150 – 300 mm diametrli quvurlar uchun …….0.6
350 – 400 mm ……..0.7
500 – 900 mm ……..0.75

Oqim tezligi quvurlarni o‘z – o‘zini yuvishini taminlashi kerak. Shuning uchun ularni 1 – 1.5 m/s oralig‘ida olish kerak. Minimal ruhsat etilgan tezliklar (kritik) diametri 150 – 200 mm ……0.7 m/s

300 – 400 mm ……0.8 m/s
450 – 500 mm ……0.9 m/s
600 – 800 mm ……0.95 m/s
900 – 1200 mm ……..1.25 m/s

Boshqa hollarda, normal tarkibdagi oqova suvning kritik tezligi N.F.Fedorov furmulasi orqali aniqlanishi mumkin:

$$v_{kp} = 1.57\sqrt[n]{R}, m/s. \quad (4)$$

Bu yerda: R – gidravlik radius; n=3.5+0.5R

Kichik diametrli quvurlar uchun oqim tezligidan qatiiy nazar minimal qiyaliklar quyidagicha qabul qilingan; diametri:

150 mm ……0.007
200 mm ……0.005 [6,7,8]

Oqova suvlarni eng yuqori hisoblangan oqim tezligi Qurilish Me’yoriy Qoidalari bo‘yicha metall quvurlar uchun 8 m/s, metall bo‘lmagan quvurlar uchun 4 m/s. Yomg‘ir kanalizatsiya tarmoqlarida oqimning qisqa muddatini hisobga olgan holda bazi hollarda yuqori tezlikka ruhsat berilishi mumkin. Masalan, metall quvurlar uchun 10 m/s, temir – beton quvurlar uchun 6 m/s.[9]

Hulosa

O‘tkazilgan gidravlik hisoblar va tahlillar natijasida yomg‘ir kanalizatsiya tarmoqlarining o‘tkazuvchanlik qobiliyati bevosita gidrotexnik koeffitsiyentlarning to‘g‘ri tanlanishiga va hududning gidrologik xususiyatlariga bog‘liqligi isbotlandi. Yakuniy xulosalar shuni ko‘rsatadiki, zamonaviy hisoblash usullarini amaliyotga tatbiq etish shahar infratuzilmasini toshqinlardan himoya qilishda hamda iqtisodiy samaradorlikka erishishda muhim poydevor bo‘lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar

[1]. J.T.Orzimatov, D.M.Davronova, Farg‘ona davlat texnika universiteti jaxongirorzimatovfarpi@gmail.com, dvrnvdrdn@gmail.com “Bosim ostida ishlaydigan yomg‘ir kanalizatsiya tarmog‘ini hisoblash”,197-bet. Scientific-technical journal (STJ FerSTU, FarDTU ITJ. 2025,14)
[2]. SHigorin G. R. “Aholi punktlari uchun kanalizatsiya tizimini tanlash”. 1961
[3]. Molokov M. V., SHigorin G. R “Yomg‘ir va jamoat kanalizatsiyasi”. 1954
[4]. Pao Hsue-Liu, Uan Ven-Longe. “Sanoat va shahar hududlaridagi yomg‘ir drenajlarini loyihalash uchun yog‘ingarchilik formulasi haqida”. 1961
[5]. Dobryakov B. “Yomg‘ir oqava suvlarining texnik-iqtisodiy ko‘rsatkichlari”.1959
[6]. Molokov M. V. “Shaharlar hududidan yomg‘ir suvlarini chetga burish”. 1958
[7]. Surin A. A. “Yomg‘ir kanalizatsiyasini hisoblashda tarmoq sig‘imini hisobga olish”. 1960
[8]. Razumov Ye. S., Medrin G. L., Kazaryan V. A. “Aholi punktlari oqova suvlarini tozalash va zararsizlantirish”. (2-nashr, qayta ishlangan va to‘ldirilgan). 1986
[9]. Karelin Ya. A., Yaromskiy V. N., Yevseyeva O. Ya. “Doiraviy kesimli plastik quvurlardan yasalgan kanalizatsiya tarmoqlarining gidravlik hisobi uchun jadvallar”.1986

UDK 621.18:697.1

QOZONXONALARDA ISSIQLIK ALMASHINUVI JARAYONLARINI INTENSIFIKATSIYA QILISH VA ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISH

F.I. Tuxtayev*, D.A. Badalova

Toshkent davlat texnika universiteti
**Mas’ul muallif, e-mail: theycallmexurshi@gmail.com*
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya: *Mazkur maqolada qozonxonalarda issiqlik almashinuvi jarayonlarini intensifikatsiya qilish hamda energiya samaradorligini oshirish masalalari chuqur tahlil qilinadi. Issiqlik uzatish*

mexanizmlarining o‘zaro ta’siri, issiqlik almashinuvi yuzalarining ishlash samaradorligi va issiqlik oqimlarining taqsimlanish qonuniyatlari ko‘rib chiqiladi. Zamonaviy issiqlik almashinish qurilmalari, oqimlarni optimallashtirish usullari va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari orqali qozonxonalarda issiqlik yo‘qotishlarini kamaytirish hamda umumiy energetik samaradorlikni oshirish imkoniyatlari asoslab beriladi.

Kalit so‘zlar: *qozonxona, issiqlik almashinuvi, issiqlik uzatish, konveksiya, nurlanish, issiqlik oqimi, energiya samaradorligi, issiqlik yo‘qotishlari, intensifikatsiya.*

Аннотация: *В данной статье проводится глубокий анализ вопросов интенсификации процессов теплообмена в котельных установках и повышения их энергоэффективности. Рассматриваются взаимодействие механизмов теплопередачи, эффективность работы поверхностей теплообмена, а также закономерности распределения тепловых потоков. Обосновываются возможности снижения тепловых потерь в котельных и повышения общей энергетической эффективности за счёт применения современных теплообменных устройств, методов оптимизации потоков и автоматизированных систем управления.*

Ключевые слова: *котельная, теплообмен, теплопередача, конвекция, излучение, тепловой поток, энергоэффективность.*

Annotation: *This article provides an in-depth analysis of the intensification of heat transfer processes in boiler houses and the improvement of energy efficiency. The interaction of heat transfer mechanisms, the performance of heat exchange surfaces, and the distribution patterns of heat flows are examined. The study also substantiates the possibilities of reducing heat losses in boiler systems and improving overall energy efficiency through the use of modern heat exchange equipment, flow optimization methods, and automated control systems.****Keywords:*** *boiler house, heat transfer, heat exchange, convection, radiation, heat flux, energy efficiency.*

1. Kirish. Zamonaviy issiqlik energetika tizimlarida qozonxonalar asosiy energiya ishlab chiqaruvchi qurilmalardan biri sifatida alohida o‘rin egallaydi va ularning samaradorligi bevosita issiqlik almashinuvi jarayonlarining qanday tashkil etilganiga bog‘liq [1; 6]. Energiya resurslarining global miqyosda qimmatlashuvi hamda ekologik talablarning kuchayishi sharoitida qozonxonalar samaradorligini oshirish masalasi nafaqat texnik, balki iqtisodiy va ekologik jihatdan ham muhim ahamiyat kasb etmoqda [2; 5].

Amaliy tajribalar shuni ko‘rsatadiki, qozon agregatlarida yoqilg‘idan ajralgan issiqlikning muhim qismi issiqlik almashinuvi jarayonlarining yetarli darajada intensiv bo‘lmasligi sababli foydali ishlatilmaydi va turli yo‘qotishlar ko‘rinishida tashqi muhitga chiqib ketadi [6; 7]. Shu sababli issiqlik almashinuvi jarayonlarini chuqur tahlil qilish, ularni intensifikatsiya qilish usullarini ishlab chiqish va amaliyotga joriy etish dolzarb ilmiy vazifa hisoblanadi.

2.1. Issiqlik almashinuvi jarayonlarining fizik mohiyati. Qozon qurilmalarida issiqlik uzatish jarayoni issiqlik o‘tkazuvchanlik, konveksiya va nurlanish mexanizmlarining birgalikdagi ta’siri natijasida amalga oshadi [8]. Har bir mexanizmning ulushi qozonning turiga, ish rejimiga va issiqlik tashuvchilarning fizik xususiyatlariga bog‘liq holda o‘zgaradi.

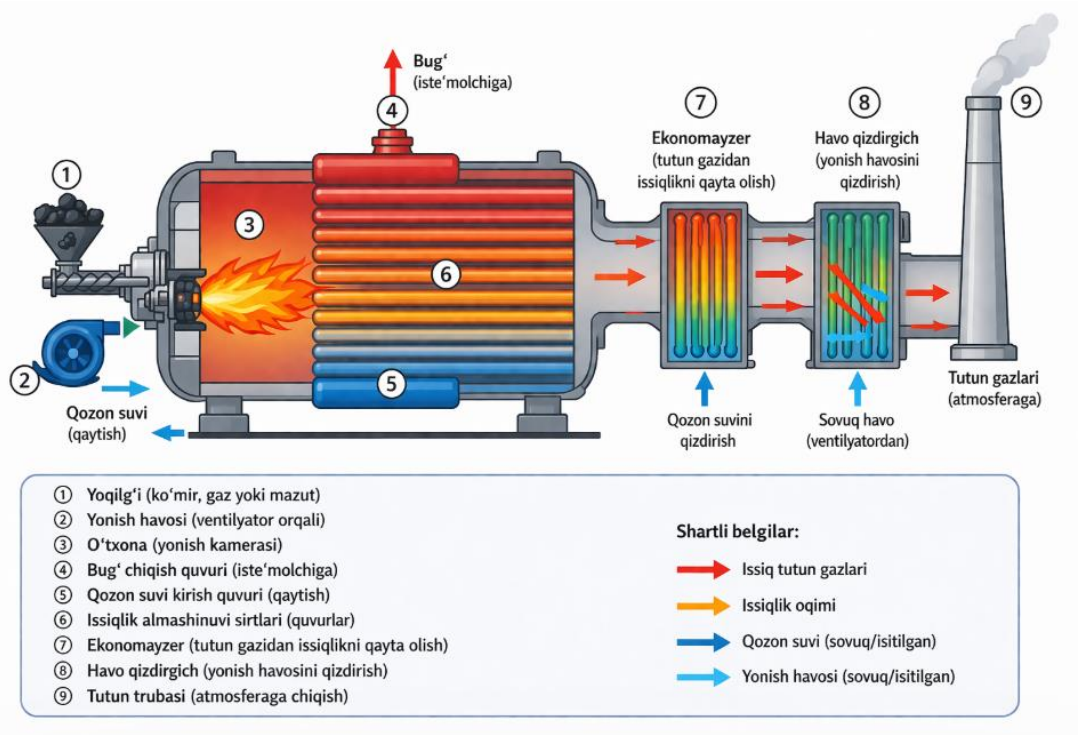
O‘txona hududida yuqori haroratli alangalar va yonish mahsulotlari hisobiga nurlanish orqali issiqlik uzatilishi ustunlik qiladi, bu jarayonda issiqlik oqimining intensivligi Stefan–Boltsman qonuni bilan tavsiflanadi [8]. Gaz yo‘llarida esa konvektiv issiqlik almashinuvi ustun bo‘lib, u gaz tezligi, harorati va turbulentligiga bog‘liq ravishda o‘zgaradi [6; 7]. Issiqlik o‘tkazuvchanlik esa issiqlik almashinuvi yuzalarining ichki qatlamlarida muhim rol o‘ynaydi.

Ushbu uch mexanizmning optimal uyg‘unligi qozon qurilmasining umumiy issiqlik samaradorligini belgilovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi.

2.2. Issiqlik almashinuvi jarayonlarini intensifikatsiya qilish usullari. Issiqlik almashinuvi jarayonlarini intensifikatsiya qilish deganda issiqlik uzatish koeffitsiyentini oshirish va issiqlik oqimining samarali taqsimlanishini ta’minlash tushuniladi. Bu jarayon bir qator konstruktiv va texnologik yechimlar orqali amalga oshiriladi.

Birinchi navbatda issiqlik almashinuvi yuzalarining geometrik shaklini o‘zgartirish, ularni qovurg‘ali yoki spiral shaklda tayyorlash orqali issiqlik uzatish yuzasi kengaytiriladi va issiqlik oqimi intensivligi oshadi [6; 10]. Ikkinchidan, gaz oqimlarining turbulentligini oshirish orqali konvektiv issiqlik uzatish koeffitsiyentini sezilarli darajada oshirish mumkin.

Shuningdek, oqimlarning optimal yo‘nalishini ta’minlash, qarama-qarshi oqimli issiqlik almashinuvi sxemalarini qo‘llash va issiqlik tashuvchilarning tezligini muvozanatlash issiqlik almashinuvi samaradorligini oshirishda muhim rol o‘ynaydi [6; 7]. Zamonaviy qozon qurilmalarida aynan shu yondashuvlar keng qo‘llanilmoqda.



1-rasm. Qozonxonada issiqlik almashinuvi va issiqlik oqimlarining sxemasi.

2.3. Issiqlik yo‘qotishlarini kamaytirishning ilmiy asoslari. Issiqlik yo‘qotishlarini kamaytirish issiqlik almashinuvi jarayonlarini takomillashtirish bilan chambarchas bog‘liq. Eng katta yo‘qotishlar tutun gazlari bilan bog‘liq bo‘lib, ularning haroratini pasaytirish orqali sezilarli energiya tejaladi [6; 7].

Ekonomayzerlar va havo qizdirgichlar orqali chiqindi gazlar issiqligidan qayta foydalanish issiqlik balansini yaxshilashning eng samarali usullaridan biridir [10]. Bundan tashqari issiqlik almashinuvi yuzalarining tozaligi va issiqlik izolyatsiyasining sifati ham katta ahamiyatga ega.

Ilmiy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, issiqlik almashinuvi yuzalarining ifloslanishi issiqlik uzatish koeffitsiyentini 15–20 foizgacha kamaytirishi mumkin, bu esa umumiy samaradorlikka salbiy ta’sir ko‘rsatadi [6].

Zamonaviy qozonxonalarda issiqlik almashinuvi jarayonlarini boshqarish raqamli texnologiyalar asosida amalga oshirilmoqda [5]. Energiya monitoring tizimlari yordamida issiqlik oqimlari, haroratlar va bosimlar real vaqt rejimida kuzatiladi va tahlil qilinadi.

Avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari issiqlik almashinuvi jarayonlarini optimal darajada ushlab turadi, bu esa inson omilidan kelib chiqadigan xatolarni kamaytiradi va qozon samaradorligini oshiradi [5; 12].

Natijada zamonaviy qozonxonalar nafaqat energiya tejamkor, balki yuqori darajada boshqariladigan tizimlarga aylanmoqda.

Issiqlik almashinuvi jarayonlarini intensifikatsiya qilish natijasida yoqilg‘i sarfi kamayadi, bu esa atmosferaga chiqariladigan zararli gazlar miqdorining kamayishiga olib keladi [2; 14]. Shu bilan birga energiya resurslaridan samarali foydalanish ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytiradi va iqtisodiy samaradorlikni oshiradi.

Shu sababli issiqlik almashinuvi jarayonlarini takomillashtirish zamonaviy energetika tizimlarida strategik yo‘nalishlardan biri sifatida qaraladi.

3. Natijalar va muhokama. O‘tkazilgan tahlillar asosida shuni ta’kidlash mumkinki, issiqlik almashinuvi jarayonlarini ilmiy asosda optimallashtirish orqali qozon qurilmalarining

umumiy samaradorligini 20–30 foizgacha oshirish mumkin [5; 9]. Issiqlik uzatish yuzalarining takomillashtirilishi, oqimlarning optimal tashkil etilishi va zamonaviy texnologiyalarning joriy etilishi energiya samaradorligini sezilarli darajada oshiradi.

