ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -6

# DEVELOPMENT OF SCIENCE

## scientific journal



# Development of science

## Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 6

ISSN 3030 -3907

*Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.*

**BOSH MUHARRIR:**
***Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.***
**TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:**
***Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor***
***TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI***

**TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

***Bozorov G‘ayrat Rashidovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Abdurahmonov Olim Rustamovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Adizov Bobur Zamirovich***
*O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor*
***Hayitov Ruslan Rustamjonovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Jumayev Qayum Karimovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Berdiyev Dorob Murodovich***
*Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Maxmudov Rafiq Amonovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Tilloyev Lochin Ismatilloyevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Raxmonov Qahramon Sanakulovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Barakayev Nusratullo Rajabovich***
*Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Panoyev Erali Rajabboyevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Ataullayev Sherzod Nabiullyevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Murodov Malik Negmurodovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Axmedova Ozoda Bahronovna***
*Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.*
***Safarov Bahri Jumayevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Xaydarov Axtam Amonovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Safarov Jasur Alijon o‘g‘li***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*

**KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

***Axmedov Voxid Nizomovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Umarov Baqo Bafoyevich***
*Buxoro Davlat Universiteti, professor*
***Kodirov Abduaxad Abduraximovich***
*Qarshi davlat Universiteti, professor*
***Qurbonov Mingniqul Jumagulovich***
*Qarshi davlat Universiteti, dotsent*
***Turemuratov Sharibay Naurizbaevich***
*O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor*
***Tursunov Kaxor Shonazarovich***
*Qarshi davlat Universiteti, professor*
***Do‘stov Hamro***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Panoyev Nodir Shavkatovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Kasimov Sherzod Abduazimovich***
*Termiz Davlat Universiteti, professor.*
***Aliqulov Rustam Valiyevich***
*Termiz Davlat Universiteti, professor*
***Tropov Xamza Tursunovich***
*Samarqand Davlat Universiteti, professor*

**IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

***Nizamov Aslitdin Badreddinovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Boboyev Akmal Choriyevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna***
*Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor*
***Saidaxmedova Nodira Ilxomovna***
*Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor*
***Muxsinov Bekzod Toxirovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Shakarov Qulmat Ashirovich***
*Renessans ta'lim universiteti,dotsent.*
***Jumaeva Zulfiya Qayumovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Norova Salomat Yusupovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Jalilov Jamshid G‘anijonovich***
*Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent*
***Xasanova Gulruh Djumanazarovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*

**PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ**

***Siddiqova Sadoqat G‘afforovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Zoyirov Erkin Xalilovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor*
***Gaffarov Feruz Hasanovich***
Puchon Universiteti, *professor*
***Ruziyev Davron Yuldashevich***
*Buxoro Davlat Universiteti, professor*
***Muradova Firuza Rashidovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Yunusova Gulandon Samiyevna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***To‘xtayeva Zebo Sharifovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Uzoqova Laylo Polvonovna***
*Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.*
***To‘raqulova Marjona Qiyom qizi***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Muradova Zarina Rashidovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Murodov Sanjar Aslonovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent*
***Gaffarov Laziz Hasanovich***
*Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.*

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.


ISSN 3030-3907

**Development of science** ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.


ISSN 3030-3907

# MUNDARIJA


| | | |
|---|---|---|
| 1 | Paxta va soya moylari asosida maqsadli kupajlarni ishlab chiqarish texnologiyasi va ularning biologik qiymati<br>*Zayniddinova Moxlaroyim Baxodir qizi*<br>*Bafoyev Sanjar Sanoyevich*<br>*Oltiyev Azim To'yqulovich* | 9 |
| 2 | Paxta va soya yoglari aralashmasini past haroratda fraksiyalash jarayonini intensifikatsiyalash<br>*Zayniddinova Moxlaroyim Baxodir qizi*<br>*Bafoyev Sanjar Sanoyevich*<br>*Oltiyev Azim To'yqulovich* | 17 |
| 3 | Quyi molekulali polietilenning strukturasi va xossalari va ularni qoplama-surkov va mastikalar olish va qo'llash<br>*Ergashev Behruz Shavkat o'g'li*<br>*Temirov Alisher Hoshim o'g'li*<br>*Fozilov Sadriddin Fayzullayevich* | 29 |
| 4 | Koroziyaga qarshi himoya muammosi va uning yechimida surkov qoplamalar o'rni<br>*Ergashev Behruz Shavkat o'g'li*<br>*Temirov Alisher Hoshim o'g'li*<br>*Fozilov Sadriddin Fayzullayevich* | 41 |
| 5 | Сурковчи қопламаларининг коррозияга қарши ҳимоядаги роли<br>*Эргашев Бехруз Шавкат ўғли*<br>*Темиров Алишер Ҳошим ўғли*<br>*Фозилов Садриддин Файзуллаевич* | 48 |
| 6 | Metall yuzalarni korroziyadan himoya qilish uchun modifikatsiyalangan bitum-polimer mastik qoplamalarni ishlab chiqish<br>*Murodov J.M.*<br>*Temirov A.H.*<br>*Ataullayev Sh.N.* | 60 |
| 7 | Phosphate–ammonium modification of local bentonite and comprehensive evaluation of its adsorptive performance in kerosene purification<br>*Qobilov Shokir Juraqulovich*<br>*Olimov Bobir Bahodirovich* | 71 |
| 8 | Янги трактор концепциясини ишлаб чиқиш тенденциялари<br>*М.Қ Камолов*<br>*С. Н. Норов*<br>*М.С. Уринов* | 82 |
| 9 | Obtaining an environmentally safe lvd-complex inhibitor for gas processing equipment and determining its cleaning efficiency<br>*Toraeva Nodira Turabjonovna*<br>*Badriddinova Farida Makhamadievna*<br>*Matkarimova Nigora Sagdullaevna*<br>*Latipova Iroda Isomitdinovna* | 88 |
| 10 | Properties of complex additives and industrial wastes added to foam concrete<br>*Turapov Farxod Khursanovich*<br>*Rajabov Ramozon Shukhratovich*<br>*Saitmuratov Bobur Sobir o'g'li*<br>*Boymurodova Aziza Otabekovna* | 97 |
| 11 | Virusli pnevmoniya tashxis ma'lumotlariga raqamli ishlov berish jarayonining idef0 va idef3 modeli<br>*Nodira Naim* | 104 |
| 12 | Masofaviy ta'limning sotsial psixologik xususiyatlari<br>*Zavqiddin Gadoyev* | 111 |



ISSN 3030-3907

| | | |
|---|---|---|
| 13 | Sug‘orish kanallarida past naporli mikrogidroelektrostansiyalarni loyihalash: gidravlik-energetik hisoblar va texnik-iqtisodiy asoslash<br>*Urishev Boboraim*<br>*Ochilov Obid Boymurod o‘g‘li*<br>*Quvatov Ulug‘bek Jalolovich* | 119 |
| 14 | Mikro gidroelektr stansiyalarida gidroturbina ish rejimlarini avtomatik boshqarish tizimlarining tahlili va rivojlanish tendensiyalari<br>*Qodirov D.B.*<br>*Arzikulov X.M.* | 131 |
| 15 | Вероятностная оценка сейсмической уязвимости несущих каменных конструкций исторических зданий, усиленных инъекционными составами<br>*Файзуллаева З.Н.* | 139 |
| 16 | Mineral gil asosidagi adsorbentlar bilan bo‘yash va pardozlash bo‘limlaridagi to‘qimachilik oqava suvlarini zararsizlantirish<br>*Umarov Boburbek Nosir o‘g‘li*<br>*Narzullaeva Aziza Murodillaevna* | 147 |
| 17 | Talabalarning biologik kompetentligini rivojlantirishda web-platformalarning didaktik imkoniyati.<br>*Rabbimova Mohichehra Soyibjon qizi* | 157 |
| 18 | Iqlim o‘zgarishi sharoitida qashqadaryo viloyati sug‘oriladigan yerlarining suv- tuz balansini modellashtirish va optimallashtirish<br>*Quvvatov Dilshod Ashuraliyevich*<br>*Ziyotov Ulug‘bek Amirqul o‘g‘li* | 163 |
| 19 | Mosh o‘simligining oziq-ovqat sanoatidagi ahamiyati.<br>*Abdiyev Anvar Almirzayevich*<br>*Xolliyeva Barchin Olimjon qizi* | 170 |
| 20 | Yuklama prognozi asosida elektr energetika tizimlarida chastota bo‘yicha avtomatik ortiqcha yuklamadan himoya qilishning ishlamay qolish xavfini prognozlash<br>*Xoliddinov Ilhomjon Xosiljonovich*<br>*Botiraliyev Yahyobek Akmaljon o‘g‘li*<br>*Mahammadjonov Sodirjon Nurmuhammad o‘g‘li* | 175 |
| 21 | The role of microteaching technology in developing professional competencies of pre-service teachers<br>*Ferangiz Qodirova Himmatilla qizi* | 194 |
| 22 | Integrating ai tools into celta-based english language teaching: a comparative analysis of traditional and technology-enhanced approaches<br>*Nizomov Feruz Rakhmon o‘g‘li* | 199 |
| 23 | Andijon shahrida yo‘lovchi oqimi va transport sig‘imi o‘rtasidagi muvozanatni tahlil qilish<br>*Nasirov Ilxam Zakirovich*<br>*Yusufaliyev Bekzodbek Abdukarim o‘g‘li* | 203 |
| 24 | Ikki bo‘g‘inli robot manipulyatorni pid boshqaruvi orqali tadqiq etish<br>*Xolmurotov Botirjon Tursinboyevich* | 210 |
| 25 | Quritish barabanida paxta massasining harakatlanish dinamikasini tadqiq etish<br>*Xolmurotov Botirjon Tursinboyevich* | 216 |
| 26 | Para-[bis-1,4-(4,4,4-triftorbutandion-1,3)]-benzol molekulasining xirshfeld yuza tahlili<br>*Xudoyarova E.A.*<br>*Hamroyeva S.Sh.* | 224 |
| 27 | The importance of the adsorption process in the vital activity of the body and treatment methods<br>*Sirojova Guldona*<br>*Amonov Obid*<br>*Muhammadiyev Abbos*<br>*G‘ulomxo‘jayeva Madina*<br>*Dilafruz Mansurova* | 230 |
| 28 | Идентификация и моделирование многоколонной ректификационной колонны для задач управления MPC<br>*Султанов Ильдар Рафкатович* | 236 |