4. Xulosa. Qozonxonalarda issiqlik almashinuvi jarayonlarini intensifikatsiya qilish energiya samaradorligini oshirishning eng muhim omillaridan biri hisoblanadi. Issiqlik uzatish mexanizmlarini chuqur o‘rganish, zamonaviy texnologiyalarni qo‘llash va issiqlik yo‘qotishlarini kamaytirish orqali yuqori iqtisodiy va ekologik samaradorlikka erishish mumkin [5; 10; 11].

Adabiyotlar

[1]. O‘zbekiston Respublikasi. “Energiya tejash to‘g‘risida”gi Qonuni. – Toshkent, 2023. – 12–18-betlar.
[2]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti qarori PQ–4779. “Yoqilg‘i-energetika resurslaridan oqilona foydalanish chora-tadbirlari to‘g‘risida”. – Toshkent, 2020. – 3–10-betlar.
[3]. KMK 2.01.04-2021. “Binolarning issiqlik muhofazasi”. – Toshkent: Qurilish vazirligi, 2021. – 25–47-betlar.
[4]. ISO 50001:2018. Energy management systems – Requirements with guidance for use. – Geneva: ISO, 2018. – pp. 15–42.
[5]. U.S. Department of Energy. CIBO Energy Efficiency Handbook. – Washington, 2014. – pp. 89–132.
[6]. Uzoqov G‘.N., Alimov X.A., Yunisov B.X., Qodirov I.N., Fayzullayev I.M., Shamsiev K.S. Qozon qurilmalari. – Toshkent: “Fan va texnologiya”, 2020. – 112–185-betlar.
[7]. Reznikov M.I., Lipov Yu.M. Kotelnye ustanovki elektrostansiy. – Moskva: Energoizdat, 1997. – s. 75–148.
[8]. Holman J.P. Heat Transfer. – 10th ed. – New York: McGraw-Hill, 2010. – pp. 210–278.
[9]. International Energy Agency (IEA). Energy Efficiency 2022 Report. – Paris, 2022. – pp. 55–98.
[10]. Lipov Yu.M., Samoylov Yu.F., Vilenskiy T.V. Komponovka i teplovoy raschet parovogo kotla. – Moskva: Energoatomizdat, 1988. – s. 134–201.
[11]. ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment. – Atlanta: ASHRAE, 2020. – pp. 320–389.
[12]. U.S. Department of Energy. Steam System Survey Guide. – Washington, 2015. – pp. 44–76.
[13]. ScienceDirect. Energy efficiency improvement in boiler systems. – Elsevier, 2019. – pp. 101–129.
[14]. Journal of Energy Engineering. Boiler efficiency and heat transfer analysis. – 2021. – pp. 67–95.

UDK 626.8:621.65

MELIORATSIYA TIZIMLARIDA TIK QUDUQ NASOSLARINING EKSPLUATATSION HOLATI VA TAHLILI

S.S. Odilov

Farg‘ona davlat texnika universiteti
**Mas’ul muallif, e-mail: odilovsanjarbek1999@gmail.com*

(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada melioratsiya tizimlarida qo‘llanilayotgan tik quduq nasoslarining ekspluatatsion holati tahlil qilingan. Nasoslarning ishdan chiqishiga ta’sir etuvchi asosiy omillar sifatida suvning mineralizatsiyasi, mexanik ifloslanishi, elektr ta’minotining beqarorligi va texnik xizmat ko‘rsatish darajasi o‘rganildi. Tadqiqot natijalari nasos agregatlarining ishonchliligini oshirish bo‘yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishga imkon berdi.*

Tayanch so‘zlar: *melioratsiya, tik quduq nasosi, ekspluatatsiya, ishonchlilik, korroziya, suv sifati, elektr ta’minoti.*

Аннотация. *В данной статье проведён анализ эксплуатационного состояния вертикальных скважинных насосов, используемых в мелиоративных системах. Рассмотрены основные факторы, влияющие на отказ насосов, такие как минерализация воды, механические примеси, нестабильность электроснабжения и уровень технического обслуживания. Результаты исследования позволяют разработать практические рекомендации по повышению надёжности насосных агрегатов.*

Ключивые слова*: мелиорация, вертикальный скважинный насос, эксплуатация, надёжность, коррозия, качество воды, электроснабжение.*

Abstract. *This article analyzes the operational condition of vertical well pumps used in land reclamation systems. The main factors affecting pump failures, such as water mineralization, mechanical impurities, power supply instability, and maintenance quality, were studied. The results provide practical recommendations for improving the reliability of pump units.*

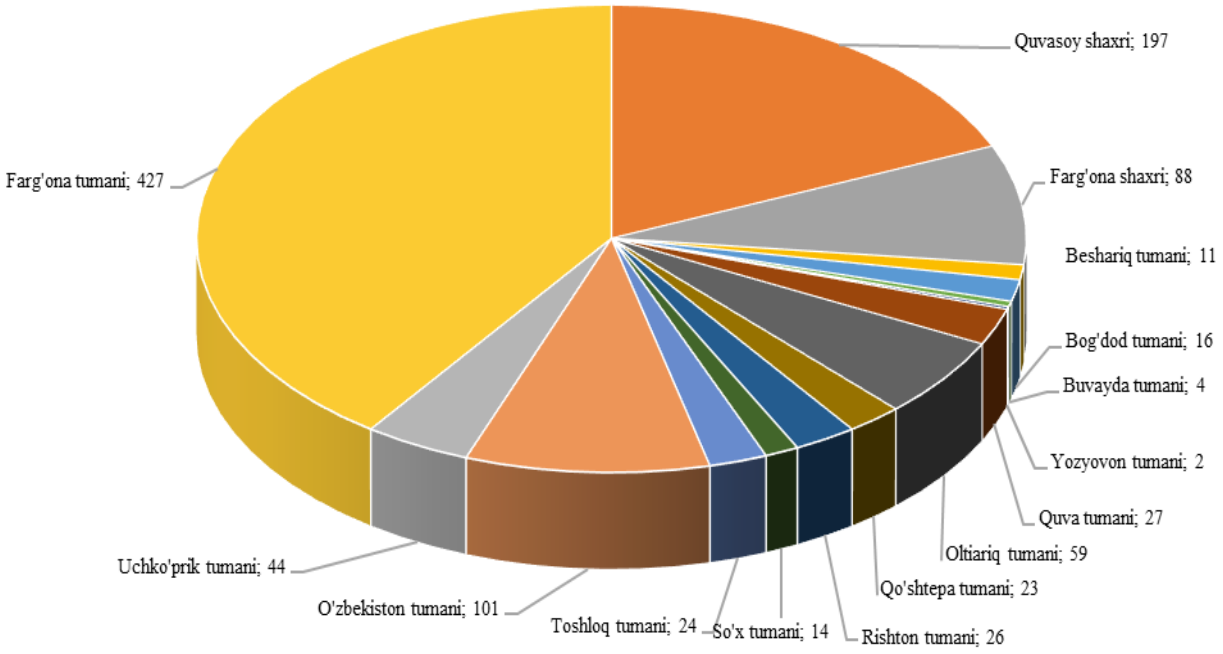
Keywords: *land reclamation, vertical well pump, operation, reliability, corrosion, water quality, power supply.*

Melioratsiya tizimlari qishloq xo‘jaligida suv resurslaridan samarali foydalanish va yerlarning unumdorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega. Ushbu tizimlarda tik quduq nasoslari yer osti suvlarini ko‘tarib berish orqali sug‘orish jarayonini ta’minlaydi. Biroq ekspluatatsiya jarayonida nasoslarning ishdan chiqishi va samaradorligining pasayishi kuzatilmoqda. Bu holat asosan suv sifati, elektr ta’minoti va texnik xizmat ko‘rsatish darajasi bilan bog‘liq. Shu sababli tik quduq nasoslarining ishlash holatini tahlil qilish va ularning ishonchliligini oshirish dolzarb masalalardan biridir

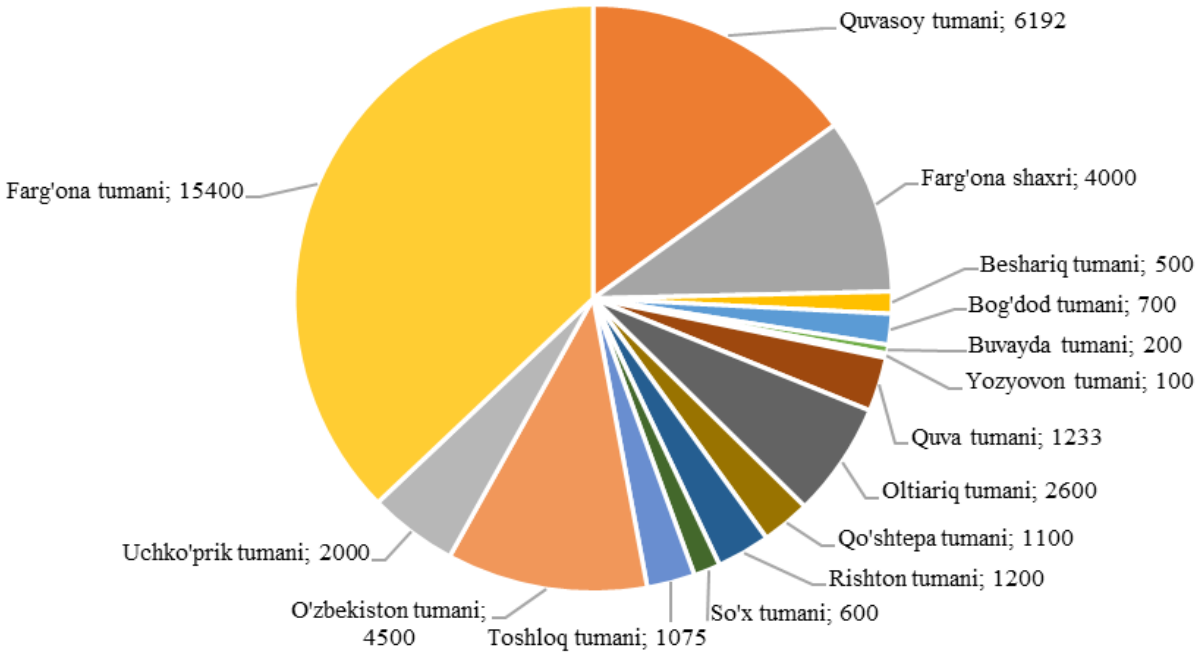
Suv resurslaridan oqilona foydalanish va qishloq xo‘jaligi ekinlarini sifatli sug‘orish muhim ahamiyat kasb etadi. Tik sug‘orish quduqlari tizimining samarali ishlashi qishloq xo‘jaligi mahsulotlarining hosildorligini oshirish va suv resurslaridan unumli foydalanishni ta'minlash uchun muhimdir. Shu sababli, mavjud nasos uskunalarining energiya samaradorligini oshirish, suv olish jarayonida energiya sarfini optimallashtirish va innovatsion texnologiyalarni joriy qilish zarurati dolzarb masalaga aylanmoqda. Ushbu maqolada Farg‘ona viloyatidagi tik sug‘orish quduqlari va ularda ishlatilayotgan nasoslarning holati o‘rganilib, suv olish tizimining texnik-iqtisodiy tahlili hamda energiya samaradorligini oshirish istiqbollari ko‘rib chiqiladi.

Farg‘ona viloyatida tik sug‘orish quduqlari 1063 donani tashkil etib ushbu tik sug‘orish quduqlariga biriktirilgan ekin maydolari 41400 gektarni to‘g‘ri keladi va ularda foydalanilayotgan nasoslarning quvvati 28959 kVt ga teng bo‘lib bu nasoslar 110410,4 kVt elektr energiyasi iste’temol qiladi hamda 459133,9 suv olishga erishiladi [1].

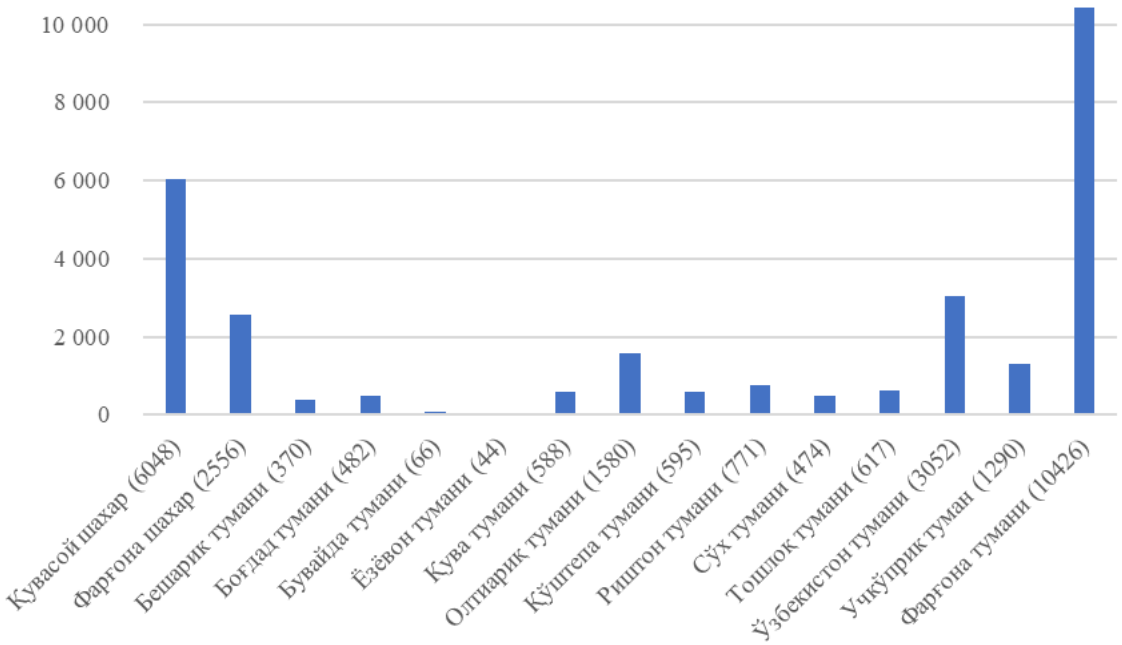
Viloyatidagi nasos stansiyalari va energetika boshqarmasi tasarrufidagi tik sug‘rish quduqlari suv olish tizimidagi ekspluatatsiyada bo‘lgan nasoslarining joriy holati, tik quduqlari soni, biriktirilgan yer maydoni, tik quduqlarini ishlashi bulardan umumiy quvvati, elektr energiyasi sarfi, chiqarilgan suv hajmi va ularga xizmat ko‘rsatish 2023-yil 15-mart holatiga ko‘ra ma’lumotni quyidagi grafiklarda ko‘rishimiz mumkin [1].



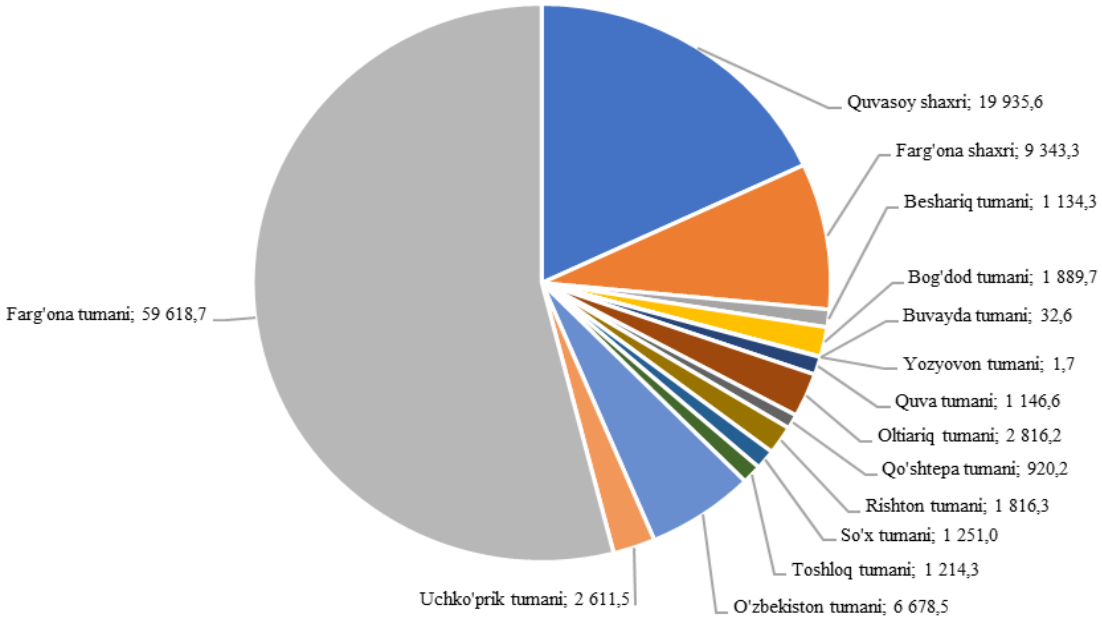
1.1- Rasm. Farg‘ona viloyatidagi nasos stansiyalari va energetika boshqarmasi tasarrufidagi tik sug‘rish quduqlari soni (dona) [1].



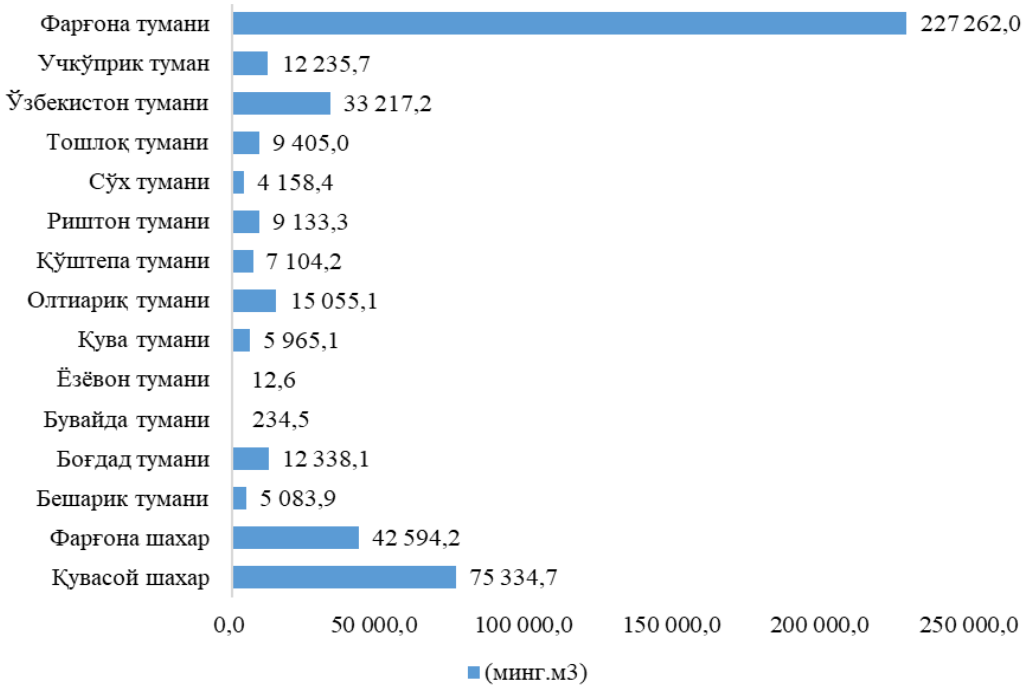
1.2- Rasm. Farg‘ona viloyatidagi nasos stansiyalari va energetika boshqarmasi tasarrufidagi tik sug‘rish quduqlariga biriktirilgan yer maydoni jami (gektar) [1].



1.3- Rasm. Farg‘ona viloyatidagi nasos stansiyalari va energetika boshqarmasi tasarrufidagi tik sug‘rish quduq nasoslarining quvvati (gektar) [1].



1.4- Rasm. Farg‘ona viloyatidagi nasos stansiyalari va energetika boshqarmasi tasarrufidagi tik sug‘rish quduq nasoslarining elektr energiya sarfi (ming.kVt) [1].



1.5- Rasm. Farg‘ona viloyatidagi nasos stansiyalari va energetika boshqarmasi tasarrufidagi tik sug‘rish quduq nasoslarining chiqargan suv hajmi (ming.m^3) [1].

Xulosa

Farg‘ona viloyatida 1063 dona tik sug‘orish quduqlari mavjud bo‘lib, ular 41 400 gektar ekin maydoniga xizmat qilmoqda. Ushbu quduqlarda ishlatilayotgan nasoslarning umumiy quvvati 28 959 kVt bo‘lib, ular bir mavsumda 110 410,4 ming kVt elektr energiya sarflagan va 459 133,9 ming m^3 suv chiqargan. Tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, mavjud nasoslarning energiya sarfi yuqori bo‘lib, ularning ekspluatatsiya samaradorligini oshirish dolzarb masala hisoblanadi. Tadqiqot

davomida suvni chiqarish jarayonida fotoelektrik energiyadan foydalanish va asinxron mashinalar fizik qonunlariga asoslangan holda nasoslarning suv olish hajmi va energiya sarfini aniqlash imkonini beruvchi matematik ifoda ishlab chiqildi. Bu esa kelgusida tik sug‘orish quduqlarining energiya tejamkorligini oshirish va resurslardan oqilona foydalanish uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar

[1]. Foydalanilgan adabiyotlar.
[2]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining «O‘zbekiston respublikasida suv resurslarini boshqarish va irrigatsiya sektorini rivojlantirishning 2021-2023 yillarga mo‘ljallangan strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risida» gi Qarori.
[3]. [ГОСТ 32144-2013 Совместимость технических средств электромагнитная//Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения / Москва Стандартинформ 2014 г. 19. С
[4]. Усманов Я., Икромова К.Х.//Use of Innovative Technologies in Teaching Electrical Engineering//Texas Journal of Engineering and Technology. https://zienjournals.com. VOL. 9, JUNE, 2022.
[5]. М.З.Галкин “Комплексная автоматизация АСУТП водохозайственних систем. М.1991, 432 s
[6]. https://fargona.uzsuv.uz/uz
[7]. https://lex.uz/docs/-4545898.

TRANSFORMATORLARDA QISQA TUTASHUV JARAYONLARINI TAHLIL QILISH VA KAMAYTIRISH CHORALARI

N.U. Karimov

Farg’ona davlat texnika universiteti,
nematullokarimov6@gmail.com

(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada elektr energiya tizimlarida keng qo‘llaniladigan transformatorlarda qisqa tutashuv jarayonlari, ularning fizik mohiyati va asosiy sabablari ilmiy tahlil qilingan. Qisqa tutashuv oqibatida transformator chulg‘amlarida paydo bo‘ladigan ortiqcha toklar, elektromexanik kuchlanishlar va issiqlik yuklamalarining izolyatsiya hamda konstruktiv elementlarga ta’siri o‘rganilgan. Shuningdek, zamonaviy himoya relelari, monitoring tizimlari, issiqlik ko‘rsatkichlarini real vaqt rejimida nazorat qilish usullari va qisqa tutashuv xavfini kamaytirishga qaratilgan texnik hamda tashkiliy choralar yoritilgan. Tadqiqot natijalari transformatorlar ekspluatatsiyasi xavfsizligini oshirish va avariya holatlarini kamaytirishga xizmat qiladi.*

Kalit so‘zlar: *: transformator, qisqa tutashuv, tok, kuchlanish, himoya, samaradorlik, reaktor, rele.*

Аннотация. *В данной статье проведен научный анализ процессов короткого замыкания в трансформаторах, широко используемых в электроэнергетических системах, их физической природы и основных причин. Изучено влияние избыточных токов, электромеханических напряжений и тепловых нагрузок на изоляцию и конструктивные элементы, возникающих в обмотках трансформатора в результате короткого замыкания. Рассмотрены также современные защитные реле, системы мониторинга, методы мониторинга тепловых показателей в реальном времени, а также технико-организационные меры, направленные на снижение риска коротких замыканий. Результаты исследования служат для повышения безопасности эксплуатации трансформаторов и снижения числа аварий.*

Ключевые слова: *трансформатор, короткое замыкание, ток, напряжение, защита, КПД, реактор, реле.*

Abstract. *This article scientifically analyzes short-circuit processes in transformers widely used in electric power systems, their physical nature and main causes. The effect of excess currents, electromechanical stresses and thermal loads on insulation and structural elements arising in transformer windings as a result of a short circuit is studied. Modern protective relays, monitoring systems, methods for real-time monitoring of thermal indicators, and technical and organizational measures aimed at reducing the risk of short circuits are also covered. The results of the study serve to increase the safety of transformer operation and reduce the number of accidents.*

Keywords: *transformer, short circuit, current, voltage, protection, efficiency, reactor, relay.*

Kirish.

Hozirgi kunda elektr energetika tizimlarining barqaror ishlashi sanoat, transport va maishiy sohalarning uzluksiz faoliyat yuritishi uchun muhim omillardan biridir. Elektr ta’minot tizimlarida eng ko‘p uchraydigan va xavfli hodisalardan biri — bu qisqa tutashuv (QT) jarayonidir. Ayniqsa, transformatorlarda sodir bo‘ladigan qisqa tutashuvlar katta tok zarbalari, issiqlik ortishi va mexanik kuchlanishlar sababli izolyatsiya shikastlanishiga olib keladi. Shu sababli transformatorlarda qisqa tutashuv jarayonlarini o‘rganish, tahlil qilish va kamaytirish choralari dolzarb masala hisoblanadi.

Asosiy qism

Transformatorlarda qisqa tutashuv sodir bo‘lganida, chulg‘amlar orasida tok birdaniga bir necha barobar ortadi. Bu holatda o‘tuvchi tok transformator materiallarida elektromagnit kuchlanishlar va issiqlik energiyasini keltirib chiqaradi. Natijada izolyatsiya materiali isiydi, magnit o‘zak deformatsiyalanadi va transformatorning xizmat muddati qisqaradi.

Tadqiqot davomida turli quvvatdagi transformatorlar uchun qisqa tutashuv toki va kuchlanishining o‘zgarishlari hisoblab chiqildi. Hisob-kitoblarda P = 100 kVA, U_1 = 10 kV, U_2 = 0,4 kV bo‘lgan transformator misolida qisqa tutashuv toki quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$I_{qt} = \frac{I_n}{(\frac{U_{qt}}{100})}$$

Bu yerda: In — nominal tok, Uqt — qisqa tutashuv kuchlanishi (% da). Agar Uqt = 6% bo‘lsa, nominal tok 144 A bo‘lgan transformator uchun Iqt = 2400 A ni tashkil etadi. Demak, qisqa tutashuv paytida tok qiymati nominal tokdan 16–18 barobar ortishi mumkin.

Bunday yuklamani kamaytirish uchun quyidagi texnik chora-tadbirlar qo‘llanilishi tavsiya etiladi:

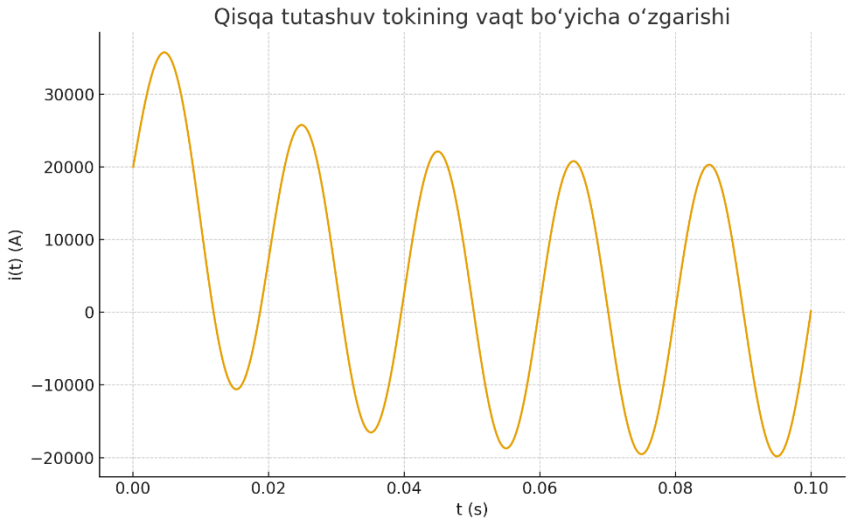
• Transformatorni tok cheklovchi reaktorlar orqali himoyalash;

• Zanjirga avtomatik o‘chirgich va tezkor himoya relesini o‘rnatish;

• Izolyatsion material sifatini oshirish va sovitish tizimini takomillashtirish;

• Qisqa tutashuv oqimlarini tahlil qilib, tizim sxemasida eng zaif joylarni aniqlash.

Shuningdek, qisqa tutashuv tahlilida zamonaviy dasturiy vositalardan, xususan Matlab/Simulink, ETAP yoki PowerWorld modellaridan foydalanish natijalarning aniqligini oshiradi.



Chizma 1. Qisqa tutashuv tokining grafigi.

Xulosa O‘tkazilgan tahlillar shuni ko‘rsatdiki, transformatorlarda qisqa tutashuv tokining yuqori qiymatlari izolyatsiyani tez ishdan chiqaradi va butun elektr tizimining ishonchliligini pasaytiradi. Shuning uchun himoya vositalarini to‘g‘ri tanlash, issiqlik nazoratini kuchaytirish va elektr

sxemalarda to‘g‘ri hisoblash usullarini qo‘llash zarur. Ushbu tadqiqot natijalari transformatorlarning ishlash muddatini uzaytirish, energetik tizim samaradorligini oshirish va avariyalarni kamaytirishga xizmat qiladi.

Adabiyotlar

[1]. Abdurahmonov S., Xolboev A. “Elektr mashinalari va transformatorlar”. – Toshkent: O‘quv qo‘llanma, 2020.
[2]. Usmonov B. “Elektr energetika tizimlarida himoya va avtomatika”. – Toshkent: TDPU nashriyoti, 2019.
[3]. Najmiddinov O. “Quvvat transformatorlari ekspluatatsiyasi va texnik diagnostikasi”. – Toshkent: “Fan va texnologiya”, 2021.
[4]. Qo‘ziyev A., Shakarov M. “Elektr tarmoqlari va podstansiyalar”. – Toshkent, 2022.
[5]. O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi: “Elektr uskunalarini texnik ekspluatatsiya qilish qoidalari (ETEK)”, amaldagi nashr, 2018.