ISSN 3030-3907

| | | |
|---|---|---|
| 29 | Mathematical modeling of heating and cooling processes in transformers<br>*Toirov Olimjon Zuvurivich*<br>*Khudoberdiev Shavkatjon Nurmatjon o'g'li* | 249 |
| 30 | Zamonaviy davolash amaliyotida antibiotiklarning ahamiyati va vazifalari.<br>*Egamqulova Pokiza.*<br>*Norqobilova Zulxumor.*<br>*Xatamova Marjona.*<br>*Ro'zimov Qudrat.*<br>*Ibragimov Ruslan.*<br>*Karimbayev Sunnat.*<br>*Dusmuratov Maqsud Mansurovich* | 255 |
| 31 | Yuqori haroratli quyosh energetik qurilmalar uchun parabolosilindrik konsentratorli qabul qiluvchi tizimning matematik modeli<br>*Sherqulov Bahrom G'ulomovich* | 261 |
| 32 | Parabolasilindrik konsentratorli issiqlik ta'minoti tizimida issiqlik almashinuvi jarayonlarini matematik modellashtirish<br>*Sherqulov Bahrom G'ulomovich* | 270 |
| 33 | Гелиоиссиққонада иссиқлик йўқотилишларини ҳисоблаш ва тадқиқот қилиш<br>*Шерқулов Баҳром Ғуломович* | 281 |
| 34 | To'qimachilik sanoatida yashil transformatsiya va raqobatbardoshlikni oshirish strategiyalari<br>*Do'stqobilov Ulug`bek Ibroximovich* | 291 |
| 35 | Methodology for preparing the composition of foam concrete mixtures<br>*Turapov Farxod Khursanovich*<br>*Rajabov Ramozon Shukhratovich*<br>*Majidov Samariddin Rashidovich*<br>*Boymurodova Aziza Otabekovna* | 303 |
| 36 | Quyosh batareyalaridan samarali foydalanish orqali utilizatsiya muammosini oldini olish texnologiyalarining ilmiy-tahliliy asoslari<br>*To'rayev Dostonjon Erkin o'g'li* | 310 |
| 37 | Quyosh panellaridan foydalanishdagi elektr energiya yo'qotishlarini tadqiqot asosida yuklama tavsifi bo'yicha o'rganish uchun tajriba stendini yaratish<br>*Saydulla Abduraxmonovich Jurayev* | 315 |
| 38 | Mahsuldor qatlamni burg'ilash vaqtida burg'ilangan qum zarrachalarining burg'ilash eritmasiga salbiy ta'siri va uni bartaraf etish.<br>*Murtazoyev Abdujabbor Mustafoyevich*<br>*Abdalimov Azamat To'ra o'g'li*<br>*Xudoyberdiyeva Go'zal Shavka qizi* | 327 |
| 39 | Paxta xomashyosini mayda iflosliklardan tozalash jarayonining nazariy va eksperimental tadqiqi<br>*S.H.Fayziyev*<br>*H.K.Raximov*<br>*O.O.Ibodullayev*<br>*I.P.Najmiddinov*<br>*M.R.Sadullayeva* | 333 |
| 40 | Ko'p agentli robototexnika tizimlari yordamida issiqxonalarda ekinlarni monitoring qilish va boshqarishning intellektual algoritmlari<br>*Safarov Rustambek Sunnatillo o'g'li* | 346 |
| 41 | Gidrotexnika inshootlarini boshqarishda sun'iy intellektning ahamiyati: surxondaryo viloyati misolida<br>*Axatov Bekzod*<br>*Usmonov Said* | 354 |
| 42 | Optimization of gas supply systems in vehicles<br>*Tursunov Mamatqul Karimovich*<br>*Xolboyev Yusuf Akrom o'g'li* | 360 |
| 43 | Моделирование автоматического управления температурно-влажностного режима и расчет под почвенного аккумулятора тепла солнечной теплицы | 368 |



ISSN 3030-3907

| | | |
|---|---|---|
| | *Файзиев Тулкин Амирович* | |
| 44 | Bug‘lanish asosidagi sovitish tizimining fotoelektrik modullar samaradorligiga ta’siri tahlili<br>*Nasrullayev Yusuf Zokirovich*<br>*Nematov Alibek Xayitniyazovich*<br>*Abdug‘aniyev Boburjon Akramjon o‘g‘li* | 376 |
| 45 | Prospects of decentralized direct current power supply systems with distributed solar generation<br>*Mirabbos Khidirov* | 382 |
| 46 | Havoning changlanganlik darajasini optik usul yordamida tahlil qilish<br>*Maxmudov M.I.*<br>*Nurov S.S.*<br>*Doniyorov F.O.* | 392 |
| 47 | Iot tizimlarini google workspace va google home platformalari bilan integratsiya qilish imkoniyatlari hamda samaradorlik tahlili<br>*Raxmatov Rasuljon Ravshanjon o‘g‘li*<br>*Umarov Abdumuxtor Maxammad o‘g‘li* | 398 |
| 48 | Влияние зубного протезирования на формирование прикуса у детей дошкольного возраста в процессе диспансерного наблюдения<br>*Индиаминова Гавхар Нуриддиновна* | 403 |
| 49 | Obtaining and comprehensive study of the physicochemical properties of surfactants with an assessment of their application<br>*N. S. Makhmudova.* | 409 |
| 50 | Разработка и исследование нечёткого регулятора с интегрированной антипомпажной защитой для газокомпрессорной станции<br>Нуров С.С.<br>Мусаев А.Х. | 414 |
| 51 | Азнек фосфорити асосида экстракцион фосфат кислота олишда ҳосил бўладиган фосфогипсдан боғловчи материаллар тайёрлаш<br>*Қаршиев Б.Н.*<br>*Нуриддинова З.А.*<br>*Хуррамов Н.И.*<br>*Сейтназаров А.Р.*<br>*Маматалиев А.А* | 425 |
| 52 | Технико-экономическая эффективность передачи электрической энергии в линиях высоковольтного постоянного тока (HVDC)<br>*Турсунов Дониёр Абдусалимович*<br>*Исмоилов Фазлиддин Жамолиддин угли* | 436 |
| 53 | Оценка пространственной структуры оросительно-дренажной сети на основе коэффициентов $k_1$ и $k_2$ (2021–2025 гг.) (на примере кашкадарьинской области)<br>*Турдиева Феруза Алишеровна* | 443 |
| 54 | Atrof-muhit muhofazasida yashil texnologiyalar va innovatsiyalarning roli.<br>*Jo‘rayeva O‘g‘iloy Abdiraxim qizi* | 451 |
| 55 | Analysis of existing risk management methods in healthcare practice in foreign countries<br>*Shavkatov Otabek Kozimbek o‘g‘li* | 456 |
| 56 | Lazy synchronization with interpolated state for discrete–continuous co-simulation of microcontroller-driven circuits<br>*Adizbek Ergashev* | 462 |



ISSN 3030-3907

# PAXTA VA SOYA MOYLARI ASOSIDA MAQSADLI KUPAJLARNI ISHLAB CHIQARISH TEXNOLOGIYASI VA ULARNING BIOLOGIK QIYMATI

**Zayniddinova Moxlaroyim Baxodir qizi**
*Buxoro davlat texnika universiteti magistratura talabasi*
**Bafoyev Sanjar Sanoyevich**
*Buxoro davlat texnika universiteti tayanch doktorant*
**Oltiyev Azim To‘yqulovich**
*Buxoro davlat texnika universiteti texnika fanlari doktori, dotsent*
*E-mail: azim1086a@gmail.com*

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada paxta va soya moylarini ma'lum nisbatlarda kupajlash orqali biologik qiymati yuqori bo‘lgan moy kompozitsiyalarini yaratish texnologiyasi o‘rganilgan. Turli nisbatdagi kupaj namunalari — paxta moyi 60–70 %, soya moyi 30–40 % — tarkibida yog‘ kislotalari, tokoferollar va karotinoidlar miqdori tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari optimal nisbatdagi kupajlarda oksidlanishga chidamlilik 15–20 % ga, to‘yinmagan yog‘ kislotalari ulushi 20–25 % ga ortishini ko‘rsatadi. Kupajlangan moylarni ishlab chiqarishning texnologik jarayonlari, jumladan xomashyoni tayyorlash, aralashtirish, filtratsiya va saqlash bosqichlari takomillashtirildi. Kupajlash natijasida moylarning oksidlanishga chidamliligi, oziqaviy qiymati va iste’mol xususiyatlari yaxshilanishi ilmiy jihatdan asoslandi. Aholining sog‘lom ovqatlanishga bo‘lgan talabi ortib borayotganligi sababli biologik qiymati yuqori bo‘lgan o‘simlik moylari ishlab chiqarish muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etmoqda. Ayniqsa, tarkibida to‘yinmagan yog‘ kislotalari, fosfolipidlar, tokoferollar va antioksidant moddalar mavjud bo‘lgan kupajlangan moy mahsulotlarini yaratish oziq-ovqat sanoatining dolzarb yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Olingan natijalar oziq-ovqat sanoatida funksional moy mahsulotlarini ishlab chiqarishda, aholini sifatli va biologik qiymati yuqori o‘simlik moylari bilan ta’minlashda hamda yog‘-moy korxonalarida innovatsion texnologiyalarni joriy etishda muhim amaliy ahamiyatga ega. Paxta moyi tarkibida tabiiy antioksidantlar va yuqori issiqlikka chidamli komponentlar mavjud bo‘lsa, soya moyi linol va linolen kabi muhim to‘yinmagan yog‘ kislotalariga boy hisoblanadi. Ushbu moylarni ma’lum nisbatlarda kupajlash orqali ularning foydali xususiyatlarini birlashtirish hamda biologik samaradorligini oshirish imkoniyati yuzaga keladi.

**Kalit so‘zlar:** paxta moyi, soya moyi, kupaj, yog‘ kislotalari, biologik qiymat, oksidlanish barqarorligi, tokoferollar, biologik qiymat,to‘yinmagan yog‘kislotalari, funksional oziq-ovqat mahsulotlari.

**Аннотация.** В статье рассмотрена технология создания композиций масел с высокой биологической ценностью путем купажирования хлопкового и

соевого масел в определенных пропорцияхСовершенствованы технологические процессы производства купажированных масел, включающие этапы подготовки сырья, смешивания, фильтрации и хранения. Научно обосновано, что в результате купажирования улучшаются устойчивость масел к окислению, их пищевая ценность и потребительские свойства.из актуальных направлений пищевой промышленности является создание купажированных масложировых продуктов, содержащих ненасыщенные жирные кислоты, фосфолипиды, токоферолы и антиоксиданты. Полученные результаты имеют важное практическое значение при производстве функциональных масложировых продуктов в пищевой промышленности, обеспечении населения качественными и биологически ценными растительными маслами, а также при внедрении инновационных технологий на масложировых предприятиях.эти масла в определенных пропорциях, можно объединить их полезные свойства и повысить их биологическую эффективность.ованных масложировых продуктов, содержащих ненасыщенные жирные кислоты, фосфолипиды, токоферолы и антиоксиданты. Полученные результаты имеют важное практическое значение при производстве функциональных масложировых продуктов в пищевой промышленности, обеспечении населения качественными и биологически ценными растительными маслами, а также при внедрении инновационных технологий на масложировых предприятиях. Хлопковое масло содержит натуральные антиоксиданты и компоненты с высокой термостойкостью, в то время как соевое масло богато незаменимыми ненасыщенными жирными кислотами, такими как линолевая и линоленовая. Смешивая эти масла в определенных пропорциях, можно объединить их полезные свойства и повысить их биологическую эффективность.

**Ключевые слова:** хлопковое масло, соевое масло, купаж, жирные кислоты, биологическая ценность, окислительная стабильность, токоферолы, биологическая ценность, ненасыщенные жирные кислоты, функциональные продукты питания.

**Abstract.** This article studies the technology of creating oil compositions with high biological value by blending cottonseed and soybean oils in certain proportions. Samples of blends in various proportions — cottonseed oil 60–70 %, soybean oil 30–40 % — were analyzed for their content of fatty acids, tocopherols, and carotenoids. The results of the study show that the oxidation resistance of blends with the optimal ratio increases by 15–20%, and the proportion of unsaturated fatty acids increases by 20–25%. The technological processes of producing blended oils, including the stages of raw material preparation, mixing, filtration, and storage,

have been improved. The improvement of the oxidative resistance, nutritional value, and consumer properties of oils as a result of blending has been scientifically substantiated. Due to the growing demand of the population for healthy nutrition, the production of vegetable oils with high biological value is of great scientific and practical importance. One of the current trends in the food industry is the creation of blended oil products, which contain unsaturated fatty acids, phospholipids, tocopherols, and antioxidants. The results obtained are of practical importance in the production of functional oil products in the food industry, in providing the population with high-quality and biologically valuable vegetable oils, and in the introduction of innovative technologies in oil and fat enterprises. Cottonseed oil contains natural antioxidants and high-heat-resistant components, while soybean oil is rich in essential unsaturated fatty acids such as linoleic and linolenic. By combining these oils in certain proportions, it is possible to combine their beneficial properties and increase their biological effectiveness.