UDK 662.997:66.047.3

TUNNEL SHAKLIDAGI QUYOSH QURITISH QURILMASIDA NASADKALI ABSORBERNING ISSIQLIK JARAYONLARI VA SAMARADORLIK KO‘RSATKICHLARIGA TA’SIRI

S.M. Mirzayev

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
msardoriy@gmail.com, tel: 91 690 63 03

(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Mazkur ishda tunnel shaklidagi quyosh quritish qurilmasida nasadkali absorberning issiqlik-texnik samaradorlikka ta’siri o‘rganildi. Tajribalar 400–900 W/m², 28–41°C va 20–35 m/s rejimlarda olib borildi. Natijalar nasadkali absorber issiqlik almashinuvi jadalligini oshirib, koeffitsientni 22–24 dan 27–31 W/m²·K gacha, foydali quvvatni 4.2–4.8 dan 5.0–5.8 kW gacha va samaradorlikni 0.52–0.55 dan 0.58–0.62 gacha oshirishini ko‘rsatdi.*

Kalit so‘zlar: *quyosh quritgichi, tunnel quritgich, absorber, nasadka, issiqlik almashinuvi, xom g‘isht, samaradorlik, quyosh kollektori.*

Аннотация. *В данной работе исследовано влияние насадочного абсорбера на тепло-техническую эффективность туннельной солнечной сушильной установки. Экспериментальные исследования проводились при плотности солнечной радиации 400–900 Вт/м², температуре окружающей среды 28–41°C и скорости воздушного потока 20–35 м/с. Полученные результаты показали, что применение насадочного абсорбера интенсифицирует процессы теплообмена, увеличивая коэффициент теплоотдачи с 22–24 до 27–31 Вт/м²·К, полезную тепловую мощность с 4.2–4.8 до 5.0–5.8 кВт и общий коэффициент эффективности с 0.52–0.55 до 0.58–0.62.*

Ключевые слова: *солнечная сушильная установка, туннельная сушилка, насадочный абсорбер, теплообмен, коэффициент теплоотдачи, сырцовый кирпич, тепловая эффективность, солнечный коллектор*

Abstract. *This study investigates the effect of a packed-bed absorber on the thermal performance of a tunnel-type solar drying system. Experimental tests were conducted under solar radiation levels of 400–900 W/m², ambient temperatures of 28–41°C, and air velocities of 20–35 m/s. The results demonstrate that the use of a packed absorber intensifies heat transfer processes, increasing the convective heat transfer coefficient from 22–24 to 27–31 W/m²·K, the useful heat output from 4.2–4.8 to 5.0–5.8 kW, and the overall thermal efficiency from 0.52–0.55 to 0.58–0.62.*

Keywords: *solar dryer, tunnel dryer, packed-bed absorber, heat transfer, convective heat transfer coefficient, raw clay brick, thermal efficiency, solar air collector.*

1. Kirish. Qurilish materiallari ishlab chiqarishda xom g‘ishtlarni quritish jarayoni yuqori energiya sarfi, uzoq vaqt davom etishi va ob-havo sharoitlariga kuchli bog‘liqligi bilan tavsiflanadi. Ochiq havoda quritishda namlik ajralishi notekis bo‘lib, mahsulot sifati pasayadi. Shu sababli quyosh energiyasiga asoslangan faol va gibrid quritish tizimlarini ishlab chiqish dolzarb

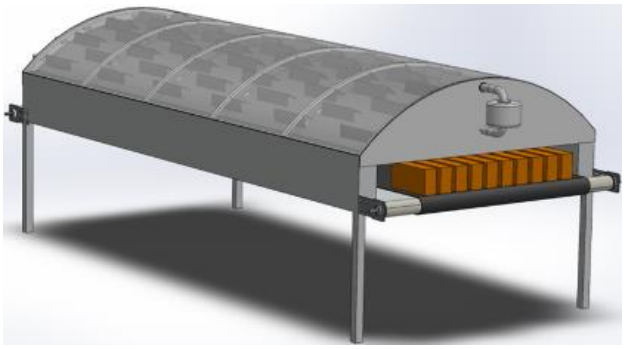
hisoblanadi. So‘nggi tadqiqotlar to‘g‘ridan-to‘g‘ri quyosh quritgichlari, parabolik konsentratorlar va gibrid tizimlarning samaradorligini tasdiqlaydi[1].

Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, quritgich samaradorligi absorber materiali, shakli va oqim rejimiga bog‘liq. Absorber yuzasini rivojlantirish orqali issiqlik almashinuvi kuchayadi. Shu asosda nasadkali absorber qo‘llash orqali turbulentlikni oshirish va chegara qatlamini kamaytirish taklif etiladi. Ushbu ishda tunnel tipidagi quyosh quritgichda nasadkali va oddiy absorberlar qiyoslanib, issiqlik-texnik samaradorlikka ta’siri baholanadi[2].

2. Tadqiqot obyekti va metodikasi

Tadqiqot obyekti sifatida xom g‘ishtlarni birlamchi suvsizlantirishga mo‘ljallangan tunnel shaklidagi quyosh quritish qurilmasi tanlandi. Qurilma yarim silindrik kollektor (3.0×1.2 m, 3.6 m²; egri sirt 4.5 m²), 3 mm akril qoplama va 1.0 mm qora bo‘yalgan galvanizli po‘lat absorberdan iborat. Korpus steklovata bilan izolyatsiyalangan. Havo 550 W ventilyator yordamida, transportyor esa 330 W yuritma orqali harakatlanadi. Quritish obyekti -250×120×65 mm g‘ishtlar

Ikki holat o‘rganildi: silliq va nasadkali absorber. Nasadkalar oqimni bezovtalab, issiqlik almashinuvini kuchaytiradi. Tajribalar 400–900 W/m², 28–41°C va 20–35 m/s rejimlarda olib borilib, g‘isht zonasida 5.2–6.1 m/s tezlik kuzatildi.



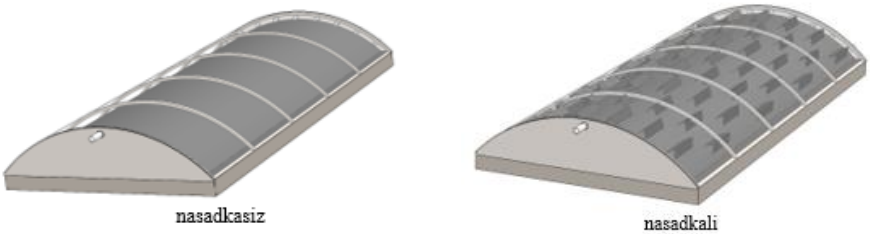
1-rasm. Tunnel shaklidagi quyosh quritish qurilmasining umumiy konstruktiv sxemasi.

Tajriba davomida kollektor kirish va chiqish haroratlari, tashqi muhit parametrlari, quyosh radiatsiyasi va havo tezliklari o‘lchandi. Natijalarni tahlil qilishda foydali issiqlik quvvati va kollektor samaradorligi quyidagi ifodalar asosida baholandi:

$$Q = \dot{m} c_p (T_{chiq} - T_{kir}) \tag{1}$$

$$\eta = \frac{Q}{G \cdot A_{pr}} \tag{2}$$

bu yerda Q-foydali issiqlik quvvati, W; $\dot{m}$-havo massaviy sarfi, kg/s; c_p-havoning o‘rtacha issiqlik sig‘imi, J/(kg·K); T_{chiq}va T_{kir}-mos ravishda chiqish va kirish haroratlari, °C; G-quyosh radiatsiyasi, W/m²; A_{pr}-kollektorning proyeksiya maydoni, m²[3]. Bu yondashuv ataylab tanlandi: energetik kirish $G \cdot A_{pr}$bo‘yicha, issiqlik almashinuvi va yo‘qotishlar esa egri sirt maydoni $A_s$bo‘yicha tahlil qilindi. Shu nuqta ochiq yozilmasa, samaradorlik bo‘yicha e’tiroz chiqadi [4].



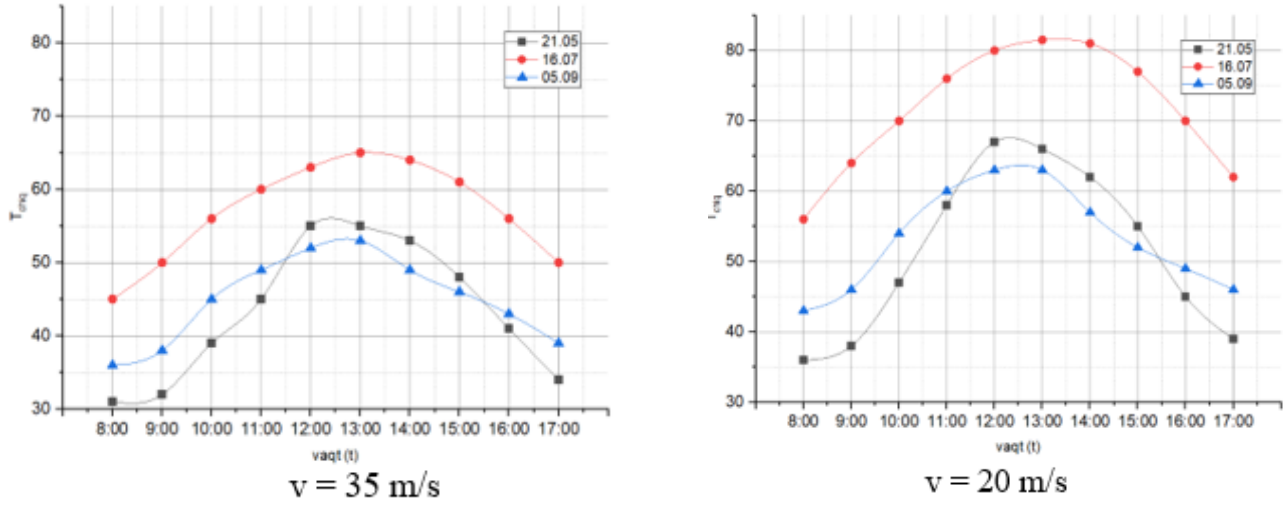
2-rasm. Nasadkasiz va nasadkali absorber yuzalarining qiyosiy konstruktiv sxemasi.

Tajriba natijalari nasadkali absorber qo‘llanilganda kollektorning issiqlik-texnik ko‘rsatkichlari sezilarli yaxshilanishini ko‘rsatdi. Absorber yuzasida hosil bo‘ladigan lokal bezovtaliklar natijasida havo oqimining issiqlik qabul qilish qobiliyati ortib, chiqish harorati va foydali issiqlik quvvati oshdi. Nasadkasiz rejimda konvektiv issiqlik almashinuvi koeffitsienti 22–24 W/m²·K bo‘lgan bo‘lsa, nasadkali holatda 27–31 W/m²·K gacha yetdi. Mos ravishda chiqish harorati 60–65°C dan 65–68°C gacha, harorat farqi esa 18–20°C dan 20–24°C gacha oshdi. Foydali

issiqlik quvvati 4.2–4.8 kW dan 5.0–5.8 kW gacha ko‘tarildi.

Kollektor samaradorligi proyeksiya maydoni asosida baholanganda nasadkasiz holatda 0.52–0.55, nasadkali holatda 0.58–0.62 diapazonda aniqlandi. Bunda 0.62 qiymati maksimal rejimga tegishli bo‘lib, uni o‘rtacha qiymat sifatida qabul qilish noto‘g‘ri. Natijalar rivojlantirilgan issiqlik uzatuvchi yuzalar issiqlik berishni kuchaytirishini ko‘rsatgan boshqa tadqiqotlar bilan mos keladi[5].

Fizik jihatdan nasadkalar oqimni faqat to‘sib qolmay, balki uning strukturasini o‘zgartirib, turbulent aralashishni kuchaytiradi. Natijada issiqlik berish intensivligi ortadi. Biroq nasadkalar o‘lchami yoki zichligi ortib ketganda aerodinamik qarshilik oshib, ventilyator energiya sarfi ko‘payadi va umumiy samaradorlik pasayishi mumkin. Shu sababli nasadkali absorber samaradorligi optimal geometriya va oqim rejimi bilan birgalikda baholanishi zarur.



3-rasm. Quyosh radiatsiyasi Gva chiqish harorati T_{chiq}ning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi.

Havo tezligi ta’siri ham alohida kuzatildi. 20 m/s dan 35 m/s ga o‘tilganda issiqlik almashinuvi jadalligi ortgan bo‘lsa-da, har bir holatda haroratning mutlaq ortishi bir xil bo‘lavermaydi. Sabab shuki, yuqori tezlikda massaviy sarf ko‘payadi, biroq havoning kollektor ichida qolish vaqti qisqaradi. Shu bois optimal rejimni faqat maksimal tezlik bo‘yicha emas, balki Q, ΔT, ηva bosim yo‘qotishlari majmui bo‘yicha tanlash kerak. Tezis formatida aynan shu muvozanatni ko‘rsatish yetarli: nasadkali absorber foydali, lekin u faqat oqim rejimi to‘g‘ri tanlangandagina real samara beradi.

3. Xulosa

Tunnel shaklidagi quyosh quritish qurilmasida nasadkali absorber qo‘llanishi issiqlik almashinuvi jarayonini sezilarli faollashtiradi, chunki oqim turbulentligi ortib, issiqlik uzatish intensivligi kuchayadi. Natijada konvektiv issiqlik almashinuvi koeffitsienti 22–24 dan 27–31 W/m²·K gacha, foydali issiqlik quvvati 4.2–4.8 dan 5.0–5.8 kW gacha oshadi. Kollektor samaradorligi ham 0.52–0.55 dan 0.58–0.62 gacha ortib, konstruktiv yechimning energetik samaradorligini tasdiqlaydi. Bu natijalar quritish jarayonini tezlashtirish va energiya sarfini kamaytirish imkonini beradi. Kelgusida nasadka geometriyasi, bosim yo‘qotishlari va yakuniy namlikka ta’sirini optimallashtirish zarur.

Adabiyotlar

[1]. Sandali M., Boubekri A., Beneldjemoui B., Mennouche D., Chati D. New Design of a Direct Solar Dryer Used for Solar Drying of Clay Bricks // Journal of Renewable Energies. Special issue: ICREAA’2024. 2025. Vol. 1, No. 1. P. 31–41.

[2]. Nthieri M.M., Erastus M.K., Njoroge S.M. Harnessing Solar Energy Using Parabolic Dish Concentrator for Clay Brick Drying // Advances in Materials Science and Engineering. 2025. Vol. 2025. DOI: 10.1155/amse/8566655.

[3]. Rojas-Valencia M.N., Rodas-Joo A., Martínez-Cruz A., Araiza-Aguilar J.A. Evaluation of Three Drying Options (Solar Energy, Traditional Ovens, and Electric Muffle) for the Manufacture of Bricks Using Recycled Aggregates // Processes. 2025. Vol. 13, No. 3. Article 686. DOI: 10.3390/pr13030686.
[4]. Partheeban P., Jegadeesan V., Manimuthu S., Gifta C.C. Cleaner Production of Geopolymer Bricks Using Solar-LPG Hybrid Dryer // Journal of Cleaner Production. 2024. Vol. 442. Article 141048. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.141048.
[5]. Bououd M., Mechaqrane A. Concentration Solar Dryer Water-to-Air Heat Exchanger: Modeling and Parametric Studies // International Journal of Hydrogen Energy. 2017. Vol. 42. P. 8631–8643.

UDK 66.045.5

HAVOLI SOVITISH QURILMALARINING NEFT-GAZ VA KIMYO SANOATIDA QO‘LLANILISHI

A.M. Xurmamatov[3], J.A. Mo’minov[1,2], V.N. Jurayev[1]

[1]Toshkent davlat texnika universiteti
[2]Farg’ona davlat texnika universiteti
[3]Olmaliq davlat texnika instituti
**Mas’ul muallif, e-mail: Jaloliddinmuminov3110@gmail.com*
(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada havoli sovitish qurilmalarining neft-gaz va kimyo sanoatidagi qo‘llanilish xususiyatlari tahlil qilindi. Texnologik jarayonlarda issiqlik almashinuvi samaradorligi, qurilmalar tanlash mezonlari va ularning ekologik hamda iqtisodiy afzalliklari asoslab berilgan. Tadqiqot natijalari sanoat korxonalarida energiya samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.*
Kalit so‘zlar: *neft-gaz sanoati, kimyo sanoati, issiqlik almashinuvi, kondensatsiya, havoli sovitish qurilmasi.*
Аннотация*. В данной статье проанализированы особенности применения воздушных охладителей в нефтегазовой и химической промышленности. Обоснованы эффективность теплообмена в технологических процессах, критерии выбора оборудования, а также их экологические и экономические преимущества. Результаты исследования способствуют повышению энергоэффективности промышленных предприятий.*
Ключевые слова*: нефтегазовая промышленность, химическая промышленность, теплообмен, конденсация, воздушный охладитель.*
Abstract*. This article analyzes the features of the application of air-cooled heat exchangers in the oil and gas and chemical industries. The efficiency of heat transfer in technological processes, criteria for equipment selection, as well as their environmental and economic advantages are substantiated. The results of the study contribute to improving energy efficiency in industrial enterprises.*
Keywords*: oil and gas industry, chemical industry, heat transfer, condensation, air-cooled heat exchanger.*

Neft-gaz va kimyo sanoati korxonalarida issiqlik almashinuvi jarayonlari texnologik tizimning markaziy elementlaridan biri hisoblanadi. Ushbu jarayonlar orqali yuqori haroratli gazlar va suyuqliklar sovitiladi, bug‘lar kondensatsiyalanadi va texnologik muhitlar qayta ishlash bosqichlariga tayyorlanadi. An’anaviy sovitish tizimlari ko‘p hollarda suvdan foydalanishga asoslangan bo‘lib, bu esa katta hajmdagi suv resurslarini talab qiladi hamda qo‘shimcha ravishda suvni tozalash va aylantirish tizimlarini joriy etishni talab etadi.

So‘nggi yillarda ekologik talablarning kuchayishi va suv resurslarining kamayishi tufayli havoli sovitish qurilmalari sanoatda keng qo‘llanila boshladi. Ushbu qurilmalar issiqlikni atmosfera havosi orqali olib chiqadi va suv sarfini deyarli nol darajaga tushiradi. Shu sababli ular ayniqsa cho‘l va yarim cho‘l hududlarda joylashgan neft-gaz konlari va kimyo zavodlari uchun dolzarb yechim hisoblanadi.

Havoli sovitish qurilmalarining qo‘llanilishi nafaqat resurslarni tejash, balki korroziya jarayonlarini kamaytirish, texnologik tizimlarning ishonchliligini oshirish va ekspluatatsiya

xarajatlarini optimallashtirish imkonini beradi. Shu bois mazkur maqolada ushbu qurilmalarning sanoatdagi real qo‘llanilish sohalari va samaradorligi ilmiy asosda tahlil qilinadi.

1-rasm. Havoli sovitish qurilmalaridan neft-gaz sanoatida qo’llanilishi.

Mazkur tadqiqotda neft-gaz va kimyo sanoatidagi asosiy texnologik jarayonlar o‘rganilib, ularda havoli sovitish qurilmalarining tutgan o‘rni aniqlanadi. Tahlil davomida issiqlik yuklamasi, ishchi muhit xossalari, qurilma samaradorligi va energiya sarfi asosiy mezon sifatida qabul qilindi.

Shuningdek, turli sanoat jarayonlarida qo‘llaniladigan sovitish sxemalari o‘zaro solishtirilib, optimal qo‘llanish sharoitlari aniqlashtirildi.

Neft-gaz sanoatida qo‘llanilishi. Neft-gaz sanoatida havoli sovitish qurilmalari ko‘plab texnologik bosqichlarda qo‘llaniladi. Ayniqsa, gazni qayta ishlash zavodlarida yuqori haroratli gaz oqimlarini sovitish va kondensatsiyalash jarayonlari muhim ahamiyatga ega.

Kompressor stansiyalarida gaz siqilgandan so‘ng uning harorati keskin ortadi. Ushbu gazni keyingi bosqichga uzatishdan oldin sovitish talab etiladi. Aynan shu jarayonda havoli sovitish qurilmalari samarali ishlaydi. Bundan tashqari, neftni qayta ishlash jarayonlarida fraksiyalash kolonnalaridan chiqayotgan bug‘larni kondensatsiyalashda ham ushbu qurilmalar keng qo‘llaniladi.

Havoli sovitish tizimlarining yana bir muhim afzalligi shundaki, ular uzoq muddat davomida barqaror ishlaydi va og‘ir sanoat sharoitlarida ham yuqori ishonchlilikni ta’minlaydi.

Kimyo sanoatida qo‘llanilishi. Kimyo sanoatida issiqlik almashinuvi jarayonlari reaksiyalar tezligi va mahsulot sifati bilan bevosita bog‘liq. Reaktorlar ichida sodir bo‘ladigan ekzotermik reaksiyalar natijasida katta miqdorda issiqlik ajraladi. Ushbu issiqlikni o‘z vaqtida olib chiqmaslik reaksiya jarayonining izdan chiqishiga olib kelishi mumkin.

Havoli sovitish qurilmalari bu jarayonda muhim rol o‘ynaydi. Ular reaktorlar, issiqlik almashinuvchilar va kondensatorlar bilan integratsiyalashgan holda ishlaydi. Ayniqsa, agressiv kimyoviy muhitlarda suvdan foydalanish qiyin bo‘lgan hollarda havoli sovitish eng maqbul yechim hisoblanadi.

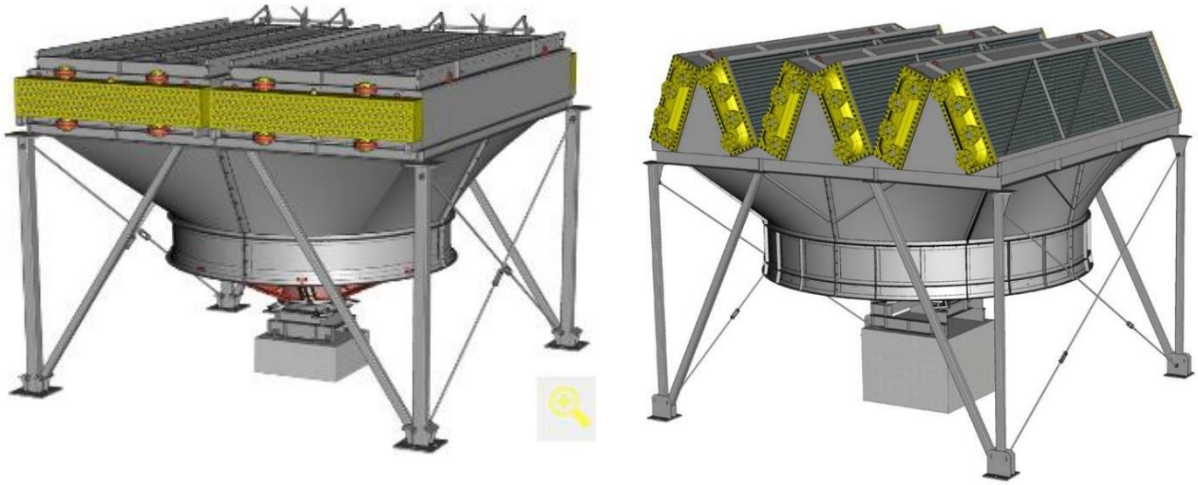
1-jadval

Qo‘llanilish sohalari bo‘yicha umumiy tahlil

Sanoat sohasi	Jarayon turi	Qurilma vazifasi	Samaradorlik
Neft-gaz	Gaz sovitish	Kompressordan keyin sovitish	Yuqori
Neft-gaz	Kondensatsiya	Bug‘larni suyuqlikka aylantirish	Juda yuqori
Kimyo	Reaktor sovitish	Ekzotermik reaksiyalarni boshqarish	Yuqori
Kimyo	Suyuqlik sovitish	Texnologik muhitni sovitish	O‘rta–yuqori

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, havoli sovitish qurilmalari eng yuqori samaradorlikni kondensatsiya jarayonlarida namoyon etadi. Bu jarayonda issiqlik ajralishi intensiv bo‘lib, havo orqali sovitish samarali amalga oshiriladi.

Reaktor sovitishda esa qurilmaning vazifasi faqat issiqlikni olib chiqish emas, balki jarayonni barqaror ushlab turishdan iborat. Shu sababli bu yerda qurilmaning ishonchliligi va boshqaruv imkoniyatlari muhim rol o‘ynaydi (2-rasm).



2-rasm. Sanoatda eng keng tarqalgan havoli sovitish qurilmalari.
AVG va AVZ.

Issiqlik yuklamasi ortishi bilan qurilma samaradorligi dastlab oshadi. Bu bosqichda qurilma issiqlik almashinuvi yuzasidan maksimal foydalanadi. Biroq ma’lum bir chegaradan so‘ng samaradorlik o‘sishi sekinlashadi va hatto barqarorlashadi. Bu holat qurilmaning konstruktiv chegaralari va havo oqimining maksimal imkoniyatlari bilan izohlanadi. Shu sababli sanoatda qurilmalarni loyihalashda maksimal yuklama emas, balki optimal ish rejimi tanlanadi.

O‘rganishlar shuni ko‘rsatadiki, havoli sovitish qurilmalari sanoatda keng qo‘llanilishiga qaramay, ularning samaradorligi to‘g‘ri tanlangan ish sharoitlariga bog‘liq. Ayniqsa, havo harorati, namligi va tezligi kabi tashqi omillar sezilarli ta’sir ko‘rsatadi.

Neft-gaz sanoatida bu qurilmalar yuqori bosim va harorat sharoitida ishlasa, kimyo sanoatida ular agressiv muhitlarda ishlaydi. Shu sababli material tanlash va konstruktiv yechimlar alohida ahamiyatga ega.

Havoli sovitish qurilmalari neft-gaz va kimyo sanoatida issiqlik almashinuvi jarayonlarini samarali tashkil etishning muhim vositasi hisoblanadi. Ular suv resurslarini tejash, ekologik xavfsizlikni ta’minlash va ishlab chiqarish samaradorligini oshirish imkonini beradi.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, ushbu qurilmalar ayniqsa kondensatsiya va gaz sovitish jarayonlarida yuqori samaradorlik bilan ishlaydi.

Adabiyotlar

[1]. Крюков Н.П. Аппараты воздушного охлаждения. М.: Химия, 1983. 168 b.
[2]. Z. Salimov “Neft va gazni qayta ishlash jarayonlari va uskunalari” Toshkent-2010. 508 b
[3]. Salimov Z. Kimyoviy texnologiyaning asosiy jarayonlari va qurilmalari. Tom. 1. – T.: «O‘zbekiston», 1994. – 366b.
[4]. Xurmamatov A. M., Mo‘minov J. A. Benzin fraksiyasini havo yordamida sovitish jarayonining tadqiqot natijalari //Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. – 2021. – T. 1. – №. 9. – C. 619-624.
[5]. N.R. Yusupbekov, H.S. Nurmuhamedov, S.G. Zokirov. Kimyoviy texnologiya asosiy jarayon va qurilmalari. Toshkent-2015. 838b
[6]. Salimov Z. Kimyoviy texnologiyaning asosiy jarayonlari va qurilmalari. Tom. 2. – T.: «O‘zbekiston», 1995. – 237b.
[7]. Кунтыш Б.В. Основные способы совершенствования аппаратов воздушного охлаждения / Б.В. Кунтыш, А.Н. Бессонный, А.А. Бриль // Химическое и нефтехимическое машиностроение. – 1997. – № 4. – с. 41-44.
[8]. Mo’minov J.A., Xurmamatov A.M. Neft maxsulotlarini havo yordamida sovitishda tashqi omillar ta’siri. Innovations in the oil and gas industry, modern power engineering and actual problem. Toshkent -2021. –c 91-93.
[9]. Скобло А.И., Молоканов Ю.К., Владимиров А.И., Щелкунов В.А. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии. – М.: Недра, 2000. – 677 с.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМИДЕСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БИОХИМИЧЕСКИХ, ФИЗИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФРУКТОВ И СУШЕНЫХ ПРОДУКТОВ

Н.М. Курбанов, А.А. Худайбердиев, У.Р. Нишонов

Наманганский государственный технический университет
kurbanovnm68@mail.ru tel: 942756939
(Получена 10.03.2026 г.)

Аннотация. *В статье обоснована актуальность математического моделирования теплофизических и биохимических свойств фруктов (на примере хурмы и сливы) для оптимизации процессов промышленной сушки. В условиях современного агропромышленного комплекса Узбекистана критически важным является снижение энергозатрат при сохранении высокого качества нутриентного состава. Авторами проанализированы и представлены аналитические зависимости для расчета плотности, удельной теплоемкости и коэффициента теплопроводности в зависимости от текущей влажности материала. Предложенные математические модели позволяют повысить точность инженерных расчетов при проектировании энергоэффективных камерных сушилок для малых предприятий.*

Ключевые слова: *теплофизические свойства, аналитическая зависимость, плотность, теплопроводность, хурма, слива, кинетика сушки, влажность, энергоэффективность.*

Annotatsiya. *Ushbu maqolada sanoat quritish jarayonlarini optimallashtirish uchun mevalarning (xurmo va olxo'ri misolida) issiqlik-fizikaviy va biokimyoviy xususiyatlarini matematik modellashtirishning dolzarbligi asoslab berilgan. O'zbekistonning zamonaviy agrosanoat majmuasi sharoitida ozuqaviy moddalar tarkibining yuqori sifatini saqlab qolgan holda energiya sarfini kamaytirish o'ta muhimdir. Muallif materialning joriy namligiga qarab zichlik, solishtirma issiqlik sig'imi va issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientini hisoblash uchun analitik bog'liqliklarni tahlil qildi va taqdim etdi. Taklif etilayotgan matematik modellar kichik korxonalar uchun energiya tejaydigan kamerali quritgichlarni loyihalashda muhandislik hisob-kitoblarining aniqligini oshirish imkonini beradi.*

Kalit so'zlar: *issiqlik-fizikaviy xususiyatlar, analitik bog'liqlik, zichlik, issiqlik o'tkazuvchanlik, xurmo, olxo'ri, quritish kinetikasi, namlik, energiya samaradorligi.*

Abstract. *This article substantiates the relevance of mathematical modeling of thermophysical and biochemical properties of fruits (using persimmon and plum as examples) to optimize industrial drying processes. In the conditions of the modern agro-industrial complex of Uzbekistan, it is critically important to reduce energy consumption while maintaining the high quality of the nutrient composition. The author analyzed and presented analytical dependencies for calculating density, specific heat capacity, and thermal conductivity coefficient depending on the current moisture content of the material. The proposed mathematical models make it possible to increase the accuracy of engineering calculations when designing energy-efficient chamber dryers for small enterprises.*

Keywords: *thermophysical properties, analytical dependence, density, thermal conductivity, persimmon, plum, drying kinetics, moisture content, energy efficiency.*

ВВЕДЕНИЕ

Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности Узбекистана ориентирована на внедрение инновационных, ресурсосберегающих технологий глубокой переработки сельскохозяйственного сырья. Одной из наиболее острых проблем аграрного сектора остаются высокие послеуборочные потери плодоовощной продукции, которые, по оценкам специалистов, могут достигать 30–40% от общего объема урожая [1]. Эффективным решением данной проблемы является создание локальных перерабатывающих мощностей на базе малых предприятий, что позволит оперативно консервировать свежее сырье.

Сушка выступает классическим и наиболее надежным методом пролонгирования сроков годности скоропортящегося сырья (хурмы, сливы и др.) с обеспечением соответствия готовой продукции жестким требованиям государственных стандартов качества [2]. Тем не менее, конвективное обезвоживание сопряжено со значительными затратами тепловой и электрической энергии. Интенсификация и повышение энергоэффективности этого процесса

невозможны без разработки адекватных математических моделей, базирующихся на точных аналитических зависимостях теплофизических характеристик (ТФХ) сырья [3,4]. Фундаментальное понимание динамики изменения ТФХ в процессе сушки позволяет оптимизировать режимы работы оборудования, снизить энергетические издержки и гарантировать высокую функциональную и пищевую ценность сухофруктов [5,6].