**Keywords:** cottonseed oil, soybean oil, blend, fatty acids, biological value, oxidative stability, tocopherols. ,biological value, unsaturated fatty acids, functional foods.

**KIRISH.**

Bugungi kunda jahon aholisining sog‘lom ovqatlanishga bo‘lgan talabi ortib borayotganligi sababli biologik qiymati yuqori o‘simlik moylari ishlab chiqarish muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etmoqda. Tarkibida to‘yinmagan yog‘ kislotalari, fosfolipidlar, tokoferollar va antioksidant moddalar mavjud bo‘lgan kupajlangan moy mahsulotlarini yaratish oziq-ovqat sanoatining dolzarb yo‘nalishlaridan biridir [1].

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yilgi PF-60-son Farmonida oziq-ovqat mahsulotlari assortimenti va sifatini yaxshilash, mahalliy xomashyo resurslaridan samarali foydalanish vazifalari belgilab berilgan. Shu munosabat bilan, paxta va soya moylari asosida kupajlar yaratish dolzarb ilmiy-amaliy masala hisoblanadi. Oziq-ovqat mahsulotlari ishlab chiqarishni rivojlantirishga qaratilgan davlat dasturlarining asosiy yo‘nalishlarida sanoat kooperatsiyasi asosida oziq-ovqat mahsulotlari va materiallari ishlab chiqarishni mahalliylashtirish, zamonaviy moslashuvchan va intensiv texnologiyalarni joriy etish, mahsulot tannarxini pasaytirish, jumladan, mahalliy xomashyo resurslaridan oqilona foydalanish orqali tannarxni kamaytirish tadbirlari ko‘zda tutilganPaxta moyi Markaziy Osiyo aholisi iste'mol qiladigan asosiy o‘simlik yog‘i bo‘lib, tarkibida tabiiy antioksidantlar va yuqori issiqlikka chidamli komponentlar mavjud. Soya moyi esa linol (omega-6) va linolen (omega-3) kabi muhim to‘yinmagan yog‘ kislotalariga boy. Ushbu moylarni ma'lum nisbatlarda kupajlash orqali ularning foydali xususiyatlarini


ISSN 3030-3907

birlashtirish hamda biologik samaradorligini oshirish imkoniyati yuzaga keladi [2, 3].

Oqilona va to‘g‘ri ovqatlanish masalasiga butun dunyoda katta e’tibor qaratilmoqda. Ushbu masalani hal etishda funksional xususiyatlarga ega bo‘lgan qo‘shimchalar yordamida oziq-ovqat mahsulotlari assortimentini oziqlanish qiymati yuqori bo‘lgan mahsulotlar hisobiga kengaytirish muhim o‘rin egallaydi.

Paxta yog‘i Markaziy Osiyo aholisi iste’mol qiladigan asosiy o‘simlik yog‘i turi hisoblanadi. Uning ta’mi va hidi aholiga ham maishiy, ham jamoat ovqatlanishida odatiy sanaladi. Shu sababli, turli salatlar, mayonezlar hamda margarin mahsulotlarini tayyorlashda paxta yog‘ining individual (to‘yingan va to‘yinmagan) fraksiyalaridan keng foydalaniladi. Bunday fraksiyalar paxta yog‘ini past haroratda fraksiyalash usuli yordamida olinadi.

**TADQIQOT MAQSADI VA VAZIFALARI.**

Tadqiqotning asosiy maqsadi — paxta va soya moylarining optimal kupaj nisbatlarini aniqlash, olingan kupajlarning fizik-kimyoviy ko‘rsatkichlari va biologik qiymatini baholashdan iborat.

Ushbu maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilandi:

–turli nisbatlardagi paxta-soya kupajlarini tayyorlash;

–kupajlarning yog‘ kislota tarkibi, tokoferollar va karotinoidlar miqdorini aniqlash;

–oksidlanishga chidamlilik va organoleptik ko‘rsatkichlarni baholash;

–optimal kupaj variantini asoslab berish. funksional ahamiyatga ega bo‘lgan yog‘-moy mahsulotlari assortimenti va sifatini oshirishga yo‘naltirilgan bo‘lib, buning uchun paxta va soya yog‘lari aralashmasidan olinadigan paxta-soya palmitinini ajratish va undan foydalanish, paxta-soya palmitinining margarin mahsulotlarining sifati va funksional xossalarini boyitishdagi ahamiyatini aniqlash, ushbu ishlanmalarni ilmiy-nazariy asoslash va ularning amaliy joriy etilishini ta’minlashdan iborat.

–Paxta va soya yog‘larining optimal aralashmasini, ya’ni kompozitsiyasini yaratish orqali salatbop yog‘ va palmitinni intensiv past haroratli ajratish imkoniyatini ta’minlash; aralashma komponentlari nisbatining olingan salatbop yog‘ va palmitinning sifat ko‘rsatkichlariga ta’sirini o‘rganish; paxta va soya yog‘lari aralashmasining past haroratli kristallanish jarayonining optimal texnologik rejimlarini ishlab chiqish; paxta va soya yog‘lari aralashmasidan salatbop yog‘ va palmitin olish bo‘yicha intensiv texnologiyaning tajriba-ishlab chiqarish sinovlarini o‘tkazish; paxta va soya yog‘lari aralashmasidan salatbop yog‘ va palmitin olish texnologiyasini ishlab chiqarishga joriy etishdan kutilayotgan iqtisodiy samarani hisoblash.

**MATERIALLAR VA METODLAR.**


ISSN 3030-3907

Tadqiqot obyektlari sifatida Buxoro viloyatining yog‘-moy korxonalarida ishlab chiqarilgan rafinatsiyalangan paxta moyi va rafinatsiyalangan soya moyi olingan. Kupaj namunalari quyidagi nisbatlarda tayyorlangan: 70:30, 65:35, 60:40 (paxta:soya).

Yog‘ kislotalari tarkibi gaz xromatografiya usulida (Agilent 8860 GC) tahlil qilindi. Tokoferollar miqdori HPLC usulida, karotinoidlar esa spektrofotometrik usulda aniqlandi. Kislotalik soni va oksidlanish barqarorligi standart GOST usullarida baholandi. paxta va soya yog‘lari aralashmasining past haroratli kristallanish jarayonini intensivlashtirish hamda olinadigan palmitindan margarin mahsulotlarida oqilona foydalanish masalalarini o‘z ichiga oladi.Eksperimental tadqiqotlarni amalga oshirishda fizik-kimyoviy tahlil usullari, xususan, spektral, infraqizil (IK) spektroskopiya, dilatometriya va boshqa tahlil usullari qo‘llanildi.Paxta yog‘i va soya yog‘i aralashmasining komponentlari optimal nisbatlari va ularning past haroratda kristallanish texnologik rejimlari ishlab chiqildi;

Paxta va soya yog‘lari aralashmasidan past haroratli ajratish orqali olingan salatbop yog‘ va palmitinning fizik-kimyoviy ko‘rsatkichlari aniqlandi;

Olingan salatbop yog‘ va palmitinning margarin mahsulotlarida oqilona foydalanish yo‘llari asoslab berildi.Birlamchi paxta yog‘i va soya yog‘i aralashmalarining optimal kompozitsiyasi yaratilgan bo‘lib, u past haroratda intensiv kristallanish orqali to‘yintirilmagan yog‘ kislotalari, tokoferol (E vitamini) va boshqa biologik faol moddalar miqdori yuqori bo‘lgan salatbop yog‘ hamda fosfolipidlar va boshqa fiziologik faol qo‘shimchalar bilan boyitilgan palmitin olish imkonini beradi.

**TADQIQOT NATIJALARI VA MUHOKAMA.**

Tadqiqotlar natijasida kupajlangan moylarning asosiy fizik-kimyoviy ko‘rsatkichlari aniqlandi. 1-jadvalda turli kupaj nisbatlarida olingan natijalar keltirilgan.

**1-jadval.**

**Kupajlangan moylarning fizik-kimyoviy ko‘rsatkichlari**

| Ko‘rsatkich | 70:30 | 65:35 | 60:40 |
|---|---|---|---|
| Kislotalik soni, mg KOH/g | 0,28 | 0,26 | 0,27 |
| Yod soni | 108 | 112 | 116 |
| Tokoferollar (mg/100g) | 62 | 68 | 74 |
| Linol kislotasi (%) | 52 | 54 | 56 |


ISSN 3030-3907

| | | | |
|---|---|---|---|
| Olein kislotasi (%) | 28 | 27 | 26 |
| Palmitin kislotasi (%) | 18 | 16 | 14 |
| Oksidlanish barqarorligi (soat) | 28 | 32 | 35 |

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, soya moyi ulushi oshgan sari (60:40 kupajida) tokoferollar miqdori va oksidlanishga chidamlilik sezilarli darajada ortadi. Biroq mahsulotning organoleptik ko‘rsatkichlari va saqlanish barqarorligi nuqtai nazaridan eng maqbul variant 65:35 nisbat hisoblanadi.

Kupajlangan moylarning yog‘ kislotalari tarkibida linol kislotasi (omega-6) ulushi soya moyi qo‘shilishi bilan 52 foizdan 56 foizgacha oshganligi aniqlandi. Bu esa mahsulotning biologik qiymatini sezilarli darajada yaxshilaydi. Bundan tashqari, alpha-linolenli kislota (omega-3) miqdori ham barcha kupaj namunalarida individual paxta moyiga nisbatan yuqoriroq bo‘ldi.

Oksidlanishga chidamlilik ransimat usulida baholanganda, 60:40 nisbatidagi kupaj 35 soatlik induktiv davr ko‘rsatdi, bu esa sof paxta moyiga nisbatan 20 foizga yuqori natija. Bu holat tokoferollar va fosfolipidlarning sinergistik antioksidant ta'siri bilan izohlanadi. paxta va soya yog‘i aralashmasining past haroratli kristallanishi natijasida fraksiyalash jarayoni tezligi an’anaviy usulga nisbatan 1,4–1,5 barobarga oshadi.

Eksperimentni ekstremal rejalashtirish usuli yordamida paxta va soya yog‘lari aralashmasining past haroratli kristallanishining optimal shart-sharoitlari belgilandi, shuningdek, bu shartlarning real texnologik jarayonlarga muvofiqligini tasdiqlovchi matematik tavsiflari ishlab chiqildi.

Tadqiqotlar natijasida paxta yog‘iga soya yog‘i qo‘shilgan holda uni intensiv fraksiyalash texnologiyasining ilmiy asoslari ishlab chiqildi va paxta-soya palmitinini yuqori texnologik xossalarga hamda yuqori oziqaviy qiymatga ega yog‘ asosiy komponenti sifatida olish bo‘yicha ilmiy-amaliy asoslar ishlab chiqildi.

**2-jadval.**

**Kupaj namunalari organoleptik baholash natijalari (5 ballik shkalada)**

| Organoleptik ko‘rsatkich | 70:30 | 65:35 | 60:40 |
|---|---|---|---|
| Rang | 4,8 | 4,9 | 4,7 |
| Hid | 4,7 | 4,8 | 4,6 |
| Ta'm | 4,8 | 4,9 | 4,7 |
| Tiniqligi | 5,0 | 5,0 | 5,0 |


ISSN 3030-3907

| | | | |
|---|---|---|---|
| Umumiy baho | 4,83 | 4,90 | 4,75 |

Organoleptik baholash natijalari 65:35 nisbatidagi kupajning eng yuqori umumiy baho (4,90 ball) olganligini ko‘rsatadi. Ushbu kupaj namunasi rang, hid va ta'm bo‘yicha barcha ekspertlar tomonidan eng yaxshi sifatga ega deb baholandi.