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования в данной работе послужили плоды хурмы (сорт «Тамопан») и сливы, культивируемые в климатических условиях Наманганской области [7]. Данные виды сырья отличаются высоким начальным влагосодержанием (в пределах 80–85%) и характеризуются сложной капиллярно-пористой коллоидной структурой, склонной к значительной усадке при потере влаги.

Методы исследования базировались на принципах системного анализа процессов тепломассопереноса, а также на экспериментальном определении свойств материала при различных режимах конвективной сушки. Для вывода и верификации аналитических зависимостей применялись законы аддитивности, феноменологические уравнения переноса и классическая теория сушки [4,8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Достоверное математическое описание теплофизических свойств фруктов требует учета их непрерывного изменения по мере удаления влаги. Определяющим параметром в данных расчетах выступает текущая влажность продукта W, которая в ходе технологического цикла снижается от начального значения до равновесного [5].

Плотность и объемные деформации. Удаление влаги из клеточных структур сливы и хурмы сопровождается выраженной усадкой тканей. Аналитическая зависимость плотности (ρ кг/м³) от текущей влажности W для капиллярно-пористых коллоидных тел выражается законом аддитивности объемов:

$$\rho(W) = \frac{100}{\frac{W}{\rho_w} + \frac{100 - W}{\rho_{dm}}}$$

где ρ_w — плотность воды; ρ_{dm} — плотность абсолютно сухого вещества. Экспериментальные данные подтверждают строгую корреляцию между скоростью испарения влаги и уменьшением геометрических размеров плодов, что обуславливает необходимость динамической корректировки аэродинамических параметров сушильного агента в рабочей камере [7,9].

Удельная теплоемкость. Удельная массовая теплоемкость Ср (Дж/(кг*К)) регламентирует количество тепловой энергии, затрачиваемой на нагрев высушиваемого материала. Инженерный расчет данного показателя также базируется на правиле смешения [8]:

$$C_p = C_{pw} \cdot W + C_{pdm} \cdot (1 - W)$$

Установлено, что для фруктов с высокой концентрацией сахаров (хурма, слива) значение Ср нелинейно снижается на заключительных стадиях сушки. Это физическое явление позволяет программно снижать температуру теплоносителя в конце цикла, предотвращая термическую деградацию сахаров (карамелизацию) и экономя энергоресурсы [1].

Коэффициент теплопроводности. Коэффициент теплопроводности λ (Вт/(м * К)) характеризует интенсивность кондуктивного переноса теплоты от поверхности вглубь плода. Для хурмы сорта «Тамопан» в условиях Наманганского региона эмпирически подтверждена следующая линейная зависимость [7]:

$$\lambda = 0,052 + 0,55 \cdot W$$

Анализ формулы показывает, что по мере обезвоживания теплопроводность продукта резко падает, превращая наружный слой плода в теплоизолятор. Это создает риск перегрева поверхности («закала») при сохранении высокой температуры сушильного агента [3].

Таблица 1. Динамика биохимических и физических показателей фруктов в процессе конвективной сушки

Исследуемый показатель	Начальное состояние сырья	Конечное состояние (сухофрукт)	Технологическое значение и влияние на безопасность
Влажность, %	82–85	16–18	Блокирование развития патогенной микрофлоры
Плотность, кг/м³	1040–1060	1250–1300	Изменение пористости и аэродинамики слоя
Содержание сахаров	Естественное	Высоко-концентрированное	Формирование осмотического барьера (консервирующий эффект)

Изучение кинетики процесса выявило, что для исследуемых косточковых и семечковых культур период постоянной скорости сушки практически отсутствует. Лимитирующей стадией массопереноса выступает период падающей скорости, определяемый коэффициентом внутренней диффузии влаги [4,6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе теоретических и экспериментальных исследований систематизирован комплекс аналитических зависимостей, адекватно описывающих изменение базовых теплофизических характеристик хурмы и сливы во всем диапазоне эксплуатационной влажности.

Доказано, что интеграция уравнений с переменными теплофизическими свойствами в алгоритмы управления процессом сушки позволяет сократить общую продолжительность тепловой обработки на 12–15%.

Полученные аналитические модели формируют надежную инженерную базу для конструирования автоматизированных водонагревательных и конвективных сушильных установок. Их внедрение на малых предприятиях обеспечит выпуск безопасной, высококачественной пищевой продукции с максимальной сохранностью термолабильных биологически активных веществ.

References

[1]. Остриков А. Н. и др. Энергосберегающие технологии и оборудование для сушки пищевого сырья. Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 1998. 344 с.
[2]. Фрукты сушеные. Общие технические условия: 32896–2014. russian, 2014.
[3]. Дадаев Г. Т., Сафаров Ж. Э. Моделирование процесса сушки пищевых трав в естественных природно-климатических условиях // Universum: технические науки. 2022. Т. 97, № 4.
[4]. Лыков А. В. Теория тепло- и массообмена. М.: Госэнергоиздат, 1963. 635 с.
[5]. Гинзбург А. С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. М.: Агропромиздат, 1985. 336 с.
[6]. Mujumdar A. S. Handbook of Industrial Drying. 4-е изд. CRC Press, 2014.
[7]. Сафаров Ж. Э., Султанова Ш. А., Дадаев Г. Т. Исследование кинетики сушки хурмы и сливы в условиях Наманганской области // Научный вестник НамГУ. 2025. № 2.
[8]. Кавецкий Г. Д., Касьяненко В. П. Процессы и аппараты пищевой технологии. М.: КолосС, 2008.
[9]. Sultanova Sh. A. Development of a water heating dryer // International Journal of Advanced Science and Technology. 2020. Т. 29, № 9s. С. 5895–5900.

O‘ZBEK RAQAMLI MEDIASIDA TILDAN FOYDALANISHNING ZAMONAVIY TENDENSIYALARI

N.A. Ashurmatova

Farg‘ona davlat texnika universiteti,
ORCID: 0009-0005-8993-6757
E-mail: ashurmatova90@gmail.com

(Qabul qilindi 22.01.2026 y.)

Annotatsiya. *Mazkur maqolada o‘zbek raqamli mediasida (ijtimoiy tarmoqlar, messenjyerlar, onlayn nashrlar va video-platformalar) tildan foydalanishning zamonaviy tendensiyalari lingvistik hamda lingvopragmatik nuqtai nazardan yoritiladi. Tadqiqot doirasida internet-muloqotga xos ixchamlashuv (lingvistik iqtisod), yangi so‘zlar (neologizmlar), o‘zlashmalar, kod-almashuv, mem, emoji va xeshteglarning kommunikativ vazifalari, shuningdek, multimodal vositalarning matn mazmunini tashkil etishdagi roli tahlil qilinadi. Natijalar raqamli muhit til birliklarining ekspressivlashuvini kuchaytirishi, yozma nutqning og‘zaki nutqqa yaqinlashuvi hamda diskursning polilogik (ko ‘p ishtirokchili) xususiyatga o‘tishini ko‘rsatadi.*

Kalit so‘zlar va iboralar: *raqamli media diskursi, internet tili, neologizm, qisqartma, o‘zlashma, kod-almashuv, xeshteg, emoji, mem, multimodallik, lingvopragmatika.*

Abstract. *This article examines modern trends in language use in Uzbek digital media (social networks, messengers, online news portals, and video platforms) from linguistic and pragmalinguistic perspectives. The study focuses on linguistic economy (brevity and compression), neologisms, borrowings, code-switching, and the communicative functions of memes, emojis, and hashtags, as well as the role of multimodal elements in meaning-making. The findings show that the digital environment intensifies expressiveness, brings written communication closer to spoken interaction, and transforms discourse into a more interactive and polylogical form.*

Key words and expressions: *Uzbek digital media discourse, Internet language, neologism, abbreviation, borrowing, code-switching, hashtag, emoji, meme, multimodality, pragmalinguistics.*

Аннотация. *В статье рассматриваются современные тенденции использования языка в узбекских цифровых медиа (социальные сети, мессенджеры, онлайн-СМИ и видеоплатформы) с лингвистической и прагмалингвистической точек зрения. Анализируются явления языковой экономии (сжатие и краткость), неологизмы, заимствования, кодовое переключение, а также коммуникативные функции мемов, эмодзи и хэштегов и роль мультимодальных средств в формировании смысла. Результаты показывают, что цифровая среда усиливает экспрессивность речи, сближает письменную коммуникацию с устной и делает дискурс более интерактивным и полилогическим.*

Ключевые слова и выражения: *цифровой медиадискурс, интернет-язык, неологизм, сокращение, заимствование, кодовое переключение, хэштег, эмодзи, мем, мультимодальность, прагмалингвистика.*

Kirish. Raqamli texnologiyalar jadal rivojlanishi natijasida kommunikatsiya shakllari keskin o‘zgardi: axborot almashinuvi tezlashdi, auditoriya kengaydi, matn ishlab chiqarish va qabul qilish jarayonlari yangi platformalarga ko‘chdi. O‘zbek internet makonida Telegram, Instagram, Facebook, YouTube, TikTok kabi platformalarda muloqotning o‘ziga xos uslubi shakllanib, u tilning leksik, grammatik va pragmatik qatlamlariga bevosita ta’sir ko‘rsatmoqda.

Raqamli media tili an’anaviy yozma nutqdan farqli ravishda tezkorlik, ixchamlik, emotsional-ekspressivlik va interaktivlikni talab qiladi. Shu sababli raqamli muhitda qisqartmalar, inglizcha o‘zlashmalar, gibrid birliklar, emoji/xeshteg/mem kabi semiotik elementlar ko‘payadi; mazmun ko‘p hollarda multimodal (matn + rasm + audio + video) shaklda uzatiladi. Mazkur maqolaning maqsadi — o‘zbek raqamli mediasida tildan foydalanishning zamonaviy tendensiyalarini aniqlash va ularning funksional (kommunikativ-pragmatik) imkoniyatlarini ilmiy asosda yoritishdir.

Adabiyotlar tahlili va metodologiya. Raqamli kommunikatsiya va internet tili masalalari jahon tilshunosligida “computer-mediated communication (CMC)”, “internet linguistics”, “digital discourse” kabi yo‘nalishlar doirasida tadqiq etiladi. Xususan, internet tilining o‘ziga xosligi, yozma–og‘zaki nutq chegaralarining o‘zgarishi, multimodallik va vizual belgilar orqali ma’no yaratish, kod-almashuvning kuchayishi hamda raqamli etiketa (netiquette) masalalari ko‘plab izlanishlarda yoritilgan.

Ushbu tadqiqotda metodologik asos sifatida:

- diskurs tahlili (post, komment, chat nutqining kontekst bilan bog‘liqligini ochish);
- lingvopragmatik tahlil (nutq maqsadi, ta’sirchanlik, baholash va munosabatni aniqlash);
- kontekstual-semantik tahlil (birliklarning real kontekstdagi ma’nosi);
- tasniflash va qiyosiy tahlil (an’anaviy va raqamli nutq farqlari)qo‘llandi.

Empirik material sifatida o‘zbek segmentidagi Telegram kanallari, Instagram postlari va YouTube izohlaridan olingan namunalar (reklama matnlari, yangilik sarlavhalari, kommentlar, kundalik chatlar) asosida kuzatishlar olib borildi.

Natija va muhokama.

1) Lingvistik iqtisod (ixchamlashuv) va qisqartmalar

Raqamli muhitda tez yozish va tez anglash ehtiyoji tilning iqtisodiylashuvini kuchaytiradi. Shuning uchun:

- so‘zlar qisqartiriladi: “rax” (rahmat), “togr” (to‘g‘ri), “mn” (men), “sv” (savol);
- gap tuzilmalari soddalashadi: “Kelasanmi?” → “kelsan?”, “Qayerdasan?” → “qayerd?”;
- og‘zaki nutqqa xos qisqa replikalar ko‘payadi: “ha”, “yo‘q”, “xo‘p”, “bo‘ldi”.

Bu holat yozma nutqning og‘zaki nutqqa yaqinlashuvi va dialogik shaklning kuchayishi bilan izohlanadi.

2) Neologizmlar, o‘zlashmalar va gibrid birliklar

Raqamli media yangi realiyalarni tez nomlashni talab qiladi. Natijada inglizcha birliklar va gibrid shakllar faol ishlatiladi:

- trend, story, live, bloger, kontent, challenge, pranking, update;
- o‘zbekcha qo‘shimchalar bilan moslashuv: “post qildim”, “layk bosdim”, “reelsga chiqdi”, “bloklab qo‘ydi”.

Bu jarayon bir tomondan leksik boyishni ta’minlasa, ikkinchi tomondan me’yoriylik va uslubiy moslik masalasini ham dolzarblashtiradi.

3) Kod-almashuv (code-switching)

Raqamli diskursda o‘zbekcha gap ichida inglizcha yoki ruscha birliklarning qo‘shilishi kuzatiladi:

- “Bugun meeting bor, keyin yozaman.”
- “Deadline yaqin, tezroq topshiring.”
- “Srochno yuboring, admin kutyapti.”

Kod-almashuv ko‘pincha kasbiy muloqot (IT, marketing, SMM), prestij, tezkorlik va terminlarning qulayligi bilan bog‘liq bo‘ladi.

4) Emoji, sticker, gif va xeshteglarning pragmatik vazifasi

Raqamli mediasozlashuvda emoji va stickerlar:

- emotsiyani bildiradi (☺😂☹);
- kinoya yoki yumorni kuchaytiradi;
- baholashni ixcham ifodalaydi (👍🖐🔥);
- muloqot ohangini belgilaydi.

Xeshteglar esa:

- matnni indekslaydi (#yangilik #dolzarb #kunmavzusi);
- auditoriyani jalb qiladi;
- reklamaviy va algoritmik tarqatish vazifasini bajaradi.

Demak, emoji va xeshteglar “bezash” vositasi emas, balki ma’no yaratishning semiotik mexanizmi sifatida namoyon bo‘ladi.

5) Multimodallik va polilogik diskurs

Raqamli media matni ko‘pincha bitta kod bilan cheklanmaydi: matn rasm, video, audio, musiqiy fon, animatsiya bilan birlashadi. Ma’no aynan shu kodlarning uyg‘unligi orqali yaratiladi. Kommentlar, repost, reaksiya va “reply”lar esa muloqotni polilogik shaklga olib chiqib, diskursning interaktiv tabiatini kuchaytiradi.

Xulosa. O‘zbek raqamli mediasida tildan foydalanish zamonaviy kommunikativ ehtiyojlar asosida yangi funksional yo‘nalishlar kasb etmoqda. Asosiy tendensiyalar sifatida lingvistik iqtisod (ixchamlashuv), neologizmlar va o‘zlashmalar faollashuvi, kod-almashuv, emoji/xeshteg/memlarning pragmatik-semiotik funksiyasi hamda multimodallikning kuchayishini ko‘rsatish mumkin. Bu jarayonlar yozma nutqni og‘zaki nutqqa yaqinlashtiradi, ekspressivlikni

oshiradi va raqamli diskursni yangi tipdagi til hodisasi sifatida talqin etish zaruratini yuzaga keltiradi.