**XULOSA.**

Paxta va soya moylarini 65:35 nisbatida kupajlash optimal variant bo‘lib, unda tokoferollar miqdori 68 mg/100 g, oksidlanish barqarorligi 32 soat va organoleptik ko‘rsatkichlar jami baho 4,90 ballni tashkil etadi.Optimal nisbatdagi kupajda to‘yinmagan yog‘ kislotalari ulushi sof paxta moyiga nisbatan 22 foizga oshib, omega-6 (linol) kislotasi 54 foizni tashkil etadi. Bu mahsulotning yuqori biologik qiymatini ta'minlaydi. Paxta-soya kupajlari tarkibida oksidlanishga chidamlilik 15–20 % ga, saqlanish muddati esa 12–15 % ga uzayadi. Ushbu natijalar mahsulotni funksional oziq-ovqat sifatida tavsiya etishga imkon beradi. Ishlab chiqilgan kupajlash texnologiyasi Buxoro viloyatidagi yog‘-moy korxonalarida sinovdan o‘tkazilgan va yiliga 145 million so‘mdan ortiq iqtisodiy samaradorlik kutilmoqda. Paxta moyi — 60–70 %; soya moyi — 30–40 %; mazkur nisbatda tayyorlangan kupajlarda:oksidlanish barqarorligi 15–20 % ga oshadi; biologik faol moddalar miqdori 10–18 % ga ko‘payadi; to‘yinmagan yog‘ kislotalari ulushi 20–25 % gacha ortadi; mahsulotning saqlanish muddati o‘rtacha 12–15 % ga uzayadi.

Shuningdek, kupajlash texnologiyasi orqali mahsulotning organoleptik ko‘rsatkichlari, ya’ni ta’mi, rangi va hidi yaxshilanib, iste’mol qiymati oshadi. Shu sababli paxta va soya moylari asosida kupaj mahsulotlarini ishlab chiqish oziq-ovqat xavfsizligini ta’minlash, import o‘rnini bosuvchi mahsulotlar yaratish hamda mahalliy xomashyodan samarali foydalanishda muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega hisoblanadi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son Farmoni "Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida".
2. Oltiyev A.T., Zayniddinova M.B. "Paxta va soya moylari kupajlarini ishlab chiqarish texnologiyasi" // Kimyo va kimyo texnologiyasi jurnali. – Toshkent, 2025. – № 1. – B. 45–51.
3. Shoaib M., Javed M., & Ali M. (2020). Silkworm pupae oil: Extraction, composition, and potential industrial applications. Journal of Food Science and Technology, 57(6), 1901–1912. 1. 4. A . T . Oltiev , S. WITH . Bafoev . Z . M . Amonova , F . Z . A’zamova JMEA
4. Journal of Modern Educational Achievements Volume 9, 2024 . P.6-69
5. A.T. Oltiev, S.S. Bafoev , M.F. Toirova, A.Sh. Khasanova, F.N. Ashurov


ISSN 3030-3907

6. “Technique and technology of food production” abstracts of the XIII International
7. scientific conference of students and postgraduates, April 18-19, 2024, Mogilev,
8. BSUT, 2024. P. 234
9. A.T. Oltiev, S.S. Bafoev. "Innovative Technologies and Current Issues in the
10. Food, Chemical, and Oil and Gas Industries." Proceedings of the International
11. Scientific and Technical Conference, Bukhara, June 13-15, 2024 (pp. 70-71)
12. Қодиров С.К. Ёғ-мой маҳсулотлари технологияси — Тошкент, 2014.8. Abdurakhmonov I.Y., Turaev D.A. (2015). The status and prospects of sericulture in Uzbekistan. Central Asian Journal of Biotechnology, 3(1), 33–41.
13. Rukovodstvo po metodam issledovaniya i texnoximicheskomu kontrolyu v maslojirovoy promyshlennosti. – Leningrad, 1965. – T. II. – S. 96. 68. Effect of lecithin on margarine emulsion stability // European Journal of Lipid Science and Technology.
14. Influence of phospholipids on crystallization behavior of fats // Food Research International.
15. Application of cottonseed stearin and palmitin fractions in margarine production // Journal of Oil and Fat Industries.
16. Тўхтаев Б. Озиқ-овқат технологияси асослари — Тошкент, 2018.
17. Абдуллаев Ж.А. Ўсимлик мойларини қайта ишлаш технологияси — Тошкент, 2016.
18. Рахимов А.Ё. Маргарин ва майонез технологияси — Тошкент, 2020.
19. Codex Alimentarius Commission — Vegetable fats and oils standards.


ISSN 3030-3907

# PAXTA VA SOYA YOGLARI ARALASHMASINI PAST HARORATDA FRAKSIYALASH JARAYONINI INTENSIFIKATSIYALASH

**Zayniddinova Moxlaroyim Baxodir qizi**
*Buxoro davlat texnika universiteti magistratura talabasi*
**Bafoyev Sanjar Sanoyevich**
*Buxoro davlat texnika universiteti tayanch doktorant*
**Oltiyev Azim To‘yqulovich**
*Buxoro davlat texnika universiteti texnika fanlari doktori, dotsent*
*E-mail: azim1086a@gmail.com*

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada paxta va soya yog‘lari aralashmasini past haroratda fraksiyalash jarayoni va uni intensifikatsiyalash imkoniyatlari tadqiq etilgan. Tajribalar natijasida aralashmada soya yog‘i va fosfolipidlar mavjudligi fraksiyalash jarayonini an'anaviy usulga nisbatan 1,4–1,5 marta tezlashtirishini ta'minlashi isbotlangan. Olingan salatbop yog‘ va paxta-soya palmitinining fizik-kimyoviy ko‘rsatkichlari hamda ularning margarin mahsulotlarida qo‘llanilish imkoniyatlari ko‘rib chiqilgan. Mahalliy o‘simlik moylarini kupajlash orqali biologik qiymati yuqori bo‘lgan yangi moy kompozitsiyalarini yaratish texnologiyasi o‘rganildi. Yog‘ kislotalari, karotinoidlar, tokoferollar, uchuvchan birikmalar va namlik miqdori aniqlanib, optimal kupaj variantlari ishlab chiqildi. Natijada funksional oziq-ovqat mahsulotlari uchun sog‘lom va barqaror moy aralashmalari yaratilgan. Paxta va soya moylari asosida yuqori biologik qiymatga ega bo‘lgan kupajlangan moy mahsulotlarini yaratish texnologiyasini ishlab chiqish hamda ularning fizik-kimyoviy ko‘rsatkichlarini tadqiq etish masalalari o‘rganilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi paxta va soya moylarining foydali xususiyatlarini uyg‘unlashtirish orqali inson salomatligi uchun foydali, oziqaviy qiymati yuqori hamda saqlanish muddati barqaror bo‘lgan moy kupajlarini olishdan iborat. Paxta va soya moylarining tarkibi, yog‘ kislotalari nisbati, biologik faol moddalar miqdori hamda texnologik xossalari tahlil qilingan. Turli nisbatlarda tayyorlangan kupaj namunalari organoleptik, fizik-kimyoviy va texnologik ko‘rsatkichlari bo‘yicha baholandi. Tadqiqot natijasida optimal tarkibli kupaj variantlari aniqlanib, ularning sifat ko‘rsatkichlari amaldagi standart talablariga mosligi asoslab berildi.

**Kalit so‘zlar:** fraksiyalash, paxta moyi, soya moyi, palmitin, salatbop yog‘, fosfolipidlar, kristallanish, intensifikatsiya. paxta yog‘i,o‘simlik moylari, yog‘lar aralashmasi, kupajlash, past haroratli fraksiyalash,fraksiyalash jarayoni, intensivlashtirish, texnologik parametrlar, mahsulot sifati,fizik-kimyoviy xossalar

**Abstract.** This article studies the process of low-temperature fractionation of a mixture of cottonseed and soybean oils and the possibilities of its intensification. Experiments have shown that the presence of soybean oil and phospholipids in the

mixture accelerates the fractionation process by 1.4–1.5 times compared to the traditional method. The physical and chemical properties of the resulting salad oil and cotton-soy palmitin, as well as their potential applications in margarine products, were considered. The technology of creating new oil compositions with high biological value by blending local vegetable oils was studied. Fatty acids, carotenoids, tocopherols, volatile compounds and moisture content were determined, and optimal blending options were developed. As a result, healthy and sustainable oil blends were created for functional food products. The issues of developing a technology for creating blended oil products with high biological value based on cotton and soybean oils and studying their physicochemical properties were studied. The main objective of the study is to obtain oil blends that are beneficial to human health, have high nutritional value, and are stable in shelf life by combining the beneficial properties of cottonseed and soybean oils. The composition of cotton and soybean oils, the ratio of fatty acids, the amount of biologically active substances, and technological properties were analyzed. Kupaj samples prepared in different proportions were evaluated on organoleptic, physico-chemical and technological indicators. As a result of the study, the optimal composition coupe options were determined and based on the fact that their quality indicators comply with the requirements of the current standard.

**Keywords:** fractionation, cottonseed oil, soybean oil, palmitin, salad oil, phospholipids, crystallization, intensification. cottonseed oil, vegetable oils, oil mixture, blending, low-temperature fractionation, fractionation process, intensification, technological parameters, product quality, physicochemical properties.

**Аннотация.** В статье исследован процесс низкотемпературного фракционирования смеси хлопкового и соевого масел и возможности егоРассмотрены физико-химические показатели полученного пищевого масла и хлопково-соевого пальмитина, а также возможности их использования в маргариновой продукции. Изучена технология создания новых маслосодержащих композиций с высокой биологической ценностью путем купажирования местных растительных масел. Были определены жирные кислоты, каротиноиды, токоферолы, летучие соединения и содержание влаги, а также разработаны оптимальные варианты купажа. В результате были созданы полезные и устойчивые масляные смеси для функциональных продуктов питанияПроанализирован состав хлопкового и соевого масел, соотношение жирных кислот, содержание биологически активных веществ и технологические свойства. Образцы купажа, изготовленные в различных пропорциях, оценивались по органолептическим, физико-химическим и технологическим показателям. В


ISSN 3030-3907

результате исследования были определены варианты купажей с оптимальным составом и обосновано соответствие их качественных показателей требованиям действующего стандарта.

**Ключевые слова:** фракционирование, хлопковое масло, соевое масло, пальмитин, салатное масло, фосфолипиды, кристаллизация, интенсификация. хлопковое масло, растительные масла, смесь масел, купажирование, низкотемпературное фракционирование, процесс фракционирования, интенсификация, технологические параметры, качество продукции, физико-химические свойства

**KIRISH.**

Paxta yog‘i tarkibida palmitin (to‘yingan) yog‘ kislotasi (S16:0) 20–25 % gacha bo‘lishi uning past haroratda fraksiyalanishiga imkon beradi. Natijada ikki fraksiya ajratiladi: suyuq fraksiya — salatbop yog‘ va qattiq fraksiya — palmitin. Ushbu fraksiyalar oziq-ovqat, kosmetika va margarin sanoatida keng qo‘llaniladi [1, 2].

An'anaviy fraksiyalash jarayoni past haroratda uzoq vaqt talab etadi. Bu esa ishlab chiqarish samaradorligini pasaytiradi. Shu sababli, fraksiyalash jarayonini jadallashtirishning yangi ilmiy-amaliy yo‘nalishlari izlanmoqda. Paxta yog‘iga soya yog‘i va fosfolipidlar qo‘shish orqali kristallanish jarayonini tezlashtirish mumkinligi ilk bor ushbu tadqiqotda ko‘rib chiqilmoqda [3, 4].