Adabiyotlar

[1]. Abdumannovna, A. N. (2024). Sociolinguistic profile research paper. Current Research Journal of Philological Sciences, 5(10), 50–58.
[2]. Ашурматова, Н. (2025). The impact of digital media discourse on linguistic changes. Международный мультидисциплинарный журнал исследований и разработок, 1(4), 3–5.
[3]. Ashurmatova, N., & Abdumajidov, A. (2025). Raqamli media diskursini o‘rganishda lingvistik metodologiyalar: Nazariy va amaliy yondashuvlar. Молодые ученые, 3(14), 38–42.
[4]. Abdumannovna, A. N. (2025). Ingliz va o‘zbek tillarida nominatsiya atamasining paydo bo‘lishi va uning turlarini o‘rganish.
[5]. Abdumannovna, A. N. (2025). Ingliz va o‘zbek tillarida nominatsiya va uning turlarini o‘rganish. Modern Educational System and Innovative Teaching Solutions, 1(5), 112–115.
[6]. Abdumannovna, A. N. (2025). Ikkilamchi nominatsiya paydo bo‘lishi, sabablari va tilshunoslikdagi o‘rni. Analysis of Modern Science and Innovation, 1(4), 184–188.
[7]. Ashurmatova, N. A. (2025). Priority innovations in education. Мировая наука, 9–11.
[8]. Abdumannovna, A. N., et al. (2025). Raqamli media diskursining lingvistik o‘zgarishlarga ta’siri. Pedagogik tadqiqotlar jurnali, 8(1), 116–118.

IJTIMOIY GURUHLAR VA JINOYAT DUNYOSI VAKILLARI NUTQIDAGI ASOSIY FARQLAR

Sh.X. Sayidov

Farg‘ona davlat texnika universiteti assistenti
shukrullosayidov1991@gmail.com

(Qabul qilindi 10.03.2026 y.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada ijtimoiy lingvistikaning muhim tadqiqot obyekti sifatida ijtimoiy guruhlar nutqi va jinoyat dunyosi vakillari nutqining (argo, jargon) qiyosiy tahlili amalga oshirilgan. Tadqiqotda ijtimoiy guruh vakillari nutqidagi yaqin munosabatlar va hissiy bog‘liqlikning lingvistik ifodasi hamda jinoyat dunyosi vakillari nutqidagi yopiq tizim, maxfiylik, ierarxik munosabatlar va normativlikdan chetga chiqish hodisalari o‘rganilgan. Maqolada sotsiolekt tushunchasining nazariy asoslari, tilning ijtimoiy tabaqalanishi, shuningdek, ayrim tilshunos olimlarning ilmiy merosidagi sotsiolingvistik qarashlar tahlil qilinadi.*

Kalit so‘zlar: *ijtimoiy lingvistika, sotsiolekt, ijtimoiy guruhlar, jargon, argo, jinoyat dunyosi nutqi, qimorbozlar nutqi, til tabaqalanishi, sotsiolingvistik tahlil.*

Аннотация. *В данной статье представлен сравнительный анализ речи социальных групп и речи представителей криминального мира (арго, жаргон) как важного объекта исследования в социолингвистике. В исследовании изучается языковое выражение тесных отношений и эмоциональной связи в речи представителей социальных групп, а также явления замкнутых систем, секретности, иерархических отношений и отклонений от нормативности в речи представителей криминального мира. Анализируются теоретические основы понятия социолекта, социальной стратификации языка, а также социолингвистические взгляды в научном наследии некоторых лингвистов.*

Ключевые слова: *социолингвистика, социолект, социальные группы, жаргон, арго, речь криминального мира, речь игроков, языковая стратификация, социолингвистический анализ.*

Abstract. *This article presents a comparative analysis of the speech of social groups and the speech of representatives of the criminal world (argo, jargon), as an important object of research in sociolinguistics. The study studies the linguistic expression of close relationships and emotional connection in the speech of representatives of social groups, as well as the phenomena of closed systems, secrecy, hierarchical relations and deviations from normativity in the speech of representatives of the criminal world. The article analyzes the theoretical foundations of the concept of sociolect, social stratification of language, as well as sociolinguistic views in the scientific heritage of some linguists.*

Keywords: *sociolinguistics, sociolect, social groups, jargon, argot, criminal world speech, gamblers' speech, language stratification, sociolinguistic analysis.*

Kirish. Ijtimoiy lingvistika tilshunoslikning nisbatan yosh, ammo jadal rivojlanayotgan sohasi bo‘lib, uning asosiy vazifasi til va jamiyat o‘rtasidagi uzviy bog‘liqlikni ochib berishdan iborat. Til nafaqat muloqot vositasi, balki ijtimoiy tuzilish, madaniy qadriyatlar va guruhiy mansublikning ko‘zgusidir. Har qanday jamiyatda til turli ijtimoiy guruhlar, kasbiy birlashmalar, yosh toifalari va hatto yashirin tuzilmalar doirasida o‘ziga xos shakllarda namoyon bo‘ladi. Aynan shu nuqtai nazardan, kichik ijtimoiy guruhlar nutqi va jinoyat dunyosi vakillari nutqini qiyosiy o‘rganish sotsiolingvistikaning dolzarb masalalaridan biridir.

Ijtimoiy guruhlar, o‘zaro yaqin munosabatlar, ishonch va hissiy bog‘liqlik asosida shakllanadi. Bunday guruhlar tilning jonli va dinamik rivojlanishini ta’minlaydi. Aksincha, jinoyat dunyosi vakillarining nutqi (argo, jargon) yopiq tizim sifatida shakllanib, maxfiylik, guruh ichidagi ierarxiya, tashqi dunyodan ajralish va normativ tildan ongli ravishda chetga chiqish kabi xususiyatlar bilan ajralib turadi. Sotsiolekt tushunchasining ilmiy muomalaga kirishi tilshunoslikda yangi bosqichni ochdi. G‘arb sotsiolingvistikasida sotsiolekt asosan ijtimoiy sinflar va tabaqalar nutqini ifodalagan bo‘lsa, sobiq Ittifoq sotsiolingvistikasida bu tushuncha ko‘proq kasbiy leksika, ya’ni dengizchilar, konchilar, dehqonlar tili bilan bog‘liq holda o‘rganildi. Hozirgi rus sotsiolingvistikasida sotsiolekt milliy til doirasidagi biron ijtimoiy guruhga (kasbiy, tabaqaviy, yosh) xos bo‘lgan lisoniy xususiyatlar majmui sifatida ta’riflanadi.

Maqolaning asosiy maqsadi – ijtimoiy guruhlar nutqi va jinoyat dunyosi vakillari nutqini sotsiolingvistik jihatdan qiyosiy tahlil qilish, ularning o‘ziga xos lingvistik xususiyatlarini aniqlash va bu ikki xil ijtimoiy hodisaning tilga ta’sir mexanizmlarini ochib berishdir. Tadqiqotda sotsiolekt tushunchasi, tilning ijtimoiy tabaqalanishi, shuningdek, V.V.Vinogradov, V.M.Jirmunskiy, Y.D.Polivanov, A.M.Selishchev kabi olimlarning ilmiy qarashlari tayanch nuqta sifatida xizmat qildi.

Usullar.

Ushbu tadqiqotda ijtimoiy lingvistikaning asosiy tamoyillari asosida qiyosiy-tahliliy, deskriptiv (tasviriy) va funksional usullar qo‘llanildi. Tadqiqot materiali sifatida kichik ijtimoiy guruhlar (oila, do‘stlar, kasbiy jamoa) nutqidan olingan haqiqiy suhbat parchalari, shuningdek, badiiy adabiyot va kinematografiya materiallarida aks ettirilgan jinoyat dunyosi vakillari nutqi (argo, jargon) tahlil qilindi.

Tadqiqotda asosan ayrim ijtimoiy guruhlar nutqining leksik, grammatik va pragmatik xususiyatlarini aniqlash, ijtimoiy guruhlar nutqidagi lingvistik o‘ziga xosliklarni (argotik birliklar, metafora, ramziy ifodalar) saralash va tahlil qilish hamda tilning ijtimoiy tabaqalanishida lingvistik hodisaning o‘rni va ahamiyatini nazariy jihatdan asoslash kabi bosqichlari iborat. Tadqiqotda sotsiolingvistik kuzatuv, intervyu va matn tahlili usullaridan foydalanildi. Kichik guruhlar nutqini o‘rganishda 15 nafar informant (turli yosh va kasb egalari) ishtirokida erkin suhbatlar tashkil etildi. Jinoyat dunyosi vakillari nutqini o‘rganishda esa asosan yozma manbalar (badiiy adabiyot, memuar adabiyot, ilmiy tadqiqotlar) va og‘zaki nutq namunalari (yopiq muassasalardagi kuzatuvlar, arxiv materiallari) tayanch qilib olindi.

Natijalar.

Kichik ijtimoiy guruhlar, ya’ni oila, do‘stlar davrasi, ish joyidagi jamoa yoki manfaatlar asosida birlashgan guruhlar o‘zaro yaqin munosabatlar va ishonch asosida shakllanadi. Bunday guruhlarning nutqida quyidagi lingvistik xususiyatlar kuzatiladi.

Jinoyat dunyosi vakillarining nutqi, jinoyatchilar argo va jargoni yopiq tizim sifatida shakllangan bo‘lib, maxfiylik va kodlash vazifasini bajaradi. Jinoyat dunyosi nutqining asosiy vazifalaridan biri – axborotni tashqi kuzatuvchilardan yashirish. Shu sababli, argo birliklar ko‘p hollarda metafora, metonimiya, ramziy ifodalar asosida yaratiladi.

Jinoyat dunyosida qat’iy ierarxiya mavjud bo‘lib, bu nutqda ham o‘z aksini topadi. “Vor v zakone”, “avtoritet”, “shestyorka”, “musor” kabi atamalar nafaqat ijtimoiy mavqeni, balki guruh ichidagi hokimiyat munosabatlarini ham ifodalaydi. Yuqori mavqedagi shaxslarga nisbatan hurmat ifodasi, past mavqedagilarga nisbatan esa kamsituvchi, tahqirlovchi iboralar qo‘llaniladi. Jinoyat dunyosi vakillari adabiy til me’yorlarini buzishni o‘ziga xos “o‘zga”lik, “biz” va “ular” qarama-

qarshiligini ifodalash vositasi sifatida qo‘llaydi. Bu fonetik, leksik va grammatik darajalarda kuzatiladi. Masalan, so‘zlarning qasddan buzilishi, jargon birliklarning ko‘p qo‘llanilishi, adabiy tildagi sinonimilar o‘rniga argotik variantlarning tanlanishi.

V.M. Jirmunskiy ta’kidlaganidek, “til nafaqat milliy birlikning, balki ijtimoiy farqlanishning ham ko‘zgusidir”. Kichik guruhlar nutqidagi yaqinlik va ishonch, jinoyat dunyosi nutqidagi yopiq va kodlashtirilgan tizim – bularning barchasi tilning insoniyat jamiyatidagi rang-barang va ko‘p qirrali tabiatidan dalolat beradi. Kichik guruhlar nutqi va jinoyat dunyosi vakillari nutqini o‘rganish sotsiolingvistika uchun muhim nazariy va amaliy ahamiyatga ega. Birinchidan, bu tilning ijtimoiy tabaqalanishi, uning turli ijtimoiy guruhlar ehtiyojlariga qanday moslashishini ko‘rsatadi. Ikkinchidan, tilning dinamik tabiati, uning doimiy o‘zgarib, yangi shakllar yaratish qobiliyatini namoyish etadi. Uchinchidan, til va jamiyat o‘rtasidagi murakkab munosabatlarni, tilning jamiyat tuzilishini aks ettirish va shakllantirishdagi rolini ochib beradi.

Tahlil.

Zamonaviy jamiyatda jinoyatchilik tobora murakkablashib, tashkiliy jihatdan rivojlanib bormoqda. Jinoyatchilikka qarshi kurash faqat huquqiy choralar bilan emas, balki uning ichki mexanizmlarini, xususan, **til tizimini o‘rganish orqali ham samarali amalga oshiriladi**. Jinoyat olamiga oid til – bu oddiy kommunikatsiya vositasi emas, balki yashirin axborot almashish, guruhni identifikatsiya qilish va ijtimoiy chegaralarni belgilash vositasidir.

Jinoyat tili ko‘pincha “argot”, “jargon”, “fenya” yoki “blatnoy muzika” kabi nomlar bilan yuritiladi. Ushbu til shakllari jamiyatning rasmiy til normalariga qarshi turuvchi submadaniyat mahsulidir.

Argot – bu ma’lum bir yopiq ijtimoiy guruh tomonidan ishlatiladigan maxfiy til shaklidir. Jargon esa kengroq tushuncha bo‘lib, turli kasb egalari yoki ijtimoiy qatlamlarga xos til birliklarini o‘z ichiga oladi. Jinoyat argoti maxfiylik, semantik o‘zgaruvchanlik, metaforik boylik, kodlangan ma’no kabi xususiyatlarga ega.

Jinoyat tili ko‘p funksiyali sotsiolingvistik hodisa bo‘lib, u jinoyatchilar o‘rtasida samarali aloqa o‘rnatish (kommunikativ funksiya), guruh a’zolarini begonalardan ajratish (identifikatsiya funksiyasi), axborotni tashqi kuzatuvchilardan yashirish (himoya funksiyasi) hamda ichki birdamlik va ishonchni mustahkamlash (psixologik funksiya) kabi muhim vazifalarni bajaradi. Shu jihatdan u nafaqat til vositasi, balki jinoyat guruhlarining barqaror faoliyat yuritishini ta’minlovchi muhim ijtimoiy mexanizm sifatida namoyon bo‘ladi.

Jinoyat va qimor tilida qo‘llaniladigan imo-ishoralar, tatuirovkalar, kodlangan yozuvlar, yuz ifodalari va turli signallar maxfiy kommunikatsiya vositalari sifatida xizmat qiladi. Ushbu vositalar orqali guruh a’zolari o‘zaro yashirin aloqa o‘rnatadi, tashqi nazorat va kuzatuvdan qochadi hamda ichki tartib-intizomni saqlab turadi. Shu bois, ular jinoyat submadaniyatining muhim va ajralmas kommunikativ mexanizmi hisoblanadi. Jinoyat tili o‘zining kinoyali, qo‘pol va dramatik ifoda vositalari orqali nafaqat aloqa funksiyasini bajaradi, balki insonni “dehumanizatsiya” qilish va tajovuzkorlikni kuchaytirish kabi psixologik ta’sirga ham ega. Shu bilan birga, uni o‘rganish muhim amaliy ahamiyat kasb etadi: oddiy fuqarolar uchun xavfni oldindan sezish va ehtiyot choralarini ko‘rishga yordam bersa, huquqni muhofaza qilish organlari uchun jinoyatlarni aniqlash, tergovni samarali olib borish hamda profilaktika choralarini kuchaytirishda muhim vosita bo‘lib xizmat qiladi.

Ijtimoiy lingvistikaning nazariy asoslari XX asrning birinchi yarmida shakllana boshlagan. V.M. irmunskiy, M.M.Вахтин, L.P.Yakubinskiy kabi olimlar tilning ijtimoiy tabiatini o‘rganishga alohida e’tibor qaratdilar. Jirmunskiyning tadqiqotlarida hududiy dialektlar va ijtimoiy dialektlar o‘rtasidagi farq aniq belgilab berilgan bo‘lsa, Y.D.Polivanov til va jamiyat o‘rtasidagi bog‘liqlikni sinfiy nuqtai nazardan emas, balki funksional jihatdan tahlil qilish zarurligini ta’kidlagan.

N.Y.Marr til va jamiyat o‘rtasidagi munosabatlarni sinfiy asosda izohlagan bo‘lsa-da, keyingi davr tadqiqotlarida bu qarashlar tanqidiy qayta ko‘rib chiqildi. A.B.Barannikov sotsiolingvistikani til qonuniyatlari va jamiyat taraqqiyoti o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlik sifatida ta’riflagan. A.M.Selishchev va B.A.Larin esa ijtimoiy dialektlarni, ayniqsa, shahar tilidagi turli ijtimoiy qatlamlarga xos nutq xususiyatlarini o‘rganishga katta hissa qo‘shgan. Jinoyat dunyosi nutqini

o‘rganish borasida V.D.Bondaletov, T.M.Nikolaeva, I.A.Sternin kabi olimlarning ishlari alohida ahamiyatga ega. Ushbu tadqiqotlarda argo va jargonlarning leksik-semantik xususiyatlari, ularning funksional yuki, shuningdek, ularning adabiy tilga ta’siri masalalari chuqur tahlil qilingan. O‘zbek tilshunosligida esa Sh.Rahmatullayev, N.Mahmudov, B.O‘rinboyev kabi olimlarning sotsiolingvistika va ijtimoiy dialektlarga oid ishlari mavjud bo‘lib, ularda tilning ijtimoiy tabaqalanishi, kasbiy jargonlar va yoshlar slengi masalalari qisman o‘rganilgan.