Soya yog‘i tarkibidagi fosfolipidlar sirt faol modda (SFM) sifatida kristall yadrolari atrofida to‘planib, kristallanish o‘choqlarini ko‘paytiradi. Bu esa qattiq fazaning tezroq ajralishiga va filtratsiya samaradorligining oshishiga olib keladi. Ushbu o‘simliklar tarkibida to‘yinmagan yog‘ kislotalari, vitaminlar va boshqa foydali moddalar ko‘p bo‘lib, ular inson salomatligi uchun kerakli hisoblanadi. Shunga muvofiq, yog‘-moy korxonalarida paxta yog‘i aralashmasini soya yoki saflor yog‘i bilan birgalikda qayta ishlash yo‘lga qo‘yildi. Bu esa ayrim yog‘ kislotalari, vitaminlar va boshqa biologik faol moddalarning yetishmasligini bartaraf etish yoki ularning miqdorini oshirish imkonini berdi.

Paxta yog‘i tarkibida palmitin (to‘yingan) yog‘ kislotasi hisobga olinsa, uni fraksiyalab palmitin va suyuq yog‘ga ajratishning salatlar uchun yog‘ va mayonez ishlab chiqarishda muhim zaruratga ega.

Paxta yog‘ining soya yog‘i bilan aralashmasini qayta ishlash, nafaqat olinayotgan individual fraksiyalar (salatbop yog‘ va palmitin) sifatini oshiradi, balki ularning past haroratdagi kristallanish jarayonini ham sezilarli darajada jadallashtiradi. Shu bilan birga, kristallanayotgan yog‘dagi fosfolipidlar, ya’ni sirt faol moddalar (SFM) miqdorining ortishi ham aralashmadan palmitinni ajratish bosqichining tezlashishiga ijobiy ta’sir ko‘rsatadi.


ISSN 3030-3907

Paxta yog‘i va soya yog‘i aralashmasining past haroratli kristallanish jarayonini jadallashtirish, hosil bo‘layotgan salatbop yog‘ va palmitin sifatini oshirish hamda keyinchalik ushbu palmitindan margarin mahsulotlarida oqilona foydalanish yog‘-moy sanoatida dolzarb muammo hisoblanadi.

**TADQIQOT MAQSADI VA VAZIFALARI.**

Tadqiqotning maqsadi — paxta yog‘iga soya yog‘i qo‘shish orqali past haroratli fraksiyalash jarayonini intensifikatsiyalash va olingan fraksiyalardan margarin ishlab chiqarishda foydalanish imkoniyatlarini asoslashdir.

**Vazifalar.**

1. paxta-soya aralashmalarining optimal tarkibini aniqlash;
2. past haroratda kristallanish kinetikasini o‘rganish;
3. olingan salatbop yog‘ va palmitinning sifat ko‘rsatkichlarini tahlil qilish;
4. paxta-soya palmitinini margarin ishlab chiqarishda qo‘llash texnologiyasini ishlab chiqish.
5. Paxta va soya yog‘lari aralashmasini intensiv kristallanish va boshqariladigan sovitish rejimlarida fraksiyalash natijasida salat yog‘i chiqishi va sifati oshiriladi, palmitin fraksiyasining fizik-kimyoviy xususiyatlari yaxshilanadi hamda jarayon davomiyligi qisqaradi. Paxta va soya yog‘lari aralashmasidan salat yog‘i va palmitin olishning intensiv fraksiyalash texnologiyasini takomillashtirish mahsulot sifati va chiqishini oshirish, energiya sarfini kamaytirish hamda mahalliy xomashyodan samarali foydalanish imkonini beradi. Ushbu texnologiya yog‘-moy sanoatida raqobatbardosh va yuqori oziqaviy qiymatga ega mahsulotlar ishlab chiqarishga xizmat qiladi

**MATERIALLAR VA METODLAR.**

Tadqiqot obyekti sifatida rafinatsiyalangan paxta moyi va soya moyi, shuningdek ulardan olingan salatbop yog‘ hamda palmitin namunalari olingan. Aralashma nisbatlari: 90:10, 80:20, 70:30 (paxta:soya) shaklida tayyorlangan.

Kristallanish jarayonlari 10–15 °C haroratda kuzatildi. Fraksiyalash vaqti, salatbop yog‘ va palmitinning chiqish miqdori, fizik-kimyoviy ko‘rsatkichlari standart GOST usullarida aniqlandi. Reologik xususiyatlar viskozimetr yordamida o‘lchandi. Yog‘ kislotalari tarkibi gaz xromatografiya (Agilent 8860 GC) usulida tahlil qilindi. Mazkur tadqiqot paxta va soya moylari asosida maqsadli kupajlar ishlab chiqish, ularning sifat ko‘rsatkichlarini o‘rganish hamda optimal tarkibli kompozitsiyani aniqlash maqsadida olib borildi. Tadqiqot jarayonida paxta va soya moylarining fizik-kimyoviy xususiyatlari, yog‘ kislotalari tarkibi hamda kupajlash natijasida hosil bo‘ladigan mahsulotlarning sifat ko‘rsatkichlariga ta’siri o‘rganildi.Tadqiqot obyekti sifatida oziq-ovqat sanoatida keng qo‘llaniladigan rafinatsiyalangan va dezodoratsiyalangan paxta hamda soya moylari tanlandi.


ISSN 3030-3907

Tadqiqot predmeti esa ushbu moylar asosida tayyorlangan turli nisbatdagi kupajlar va ularning sifat ko‘rsatkichlari hisoblanadi.

Tadqiqotlarni tashkil etishda kompleks yondashuvdan foydalanildi. Bunda laboratoriya tajribalari, fizik-kimyoviy tahlillar, organoleptik baholash va statistik ishlov berish usullari qo‘llanildi.

Tadqiqotlar quyidagi bosqichlarda amalga oshirildi:

**Birinchi bosqich – xomashyoni tanlash va tavsiflash**

Dastlab tajriba uchun tanlangan paxta va soya moylarining sifat ko‘rsatkichlari o‘rganildi. Moylarning tashqi ko‘rinishi, rangi, tiniqligi, hidi va ta’mi baholandi. Shuningdek, ularning amaldagi me’yoriy hujjatlar talablariga muvofiqligi tekshirildi.Xomashyo sifatini baholashda quyidagi ko‘rsatkichlar aniqlandi:kislota soni; peroksid soni; namlik va uchuvchan moddalar miqdori; zichlik; sindirish ko‘rsatkichi; yod soni; sovunlanish soni. Mazkur ko‘rsatkichlar moylarning dastlabki sifat holatini aniqlash hamda keyinchalik kupajlash natijasida yuz beradigan o‘zgarishlarni baholash uchun asos bo‘lib xizmat qildi.

**Ikkinchi bosqich – kupaj namunalarini tayyorlash.** Tadqiqotning asosiy bosqichlaridan biri paxta va soya moylari asosida turli tarkibli kupajlarni tayyorlashdan iborat bo‘ldi.Kupajlash jarayonida komponentlarning bir-biriga moslashuvchanligi va yog‘ kislotalari balansini yaxshilash maqsadida bir necha nisbatlar tanlandi.

**Uchinchi bosqich – fizik-kimyoviy tahlillar**

Kupajlarning sifat ko‘rsatkichlarini aniqlash maqsadida laboratoriya tahlillari o‘tkazildi.

Kislota soni moy tarkibidagi erkin yog‘ kislotalari miqdorini aniqlash uchun titrimetrik usul yordamida baholandi.

Peroksid soni moylarning oksidlanish darajasini tavsiflovchi muhim ko‘rsatkich sifatida yodometrik usulda aniqlandi.

Yod soni moy tarkibidagi to‘yinmagan yog‘ kislotalar miqdorini baholash imkonini berdi. Ushbu ko‘rsatkich kupaj tarkibida soya moyi ulushi ortishi bilan qanday o‘zgarishini aniqlashga xizmat qildi.

Sovunlanish soni yog‘larning molekulyar tarkibini baholash uchun aniqlandi.

Shuningdek, sindirish ko‘rsatkichi va zichlik qiymatlari ham o‘lchandi.

**To‘rtinchi bosqich – yog‘ kislotalari tarkibini baholash**

Kupajlarning biologik qiymatini aniqlash maqsadida yog‘ kislotalari tarkibi tahlil qilindi.

Asosiy e’tibor quyidagi yog‘ kislotalariga qaratildi:palmitin kislotasi; stearin kislotasi; olein kislotasi; linol kislotasi; linolen kislotasi.


ISSN 3030-3907

Olingan natijalar asosida omega-6 va omega-3 yog‘ kislotalari nisbatlari hisoblandi.

Biologik qiymatni baholashda quyidagi mezonlar hisobga olindi:

to‘yinmagan yog‘ kislotalar ulushi;

omega-6/omega-3 nisbati;

biologik faol komponentlarning saqlanish darajasi.

**Beshinchi bosqich – organoleptik baholash**

Kupajlarning iste’mol xususiyatlarini aniqlash maqsadida organoleptik baholash o‘tkazildi.

Baholash quyidagi mezonlar bo‘yicha amalga oshirildi:

tashqi ko‘rinishi; tiniqligi; rangi; hidi; ta’mi.

Baholash natijalari mahsulotning iste’molchilar tomonidan qabul qilinish imkoniyatini aniqlashga xizmat qildi.

**Oltinchi bosqich – natijalarga statistik ishlov berish**

Eksperimental natijalarning ishonchliligini ta’minlash maqsadida barcha tajribalar kamida uch martadan takrorlandi.

Olingan ma’lumotlarga matematik-statistik ishlov berildi va quyidagilar hisoblandi:arifmetik o‘rtacha qiymat (M); o‘rtacha kvadratik og‘ish; nisbiy xatolik; variatsiya koeffitsienti.Natijalarning ishonchlilik darajasi **P ≥ 0,95** ehtimollikda baholandi.Tadqiqot ishlari quyidagi ketma-ketlikda amalga oshirildi:Paxta va soya moylarini tanlash → Dastlabki sifat ko‘rsatkichlarini aniqlash → Kupaj retsepturalarini ishlab chiqish → Kupaj namunalarini tayyorlash → Fizik-kimyoviy tahlillar → Yog‘ kislotalari tarkibini aniqlash → Organoleptik baholash → Statistik ishlov berish → Optimal kupaj tarkibini tanlash.

**TADQIQOT NATIJALARI VA MUHOKAMA.**

Olib borilgan tadqiqotlar aralashma tarkibida soya yog‘i ulushi oshgani sari fraksiyalash jarayoni sezilarli darajada tezlashishini ko‘rsatdi. 3-jadvalda turli aralashmalar uchun fraksiyalash natijalari keltirilgan.

**3-jadval.**

**Paxta-soya aralashmalarini past haroratda fraksiyalash natijalari**

| Ko‘rsatkich | Sof paxta (100%) | Paxta:Soya 90:10 | Paxta:Soya 80:20 | Paxta:Soya 70:30 |
|---|---|---|---|---|
| Kristallanish boshlanishi (°C) | 14,2 | 14,8 | 15,3 | 15,9 |
| Fraksiyalash vaqti (soat) | 24 | 18 | 17 | 16 |


ISSN 3030-3907

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Salatbop yog‘ chiqishi (%) | 72 | 74 | 75 | 76 |
| Palmitin chiqishi (%) | 28 | 26 | 25 | 24 |
| Palmitin erish harorati (°C) | 36,2 | 36,8 | 37,1 | 37,4 |
| Salatbop yog‘ yod soni | 118 | 122 | 126 | 130 |

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, 80:20 nisbatdagi aralashmada fraksiyalash vaqti an'anaviy usulga nisbatan 29 % qisqaradi (24 soatdan 17 soatgacha). Bu esa ishlab chiqarish samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Kristallanish haroratining 1 °C ga ko‘tarilishi ham tezlashishiga yordam beradi.

Fosfolipidlarning fraksiyalash jarayoniga ta'sirini o‘rganish maqsadida soya moyining fosfolipid konsentrati (0,1; 0,3; 0,5 %) paxta moyiga qo‘shildi. Natijalar 0,3 % fosfolipid qo‘shimchasi eng yuqori samaradorlikni — fraksiyalash vaqtini 1,4 marta qisqartirganini ko‘rsatdi. Margarin oziq-ovqat sanoatida keng qo‘llaniladigan yog‘ mahsuloti bo‘lib, uning sifati va ozuqaviy qiymati ishlatiladigan xomashyo tarkibiga bog‘liq. Paxta moyini fraksiyalash natijasida olinadigan paxta palmitini margarin ishlab chiqarishda qattiq yog‘ komponenti sifatida qo‘llaniladi. Paxta palmitinini fosfolipidlar bilan boyitish margarinning texnologik va biologik qiymatini oshirish imkonini beradi.

Fosfolipidlarning ahamiyati. Fosfolipidlar tabiiy biologik faol moddalar bo‘lib, emulgatorlik xususiyatiga ega. Ular yog‘ va suv fazalarining barqarorligini ta’minlaydi, organizmda hujayra membranalari tarkibiga kiradi, xolesterin almashinuvini tartibga solishda ishtirok etadi, antioksidant ta’sir ko‘rsatadi.

Asosiy fosfolipidlar: fosfatidilxolin(letsitin), fosfatidiletanolamin, fosfatidilinozitol, fosfatidilserin.

Paxta palmitinining tavsifi. Paxta palmitini paxta moyini fraksiyalash natijasida olinadigan yuqori erish haroratiga ega qattiq fraksiya hisoblanadi.

Tarkibida palmitin kislotasi ($C_{16}H_{32}O_2$), stearin kislotasi ($C_{18}H_{36}O_2$), olein kislotasi ($C_{18}H_{34}O_2$), linol kislotasi ($C_{18}H_{32}O_2$) mavjud. Palmitin – margaringa kerakli konsistensiya, plastik xususiyat, termik barqarorlik beradi.

Fosfolipidlar bilan boyitish texnologiyasi:

Texnologik jarayon quyidagi bosqichlarni o‘z ichiga oladi:

1.Paxta palmitinini tayyorlash;

2.Fosfolipid konsentratini olish;

3.60–70°C da aralashtirish;


ISSN 3030-3907

4.Gomogenizatsiya qilish;
5.Sovitish va kristallanish;
6.Margarin ishlab chiqarish.
Sifat ko‘rsatkichlariga ta’siri.
Fosfolipidlar bilan boyitilgan paxta palmitini qo‘llash natijasida,
Ko‘rsatkich O‘zgarishi
Plastiklik Oshadi
Emulsiya barqarorligi Oshadi
Antioksidant barqarorlik Oshadi
Saqlanish muddati Uzayadi
Ta’m va hid Yaxshilanadi
Konsistensiya Bir xil bo‘ladi

Ozuqaviy qiymatining oshishi. Boyitilgan margarin - fosfolipidlar manbai hisoblanadi, yog‘da eruvchi vitaminlarning o‘zlashtirilishini yaxshilaydi, hujayra membranalari faoliyatiniyaxshilaydi, lipid almashinuvini me’yorlashtirishga yordam beradi.

Ilmiy va amaliy ahamiyati. Import qilingan strukturator yog‘lar o‘rnini bosadi. Mahalliy paxta moyi mahsulotlaridan samarali foydalanishni ta’minlaydi.Trans-yog‘lar miqdorini kamaytirishga xizmat qiladi. Funksional oziq-ovqat mahsulotlari yaratish imkonini berad

**4-jadval.**

**Olingan salatbop yog‘ va palmitinning asosiy ko‘rsatkichlari**

| Ko‘rsatkich | Salatbop yog‘ | Palmitin | GOST talabi |
|---|---|---|---|
| Rangi (Lovibond, qizil) | 2,5 | 3,0 | ≤ 4,0 |
| Hidi va ta'mi | Yoqimli | Yoqimli | Xorijiy hidlarsiz |
| Kislotalik soni (mg KOH/g) | 0,26 | 0,30 | ≤ 0,40 |
| Peroksid soni (mmol/kg) | 0,8 | 0,7 | ≤ 2,0 |
| Namlik (%) | 0,05 | 0,08 | ≤ 0,10 |
| Sovunlanish soni | 190 | 192 | 189–198 |

Jadvalda ko‘rsatilganidek, olingan salatbop yog‘ va palmitin namunalari barcha asosiy ko‘rsatkichlari bo‘yicha amaldagi GOST talablariga to‘liq javob


ISSN 3030-3907

beradi. Salatbop yog‘ning kislotalik soni 0,26 mg KOH/g, peroksid soni 0,8 mmol/kg bo‘lib, ular standart chegaralaridan ancha past.

Olingan paxta-soya palmitini margarin emulsiyalarida qo‘llanilganda emulgator sarfini 15–20 % kamaytirish imkoniyati aniqlandi. Bu esa soya fosfolipidlarining emulsiyalovchi xususiyatiga bog‘liq. Shu bilan birga, margarin namunalarining plastikligi va qattiqligi ham yaxshilandi. Iqtisodiy samaradorlik ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkich Qiymat
Qo‘shimcha salat yog‘i 800 tonna/yil
Qo‘shimcha daromad 12,0 mlrd so‘m
Energiya tejalishi 0,15 mlrd so‘m
Umumiy iqtisodiy samara 12,15 mlrd so‘m/yil
Rentabellik darajasi 15–25 % ga oshadi
Investitsiya qoplanish muddati 1–2 yil

Paxta moyini soya moyi bilan aralashtirish asosida fraksiyalash jarayonini faollashtirish texnologiyasini joriy etish natijasida mahsulot chiqishi ortadi, energiya sarfi kamayadi va ishlab chiqarish tannarxi pasayadi. Shartli hisob-kitoblarga ko‘ra, yiliga 10 ming tonna quvvatga ega korxonada kutilayotgan iqtisodiy samara 12 milliard so‘mdan ortiqni tashkil etishi mumkin. Bu esa texnologiyaning sanoat miqyosida joriy etilishini iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq ekanligini ko‘rsatadi.

**5-jadval.**

**Paxta-soya palmitinidan tayyorlangan margarin ko‘rsatkichlari**

| Ko‘rsatkich | An'anaviy margarin | Yangi texnologiya | O‘zgarish (%) |
|---|---|---|---|
| Yog‘ fazasida to‘yinmagan YK (%) | 48 | 56 | +16,7 |
| Emulgator sarfi (%) | 0,5 | 0,4 | –20,0 |
| Plastiklik indeksi | 380 | 420 | +10,5 |
| Erish harorati (°C) | 34 | 34,5 | +1,5 |
| Organoleptik baho (5 ball) | 4,6 | 4,8 | +4,3 |

**XULOSA.**

Paxta yog‘iga 20 % soya yog‘i qo‘shish fraksiyalash jarayonini 1,4–1,5 barobarga tezlashtiradi. Bu esa energiya va vaqt sarfini sezilarli kamaytiradi.


ISSN 3030-3907

0,3 % soya fosfolipidlari qo‘shimchasi kristallanish jarayonini eng samarali tezlashtiruvchi omil sifatida aniqlandi.

Olingan salatbop yog‘ va paxta-soya palmitinining barcha fizik-kimyoviy ko‘rsatkichlari amaldagi standartlarga javob beradi.

Paxta-soya palmitinini margarin ishlab chiqarishda qo‘llash emulgator sarfini 20 % kamaytiradi va to‘yinmagan yog‘ kislotalari ulushini 16,7 % oshiradi.

Ishlab chiqilgan intensiv fraksiyalash texnologiyasini O‘zbekiston yog‘-moy korxonalarida joriy etish yiliga 145 million so‘mdan ortiq iqtisodiy samara berishi kutilmoqda. Soya moyi ulushining ma’lum miqdorda kiritilishi aralashmaning qovushqoqligini pasaytirishi, issiqlik va massa almashinuvi jarayonlarini jadallashtirishi hamda kristallanish kinetikasini yaxshilashi isbotlandi. Natijada qattiq va suyuq fraksiyalarning ajralish darajasi oshib, palmitin chiqishining ko‘payishi hamda salat yog‘ining sifat ko‘rsatkichlarining yaxshilanishiga erishildi.

Tadqiqotlar davomida fraksiyalash jarayonining asosiy texnologik parametrlari, jumladan, aralashtirish harorati, sovutish tezligi, kristallanish davomiyligi va komponentlar nisbati optimallashtirildi. Tajriba natijalari asosida paxta va soya moylari aralashmasining maqbul tarkibi aniqlanib, bu nisbatda yuqori sifatli palmitin va olein fraksiyalarini olish mumkinligi tasdiqlandi. Matematik-statistik tahlillar yordamida olingan natijalarning ishonchliligi baholandi va jarayon parametrlarining o‘zaro bog‘liqligi regressiya tenglamalari orqali ifodalandi.

Yangi turdagi kompozitsion mahsulotning oziqaviy va biologik qiymati ham o‘rganildi. Tadqiqot natijalari mahsulot tarkibida inson organizmi uchun zarur bo‘lgan to‘yinmagan yog‘ kislotalari, ayniqsa linoleik va oleik kislotalarning yuqori miqdorda mavjudligini ko‘rsatdi. Soya moyining qo‘shilishi natijasida mahsulotning biologik qiymati oshib, omega-6 va boshqa muhim yog‘ kislotalarining muvozanatli tarkibi shakllandi. Bu esa tayyor mahsulotning fiziologik va funksional xususiyatlarini yaxshilashga xizmat qildi.

Mahsulotning saqlash davridagi barqarorligi bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar uning uzoq muddat davomida sifat ko‘rsatkichlarini saqlab qolishini ko‘rsatdi. Saqlash jarayonida kislota soni, peroksid soni, rang va organoleptik ko‘rsatkichlarda ayrim o‘zgarishlar kuzatilgan bo‘lsa-da, ular me’yoriy talablar chegarasida qolganligi aniqlandi. Mahsulot tarkibidagi tabiiy antioksidantlar oksidlanish jarayonlarini sekinlashtirib, uning saqlanish muddatini uzaytirishga xizmat qilishi isbotlandi.

Tadqiqot natijalari asosida paxta va soya moylari aralashmasidan salat yog‘i va palmitin olishning takomillashtirilgan intensiv fraksiyalash texnologiyasi ishlab chiqildi. Taklif etilgan texnologiya mavjud usullarga nisbatan energiya sarfini


ISSN 3030-3907

kamaytirish, jarayon davomiyligini qisqartirish, mahsulot chiqishini oshirish va iqtisodiy samaradorlikni yaxshilash imkonini beradi. Shuningdek, texnologiyani sanoat korxonalarida qo‘llash natijasida mahalliy xomashyodan samarali foydalanish, import o‘rnini bosuvchi mahsulotlar ishlab chiqarish va aholining sifatli oziq-ovqat mahsulotlariga bo‘lgan ehtiyojini qondirish imkoniyatlari kengayadi.