Xulosa.

Ijtimoiy guruhlar nutqi samimiylik, hissiy bog‘liqlik, umumiy ma’lumotlar fondi va situativ ifodalar bilan tavsiflanadi. Bu guruhlarda til asosan kommunikativ va psixologik qo‘llab-quvvatlash funksiyasini bajaradi. Jinoyat dunyosi vakillari nutqi (argo, jargon) maxfiylik, kodlashtirilganlik, ierarxik munosabatlarning qat’iy lingvistik ifodasi va normativ tildan ongli ravishda chetga chiqish bilan ajralib turadi. Bu nutq shakli identifikatsiya, maxfiylik va hokimiyat munosabatlarini mustahkamlash funksiyalarini ham bajaradi. Ikkala guruh nutqida ham guruh ichidagi birlikni ta’minlash, umumiy ma’lumotlar fondiga asoslangan qisqartirilgan ifodalar va situativ muloqot kabi o‘xshashliklar mavjud. Biroq, maxfiylik darajasi, normativlikka munosabat, ierarxik ifoda va funksional yuk kabi jihatlarda tub farqlar kuzatiladi. Sotsiolekt tushunchasi kichik guruhlar nutqi va jinoyat dunyosi nutqini yagona nazariy asosda o‘rganish imkonini beradi. Bu tushuncha tilning ijtimoiy tabaqalanishini, uning turli ijtimoiy guruhlar ehtiyojlariga moslashuvchanligini tushunishda muhim kategoriya hisoblanadi. Demak, ijtimoiy guruhlar nutqi va jinoyat dunyosi vakillari nutqini qiyosiy o‘rganish tilshunoslikning nafaqat nazariy, balki amaliy masalalarini – til siyosati, huquqiy lingvistika, lingvistik ekspertiza kabi yo‘nalishlarni rivojlantirish uchun ham ahamiyatlidir. Jinoyat olami va qimorbozlikka oid til murakkab sotsiolingvistik hodisa bo‘lib, u nafaqat kommunikativ vosita, balki ijtimoiy identifikatsiya, himoya va manipulyatsiya instrumentidir. Ushbu tilni o‘rganish jinoyatchilikka qarshi kurashda muhim ahamiyatga ega. Jargon va argot jamiyatning yashirin qatlamlarini ochib beruvchi lingvistik fenomen sifatida alohida tadqiqotlarni talab qiladi.

Adabiyotlar

[1]. Brunson, Doyle. flow I Made Over $1,000,000 Playing Poker. Las Vegas; B&G Publishing Co., Inc., 1978.
[2]. Gardner, jack. Gambling: A guide to information sources. Vol. 8 of Sports, Games, and Pastimes; Information Guide Series. Detroit; Gale Research Company, 1980.
[3]. Kane, Elisha K. "The jargon of the Underworld," Dialect Notes, 5 (1927),433-467.
[4]. Maurer, David W. "The Argot of the Professional Dice Gambler," Language of the Underworld, collected and edited by Allan W. Futrell and Charles B. Wordell. Lexington; The University Press of Kentucky, 1981, pp. 173-194.
[5]. Allan W. Futrell. "Criminal Monickers." American Speech, 57, no. 4, pp. 243-55, 1982
[6]. Жирмунский В.М. Национальный язык и социальные диалекты. – Ленинград: Художественная литература, 1936. – 298 с.
[7]. Поливанов Е.Д. Статьи по общему языкознанию. – Москва: Наука, 1968. – 376 с.
[8]. Бараников А.П. Социальная лингвистика и ее задачи // Вопросы языкознания. – 1959. – № 4. – С. 3-15.
[9]. Дешериев Ю.Д. Социальная лингвистика: к основам общей теории. – Москва: Наука, 1977. – 382 с.
[10]. Швейцер А.Д., Никольский Л.Б. Введение в социолингвистику. – Москва: Высшая школа, 1978.– 216 с.
[11]. Селищев А.М. Избранные труды. – Москва: Просвещение, 1968. – 640 с.
[12]. Ларин Б.А. О лингвистическом изучении города // История русского языка и общее языкознание. – Москва: Просвещение, 1977. – С. 189-199.
[13]. Бондалетов В.Д. Социальная лингвистика. – Москва: Просвещение, 1987. – 160 с.
[14]. Махмудов Н. Тил ва жамият // Ўзбек тили ва адабиёти. – 1998. – № 1. – Б. 3-7.
[15]. Раҳматуллаев Ш. Ўзбек тилининг этимологик луғати. – Тошкент: Фан, 2000. – 428 б.
[16]. Ўринбоев Б. Ўзбек тилининг ижтимоий диалектлари // Ўзбек тилшунослигининг долзарб масалалари. – Тошкент: Фан, 1995. – Б. 112-118.
[17]. Sternin I.A. Social factors and language development // Russian Journal of Linguistics. – 2015. – Vol. 19. – № 3. – P. 45-57.
[18]. Крысин Л.П. Социолингвистика: учебное пособие. – Москва: Академия, 2001. – 240 с.
[19]. Беликов В.И., Крысин Л.П. Социолингвистика. – Москва: РГГУ, 2001. – 439 с.

MODERN EDUCATIONAL METHODS - A GUARANTEE OF EDUCATIONAL EFFICIENCY

R.B. Batirova, M.M. Quchqarova

Farg'ona davlat texnika universiteti,
roziyabatirova776@gmail.com
mavludaxonquchqarova3@gmail.com
(Qabul qilindi 22.02.2026 y.)

Annotation*. The article discusses the importance of using modern interactive methods in the educational process in order to increase the effectiveness of education, and develops comprehensive proposals and recommendations.*

Keywords: *educational effectiveness, modern educational methods, interactive methods, brainstorming, small groups, round table discussion, students, teachers, debate, problem situation, educational material.*

Annotatsiya. *Maqolada ta'lim jarayonida zamonaviy interaktiv usullarni qo'llashning ahamiyati muhokama qilinib, ta'lim samaradorligini oshirishga qaratilgan kompleks taklif va tavsiyalar ishlab chiqilgan.*

Kalit so'zlar: *ta'lim samaradorligi, zamonaviy ta'lim usullari, interaktiv usullar, brainstorming, kichik guruhlar, dumaloq stol muhokamasi, talabalar, o'qituvchilar, bahs-munozara, muammo vaziyati, o'quv materiali.*

Аннотация. *В статье рассматривается значение применения современных интерактивных методов в образовательном процессе для повышения эффективности обучения, а также разработаны комплексные предложения и рекомендации.*

Ключевые слова: *эффективность обучения, современные методы обучения, интерактивные методы, мозговой штурм, малые группы, круглый стол, студенты, преподаватели, дебаты, проблемная ситуация, учебный материал.*

INTRODUCTION The tasks assigned to teaching staff to ensure that the knowledge, skills and qualifications of students meet the requirements of the time are extremely significant and responsible. To fulfill this task, teachers, regardless of the type of educational institution in which they work, must constantly work independently on themselves, improve their skills and conduct scientific and creative research. From the point of view of the mandatory fulfillment of the requirements of state educational standards, it is undoubtedly that the level of professional competence of the teacher meets the requirements of the time and ensures a positive solution to the problem. For this purpose, there is a need for teachers to widely use modern teaching methods in the educational process. The use of modern teaching methods leads to high efficiency in the educational process. When choosing teaching methods, it is advisable to choose based on the didactic task of each lesson. While preserving the traditional form of the lesson, enriching it with various methods that activate student activity leads to an increase in the level of student mastery. This requires rational organization of the lesson process, constant stimulation of student interest by the teacher, division of the educational material into small parts, use of methods such as brainstorming, work in small groups, discussion, problem situations, reference text, projects, role-playing games to reveal their content, and encouragement of students to independently perform practical exercises.

DISCUSSION AND RESULTS In modern language, these methods are also called interactive or interactive methods. Interactive methods are understood as methods that activate students and encourage independent thinking, and in which the learner is at the center of the educational process. When these methods are used, the teacher encourages the learner to actively participate. The learner actively participates throughout the process. The benefits of a learner-centered approach include: - higher learning outcomes; - higher levels of student motivation; - consideration of prior knowledge; - adaptation of learning intensity to the needs of the learner; - increased student engagement support for initiative and responsibility; - learning through practice; - creating conditions for two-way

feedback. For example, the “Brainstorming” method is a method that collects free thoughts and opinions expressed by students on a problem and uses them to come to a specific solution. There are written and oral forms of the “Brainstorming” method. In the oral form, each student expresses his or her opinion orally to the question posed by the teacher. Students state their answers clearly and briefly. In the written form, students write their answers to the given question on paper cards in a short and visible way for everyone. The answers are attached to the board (using magnets) or the board (using pins). In the written form of the “Brainstorming” method, there is an opportunity to group the answers according to certain signs. This method, when used correctly and positively, teaches a person to think freely, creatively and non-standardly. When using the “Brainstorming” method, it is possible to involve all students, including the formation of a culture of communication and discussion among students. Students develop the ability to express their thoughts not only orally, but also in writing, as well as the ability to think logically and systematically. The lack of evaluation of the expressed ideas leads to the formation of different ideas in students. This method serves to develop creative thinking in students. The “Brainstorming” method is implemented depending on the goal set by the teacher: 1. When the goal is to determine the initial knowledge of students, this method is implemented in the introductory part of the lesson. 2. When the goal is to repeat the topic or connect one topic with the next, it is implemented in the transition to a new topic. 3. When the goal is to reinforce the topic covered, it is carried out after the topic, in the reinforcement part of the lesson. The main rules for using the “Brainstorming” method: 1. The expressed ideas are not discussed and evaluated. 2. Any expressed ideas are taken into account, even if they are not correct. 3. Each learner is required to participate. The structure of the “Brainstorming” method is presented below. A problematic question is asked. Ideas and ideas are heard and summarized. Ideas and ideas are grouped. A clear and correct answer is selected. The structure of the “Brainstorming” method. The stages of the “Brainstorming” method are as follows:
1. Students are asked a question and asked to express their answers (ideas, ideas and comments) to this question; 2. Students express their opinions on the question; 3. Students' ideas are collected (on a tape recorder, videotape, colored paper or a board); 4. Ideas are grouped according to certain characteristics; 5. A clear and correct answer to the above question is selected. Advantages of the "Brainstorming" method: · The lack of evaluation of the results leads to the formation of different ideas among students; · All students participate; · Ideas ideas are visualized; · there is an opportunity to check the initial knowledge of students; · arouses interest in the topic in students. Disadvantages of the “Brainstorming” method: · inability of the teacher to correctly formulate the question; · high level of listening skills required from the teacher. 2. Structure of the “Work in Small Groups” method The stages of the “Work in Small Groups” method are as follows: 1. The direction of activity is determined. Interrelated issues on the topic are determined. 2. Small groups are determined. Students can be divided into groups of 3-6 people. 3. Small groups begin to complete the task. 4. The teacher gives clear instructions and guides them. 5. Small groups make presentations. 6. Completed tasks are discussed and analyzed. 7. Small groups are evaluated. The advantages of the “Working in small groups” method: · leads to better mastery of the content of the lesson; · leads to improvement of communication skills; · saves time; · involves all students.
2. Small groups are formed. The topic is covered. Assignment to group 1; Assignment to group 2; Assignment to group 3; Assignment to group 4. Instruction and guidance by the teacher; Discussion and analysis; Presentation of group 1, presentation of group 2, presentation of group 3, presentation of group 4 are conducted and evaluated. In this case: · there is an opportunity for self- and inter-group assessment. Disadvantages of the “Working in small groups” method: · due to the presence of weak students in some small groups, strong students may also receive low grades; · the ability to control all students is low; · negative competition between groups may arise; · conflict may arise within the group. 3. “Round table” method: The “round table” method is a teaching method in which students express their opinions on the problems or questions posed around a round table. [Yuldoshev J.G., Usmonov S. 2004] When using the “round table” method, tables and chairs should be arranged in a circle. This helps each student to establish “eye contact” with each other. There are oral and written forms of round table discussion. In an oral roundtable discussion, the teacher

introduces the topic and asks the students to express their opinions on this question, and each student in the circle expresses their opinions orally. Everyone listens attentively to the student who is speaking, and if necessary, discussion is held after all opinions have been heard. This helps students to think independently and develop a culture of speech. Structure of the roundtable: In a written roundtable discussion, the tables and chairs are also arranged in a circle, and each student is given an envelope. Each student asks a question on a specific topic on an envelope and writes his/her answer on one of the "Answer Sheets", puts it inside the envelope and makes marks. Signs: Student 1 - students set up a table in a circle of 2. After that passes the envelope clockwise to the student next to him. The student who receives the envelope writes his answer on one of the "Answer Sheets", puts it in the envelope and passes it to the student next to him. All envelopes move in a circle. In the final part, all envelopes are collected and analyzed. The structure of the "Round Table" method is presented below. The structure of the "Round Table" method The stages of the "Round Table" method are as follows: 1. The topic of the lesson is announced. 2. The teacher introduces the students to the procedure for conducting the lesson. 3. Each student is given one envelope and as many "Answer Sheets" for writing answers as there are students in the group, and the time allotted for writing each answer is determined. The student writes his/her name on the envelope and on the "Answer Sheets". 4. The student writes his/her question on the envelope and writes his/her answer on the "Answer Sheet" and puts it in the envelope. 5. The student who wrote the question on the envelope passes the envelope clockwise to the student next to him/her. Introduction to the conditions for conducting the interview: Distributing envelopes and "Answer Sheets"; Writing questions on the envelopes; Writing answers to the questions; Evaluation and analysis. Passing the envelope to the student next to him/her. 6. The student who receives the envelope writes an answer to one of the "Answer Sheets" on the question on the envelope, puts it in the envelope and passes it to the student next to him/her. 7. The envelope goes around the round table and returns to the student who wrote the question. The student who wrote the question evaluates the "Answer Sheets" in the envelope. 8. All envelopes are collected and analyzed.

CONCLUSION

Through this method, students can briefly and clearly express their knowledge on a given topic. In addition, this method creates the opportunity to evaluate students on a specific topic. In this way, students can evaluate the answers given by other students in the group to their questions, and the teacher can also objectively evaluate the students.

References

[1]. O.D.Raximov,O.M.Turg‘unov,Q.O.Mustafayev,H.J.Ro‘ziyev, Zamonaviyta’limtexnologiyalari.Toshkent.2012
[2]. B.R.Batirova Fizika-matematika jurnal Toshkent.2022(6) y 96-143 betlar
[3]. B.R.Batirova Қарду хабарлари Илмий-назарий, услубий журнал 154-159 betlar.
[4]. O.D.Raximov,O.M.Turg‘unov,Q.O.Mustafayev,H.J.Ro‘ziyev, Zamonaviyta’limtexnologiyalari.Toshkent.2012.
[5]. file:///C:/Users/User/Downloads/zamonaviy-ta-lim-metodlari-ta-lim-samaradorligi-kafolati.pdf

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 ФарДТУ веб-сайти http://www.ferstu.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 ФерГТУ http://www.ferstu.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 FerSTU website, http://www.ferstu.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: 02jurnalfstu@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: 10.04.2026 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.