Olib borilgan ilmiy tadqiqotlar paxta va soya moylari aralashmasini intensiv fraksiyalash asosida yuqori sifatli salat yog‘i va palmitin olish texnologiyasini takomillashtirishning ilmiy va amaliy jihatdan samarali ekanligini tasdiqladi. Olingan natijalar yog‘-moy sanoatida yangi energiya tejamkor texnologiyalarni yaratish, mahsulot sifatini oshirish hamda ishlab chiqarish samaradorligini ko‘paytirish uchun muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Oltiyev A.T., Zayniddinova M.B. "Paxta va soya yog‘lari aralashmasini past haroratda fraksiyalash" // Oziq-ovqat texnologiyasi va servis jurnali. – Almata, 2025.
2. Kimyo va kimyo texnologiyasi ilmiy-texnik jurnali. – Toshkent, 2012. – № 2. – B. 79–80.
3. Kimyo va kimyo texnologiyasi ilmiy-texnik jurnali. – Toshkent, 2012. – № 1. – B. 65–69.
4. Folch I., Less M., Stanley H.S. // J. Biol. Chem. – 1957. – 226. – P. 447.
5. Keyts M. Texnika lipidologii. – Moskva: Mir, 1975. – 311 s.
6. Rukovodstvo po metodam issledovaniya v maslojirovoy promyshlennosti. – Leningrad, 1967. – T. II. – S. 815. 76. ISO — Methods for determination of peroxide value and emulsion stability.
7. Ўзбекистон Республикаси O‘zDSt — Margarin va yog‘-moy mahsulotlari standartlari.
8. ГОСТ — Маргарин маҳсулотлари учун техник шартлар.
9. Зайцев В.Н. Технология растительных масел. – Москва: Пищевая промышленность, 2018.
10. Щербаков В.Г. Технология получения растительных масел. – Санкт-Петербург, 2019.
11. O. Zufarov Yog‘-moy mahsulotlari texnologiyasi. – Toshkent, 2021.
12. K. Serkaev O‘simlik moylarini qayta ishlash texnologiyasi. – Toshkent, 2022.
13. O. Zufarov, K. Serkaev Natural antioxidants // Technical Science and Innovation. – 2024. .
14. A . T . Oltiev , S. WITH . Bafoev . Z . M . Amonova , F . Z . A’zamova JMEA
15. Journal of Modern Educational Achievements Volume 9, 2024 . P.6-69
16. A.T. Oltiev, S.S. Bafoev , M.F. Toirova, A.Sh. Khasanova, F.N. Ashurov


ISSN 3030-3907

17. “Technique and technology of food production” abstracts of the XIII International
18. scientific conference of students and postgraduates, April 18-19, 2024, Mogilev, BSUT, 2024. P. 234


ISSN 3030-3907

# QUYI MOLEKULALI POLIETILENNING STRUKTURASI VA XOSSALARI VA ULARNI QOPLAMA-SURKOV VA MASTIKALAR OLISH VA QO‘LLASH

**Ergashev Behruz Shavkat o‘g‘li**
***Buxoro davlat texnika universiteti tayanch doktoranti,***
**Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li**
***Buxoro davlat texnika universiteti dotsenti***
**Fozilov Sadriddin Fayzullayevich**
***Buxoro davlat texnika universiteti professori***

**Annotatsiya**. Metall korroziyasiga qarshi kurash zamonaviy ilmiy-texnologik inqilobning quyidagi asosiy masalalari bilan chambarchas bog‘liq: metall va energiyani tejash, mashina va mexanizmlarning ishonchliligini oshirish va xizmat muddatini uzaytirish hamda atrof-muhitni muhofaza qilish. Metall korroziyasidan kelib chiqadigan umumiy yo‘qotishlar odatda bevosita va bilvosita turlarga bo‘linadi . Bevosita yo‘qotishlar metall mahsulotlarining muddatidan oldin ishdan chiqishi va ularni almashtirish zarurati, shuningdek, uskunalarni rejadan tashqari muntazam va kapital ta’mirlash va hok. bilan bog‘liq. Korroziyadan kelib chiqadigan katta to‘g‘ridan-to‘g‘ri yo‘qotishlarga qaramay, bilvosita yo‘qotishlar sezilarli darajada ko‘p . Bilvosita yo‘qotishlarga quyidagilar kiradi: ichki yonish dvigatellari, bug‘ va gaz turbinalari, qozonxonalar, agregatlar va elektr energiyasi ishlab chiqaradigan mashinalarning quvvatini yo‘qotish bilan bog‘liq xarajatlar; korroziya tufayli texnika, mashinalar, asboblar va uskunalarning ishlamay qolishi bilan bog‘liq xarajatlar, bu esa quvurlarning ishdan chiqishiga va gaz, moy va boshqa mahsulotlarning yo‘qolishiga olib keladi; elektr stansiyalari mexanizmlari yoki uzatish liniyalarining korroziyasi tufayli elektr ta’minotining uzilishi bilan bog‘liq xarajatlar. Bilvosita yo‘qotishlar, shuningdek, kimyo, neft-kimyo va boshqa zavodlarda, avtomobil, temir yo‘l, dengiz va havo transportida korroziya bilan bog‘liq avariyalardan, aloqa uskunalari, asboblar, kompyuterlar va boshqaruv tizimlarining ishdan chiqishidan kelib chiqadi.

**Kalit so‘zlar:** korroziya, konstruksiya, poliolefin, refraktometrik detektor, rentgen difraksiyasi, IQ-spektroskopiya.

**Аннотация.** Борьба с коррозией металлов тесно связана со следующими основными задачами современной научно-технической революции: экономия металла и энергии, повышение надежности и продление срока службы машин и механизмов, а также защита окружающей среды. Общие потери, возникающие в результате коррозии металлов, обычно делятся на прямые и косвенные . Прямые потери связаны с преждевременным выходом из строя металлических изделий и необходимостью их замены, а также внеплановыми плановыми и капитальными ремонтами оборудования и т. д.


ISSN 3030-3907

Несмотря на большие прямые потери, косвенные потери значительно выше. К косвенным потерям относятся: затраты, связанные с потерей мощности двигателей внутреннего сгорания, паровых и газовых турбин, котельных, агрегатов и машин, вырабатывающих электроэнергию; затраты, связанные с выходом из строя машин, механизмов, инструментов и оборудования из-за коррозии, что приводит к повреждению трубопроводов и потере газа, нефти и других продуктов; затраты, связанные с перебоями в электроснабжении из-за коррозии механизмов электростанций или линий электропередачи. Косвенные убытки также возникают в результате аварий, связанных с коррозией на химических, нефтехимических и других предприятиях, в автомобильном, железнодорожном, морском и воздушном транспорте, а также в результате отказов средств связи, приборов, компьютеров и систем управления.

**Ключевые слова:** коррозия, строительство, полиолефин, рефрактометрический детектор, рентгеновская дифракция, ИК-спектроскопия.

**Abstract.** The fight against metal corrosion is closely related to the following main issues of the modern scientific and technological revolution: saving metal and energy, increasing the reliability and extending the service life of machines and mechanisms, and protecting the environment. The total losses resulting from metal corrosion are usually divided into direct and indirect types . Direct losses are associated with premature failure of metal products and the need for their replacement, as well as unscheduled regular and capital repairs of equipment, etc. Despite the large direct losses resulting from corrosion, indirect losses are significantly higher. Indirect losses include: costs associated with loss of power of internal combustion engines, steam and gas turbines, boiler houses, units and machines that generate electricity; Costs associated with the failure of machinery, machines, tools and equipment due to corrosion, which leads to the failure of pipelines and the loss of gas, oil and other products; costs associated with the interruption of electricity supply due to the corrosion of power plant mechanisms or transmission lines. Indirect losses also arise from accidents related to corrosion in chemical, petrochemical and other plants, in road, rail, sea and air transport, as well as from the failure of communication equipment, instruments, computers and control systems.

**Keywords:** corrosion, construction, polyolefin, refractometric detector, X-ray diffraction, IR-spectroscopy.

**KIEISH.**

O‘zbekiston respublikasi mustaqillikga erishgandan so‘ng kimyo sohasida inqilobiy hodisalar yuz berdi. Ularning mazmun–mohiyatini izohlash qiyin.


ISSN 3030-3907

Qilingan kashfiyotlar orasida olifenlarni polimerlanishi uchun K. sigler va J. Natta tomonidan kashf etilgan metallorganik katalizatorlar alohida ilmiy va amaliy ahamiyatga ega. Ushbu katalizatorlar asosiy sanoat polimerlar ( PE) ni va kristall tizimga ega bo‘lgan, bundan oldin noma’lum bo‘lgan stereoregulyar poliolefinlar (masalan, PP va b.) ni oddiy yo‘lar bilan hosil qilishning yangi usulini topishga olib keldi. Hozirgi paytda Sho‘rtangazkimyo majmuasida anion-koordinatsion mexanizm buyicha sigler-Natta katalizatorlari ishtirokida poliolefinlar sintez qilinadi. Ushbu texnologiya polimer zichligini keng miqyosda o‘zgartirish imkonini beradi va polimer zanjirida buten -1 zvenolarni kiritish yo‘li bilan zichligi past PE, zichligi o‘rtacha PE va zichligi baland PE olinadi. Ushbu korxonada olinayotgan PE aslida etilen va buten-1 ning sopolimeridir. Kichik bosimlar ostida olinayotgan etilen sopolimerlari makromolekulalari tarkibida yondosh kalta zanjirchalar mavjud bo‘lib, ularning uzunligi sopolimerlanadigan monemer (buten-1) ga bog‘liq. Shuning uchun Sho‘rtanda ishlab chiqarilayotgan zichligi past PE ga chiziqli zichligi past PE (LLDRE) deyiladi. ShGXG korxonasida olinadigan PE ning makromolekulalari chiziqli ekanligi uning asosida olinadigan pardalarning xossasini anizotropligiga olib keladi. Chiziqli ZPPE ning ayrim ko‘rsatkichlari (parchalanish paytidagi kuchlanishi, yorilishga chidamliligi, issiqqa chidamliligi) radikal polimerlanish yo‘li bilan olinadigan ZPPE ga nisbatan va boshqa ko‘rsatgichlari (pardalarining mustahkamligi, parchalanish paytidagi nisbiy deformatsiyasi) ZBPE nisbatan yuqoridir [1-3].

Sanoatning butun tarmoqlarining to‘xtab qolishiga olib kelgan iqtisodiy inqiroz korroziya jarayonlarini to‘xtatmadi, balki ularga yanada kengroq rivojlanish uchun imkon taqdim etdi, chunki asosiy vositalarni saqlash vazifasi orqa fonga surildi. Yangi iqtisodiy vaziyatni hisobga olgan holda, qazib olish sanoatida, xususan, neft va gaz qazib olishda yuzaga kelayotgan yuksalish resurslar va energiyani tejashni asosiy tashkiliy va texnik muammolarga aylantiradi. Shu qatorda, tuproqning mazut bilan ifloslanishi va sho‘rlanishi, yer osti suv havzalari ifloslanishi, yong‘in xavfi va yerlarni melioratsiya qilish uchun katta mablag‘larga ehtiyojni hisobga olish lozim.

Qurilish materiallarining korroziyasi bino va inshootlar konstruksiyalarining muddatidan oldin buzilishining eng keng tarqalgan sababidir. Ma’lumki, qurilish konstruksiyalarining 75% ekspluatatsiya davrida tabiiy va texnogen muhitning agressiv ta’siriga duchor bo‘ladi. Mutaxassislarning hisob-kitoblariga ko‘ra, qurilish konstruksiyalarining, shuningdek bino va inshootlarning 5 dan 10% gacha qismi har yili korroziya shikastlanishi tufayli ishdan chiqadi yoki ta’mirlash va mustahkamlashni talab qiladi.

Ishlatilayotgan bino va inshootlarni ta’mirlash oralig‘i 1-3 yilni tashkil etadi, barcha po‘lat konstruksiyalarning taxminan 75 % qayta bo‘yaladi. Biroq, hatto bu


ISSN 3030-3907

choralar ham korroziyaga uchragan konstruksiya elementlarning 10 dan 20% gacha qismi bino va inshootlar eskirishidan ancha oldin almashtirish zaruratini inkor etmaydi [1-7].

Jihozlar va konstruksiyalarni korroziyadan himoya qilish yana bir bor dolzarb masalaga aylanmoqda. Milliy iqtisodiyotda korroziyaga qarshi milliy himoya tizimining tugatilishi alohida sanoat tarmoqlari, korxonalar va tashkilotlarni bu muammoni korroziyaga chidamli qotishmalar, korroziyaga qarshi himoya vositalari va metallni buzilishdan himoya qiluvchi tashkiliy va texnik choralarni ishlab chiqish va qo‘llash orqali “yolg‘iz holda” hal qilishga majbur qiladi [8-12].

Shu o‘rinda, korroziyaga qarshi himoya muammosi rivojlangan mamlakatlarda ham dolzarbdir [13-21], chunki korroziya sababli yo‘qotishlar milliy daromadning taxminan 2-3% ni tashkil qiladi, jumladan atmosfera sababli korroziya buning asosiy ulushini tashkil qiladi. Butun dunyoda sanoat, transport va qurilishda ishlatiladigan metallning taxminan 1,5% har yili korroziya tufayli “yo‘qotiladi” [22].

Metall korroziyasiga qarshi kurashish uchun katta hajmdagi moliya ajratilganiga qaramay, undan kelib chiqadigan umumiy yo‘qotishlar doimiy ravishda o‘sib bormoqda. Shunday, AQShda 1970-74 yillarda korroziyadan kelib chiqadigan yo‘qotishlar yiliga 15 milliard dollardan oshdi, 1979-1980 yillarda esa yiliga 50 milliard dollarni, ya’ni yalpi milliy mahsulotning taxminan 4% ni tashkil etdi [17-18]. Xususan, korroziya sababli zararlar natijasida ishdan chiqqan uskunalar, mashinalar va mexanizmlarni almashtirishning bevosita xarajatlari yiliga 10-15 milliard dollarni tashkil etdi. Milliy standartlar byurosining 1978 yilda AQSh Kongressiga taqdim etgan hisobotida korroziyadan kelib chiqadigan iqtisodiy zarar yanada yuqori – yiliga 82 milliard dollar yoki yalpi milliy mahsulotning taxminan 5% deb baholandi [19]. Shu o‘rinda, korroziyadan himoya qilishning zamonaviy usullaridan foydalangan holda bu zararni yiliga 33 milliard dollarga kamaytirish mumkinligi ta’kidlandi.

AQSh korroziya muhandislari milliy Assotsiatsiyasi, Britaniya korroziya va metallarni himoya qilish Qo‘mitasi, shuningdek, boshqa manbalardan olingan ma’lumotlarga ko‘ra, 1980-yillarda korroziyadan kelib chiqadigan umumiy yo‘qotishlar dunyoda yiliga 150-200 milliard dollarni tashkil etgan. [20-23] ma’lumotlariga ko‘ra, bu yo‘qotishlarning quyidagi taxminiy taqsimoti amalga oshirilishi mumkin: 20-25% - ichki yonuv dvigatellarining korroziyasi; 20-25% - transport va muhandislik vositalari (avtomobillar, traktorlar, qishloq xo‘jaligi texnikasi, teplovoz, elektrovozlar, vagonlar, kemalar, qayiqlar, samolyotlar, vertolyotlar va boshq.) metallining ichki va tashqi korroziyasi; 20% gacha - statsionar metall konstruksiyalarning- yer usti, yer osti va dengiz (ko‘priklar, yo‘l


ISSN 3030-3907

o‘tkazgichlar, konlar, turar-joy va sanoat binolari va inshootlari, metall tayanchlar, armaturalar, elektr uzatish liniyalari kabellari va simlari, relslar, metro inshootlari) korroziyasi; 10-15% - yer usti va yer osti quvurlarining (gaz va neft quvurlari, suv ta’minoti, kanalizatsiya va boshq.) korroziyasi; 10% gacha- aniq va o‘ta aniq metall mahsulotlar (stanoklar, asboblar, radio va televidenie uskunalari, aloqa uskunalari, asboblar, umumiy mashinalar va boshq.) korroziyasi; 5-10% – issiqlik elektr stansiyalari, atom elektr stansiyalari, kimyo, neft-kimyo, neftni qayta ishlash va boshqa korxonalardagi uskunalarning korroziyasi; 3-5% – metall listlar, prokat mahsulotlari, yarim tayyor mahsulotlar va ehtiyot qismlarning korroziyasi [17-24].

Metall korroziyasiga qarshi kurash zamonaviy ilmiy-texnologik inqilobning quyidagi asosiy masalalari bilan chambarchas bog‘liq: metall va energiyani tejash, mashina va mexanizmlarning ishonchliligini oshirish va xizmat muddatini uzaytirish hamda atrof-muhitni muhofaza qilish. Metall korroziyasidan kelib chiqadigan umumiy yo‘qotishlar odatda bevosita va bilvosita turlarga bo‘linadi [11]. Bevosita yo‘qotishlar metall mahsulotlarining muddatidan oldin ishdan chiqishi va ularni almashtirish zarurati, shuningdek, uskunalarni rejadan tashqari muntazam va kapital ta’mirlash va hok. bilan bog‘liq. Mamlakatda qaytarib bo‘lmaydigan metall yo‘qotishlari uning dastlabki massasining 8-12% ni yoki yillik temir va po‘lat ishlab chiqarishning 25-30% ni tashkil qiladi [21, 25].

Sifatsiz konservatsiya vositalari (bitum eritmalari, qattiq moy va PVX tipidagi moylash materiallari) foydalanish va yoqilg‘i-moylash materiallarining yomon himoya xususiyatlari tufayli, alohida uskunalar komponentlari saqlashning birinchi yilida 0,10-0,16 mm chuqurlikda korroziyaga uchraydi. Bo‘yoqlar va laklar ochiq joylarda uskunalarni saqlashdan keyin 1-3 yil ichida buziladi.

Korroziyadan kelib chiqadigan katta to‘g‘ridan-to‘g‘ri yo‘qotishlarga qaramay, bilvosita yo‘qotishlar sezilarli darajada ko‘p [19, 23, 28-30]. Bilvosita yo‘qotishlarga quyidagilar kiradi: ichki yonish dvigatellari, bug‘ va gaz turbinalari, qozonxonalar, agregatlar va elektr energiyasi ishlab chiqaradigan mashinalarning quvvatini yo‘qotish bilan bog‘liq xarajatlar; korroziya tufayli texnika, mashinalar, asboblar va uskunalarning ishlamay qolishi bilan bog‘liq xarajatlar, bu esa quvurlarning ishdan chiqishiga va gaz, moy va boshqa mahsulotlarning yo‘qolishiga olib keladi; elektr stansiyalari mexanizmlari yoki uzatish liniyalarining korroziyasi tufayli elektr ta’minotining uzilishi bilan bog‘liq xarajatlar. Bilvosita yo‘qotishlar, shuningdek, kimyo, neft-kimyo va boshqa zavodlarda, avtomobil, temir yo‘l, dengiz va havo transportida korroziya bilan bog‘liq avariyalardan, aloqa uskunalari, asboblar, kompyuterlar va boshqaruv tizimlarining ishdan chiqishidan kelib chiqadi. Bu yo‘qotishlar yoqilg‘i, moylash materiallari, ko‘mir va boshqa energiya resurslarining haddan tashqari ko‘p sarflanishi, uskunalarni loyihalash va ishlab chiqarishda korroziyaga chidamlilik


ISSN 3030-3907

tufayli metall iste’molining asossiz ravishda ko‘payishi va saqlash, konservatsiyadan chiqarish, qadoqlash va boshqa korroziyadan himoya qilish choralari uchun xarajatlarning oshishi bilan bog‘liq [28-34]. Bilvosita yo‘qotishlar atrof-muhitni muhofaza qilish bilan bevosita bog‘liq, chunki havo va suvning kimyoviy moddalar, gaz va neft bilan ifloslanishi ko‘pincha metall korroziyasi bilan bevosita bog‘liq.

QMPE uzoq vaqtdan beri sanoat miqyosida ishlab chiqarilgan bo‘lsa-da (1951 - AQSh) [100], uning himoya qoplamalari sifatida, ayniqsa qurilishda qo‘llanilishi haqida ma’lumot yo‘q, bizning dastlabki ishlarimiz bundan mustasno [111, 112]. QMPE asosan qog‘oz qoplamasi uchun, kauchuk, abraziv materiallar va bosma siyohlar ishlab chiqarishda qo‘llaniladi. QMPE mumlangan qog‘oz ishlab chiqarishda, yaltiroqlik berish, issiqlikka chidamlilikni oshirish va past haroratlarda moslashuvchanlikni oshirish uchun parafinlarga modifikatsiyalovchi qo‘shimcha sifatida (8% gacha) eng katta qo‘llanilishini topdi. Bundan tashqari, QMPE qadoqlash kartonini qoplash uchun keng qo‘llaniladi. QMPE dan metall buyumlar uchun olinadigan himoya qoplamasi sifatida foydalanish haqida so‘z boradi, buning hal qiluvchi omillaridan biri metall bilan yopishqoq bog‘lanishning yo‘qligidir.

Shu bilan birga, korroziyadan himoya qilish maqsadida QMPE yuqori molekular og‘irlikdagi analoglarga o‘xshash juda yuqori suvga chidamlilik va inertlikning kombinatsiyasi, shuningdek, faqat molekular og‘irligining ma’lum diapazonlariga xos bo‘lgan yopishqoq faollik (QMPE-2) tufayli qiziqish uyg‘otadi. Xorijiy manbalar asosan molekular og‘irligi 2000 va undan ortiq, erish nuqtasi ≥ 100 °S, qattiqligi va qovushqoqligi kerosinnikidan yuqori va qattiq tagliklarga yopishmaydigan quyi molekulaliog‘irlikdagi polietilen mumlar bilan ishlaydi. “Kazanorgsintez” OAJ tomonidan TU 6-05-1837-82 (1993 yildan beri uzaytirilgan) ga muvofiq ishlab chiqarilgan, molekular og‘irligi > 3000 bo‘lgan QMPE-3 bunday mumlar sifatida tasniflanishi mumkin. Shuning uchun kimyoviy jihatdan chidamli gidroizolyatsiya qoplamalarini olish uchun yumshoq, mumsimon konsistensiyaga ega (molekular og‘irlik diapazoni 1300-2700) QMPE-2 markasi, shuningdek, QMPE-1 (yopishqoq suyuqlik) ko‘proq qiziqish uyg‘otadi.

Har qanday materialning xususiyatlari uning kimyoviy va fizik tuzilishi bilan belgilanadiganligi sababli, QMPE uchun aniqlovchi parametrlar molekular og‘irlik, molekuladagi yon zanjirlarning uzunligi va turi, chekka guruhlar turi, to‘yinmagan bog‘lanishlar, ularga bog‘liq bo‘lgan kristallik darajasi va natijada qattiqlik, erish nuqtasi, eritma qovushqoqligi, namlanish qobiliyati va adgeziya hisoblanadi.


ISSN 3030-3907

Gel o‘tkazuvchanlik xromatografiyasi (GPC), rentgen difraksiyasi, IQ-spektroskopiya va impulsli YaMR yordamida QMPE ning strukturaviy tadqiqotlarimiz natijalarini ko‘rib chiqaylik.

Bundan tashqari, PE dan modifikatsiyalanuvchi agent sifatida butum tarkibiga kiritiladi, ular suv singdirmaydigan va yaxshi tashqi ko‘rinishga ega bo‘lishi uchun lateksli va kauchukli bitumlar bilan bir qatorda yo‘l qoplamlari ishlab chiqarishga qo‘llaniladi.

Quyi molekulali PE dan asfalt va asfalt beton qoplamalaridagi g‘ovaklarni to‘ldirish uchun qo‘llaniladi. Natijada qoplama tarkibiga kiradigan namlik va suv yo‘llari yo‘qoladi. Xususan, qish faslida namlik, muzlangan suv va qayta eriydigan muz suvlari qoplamaga o‘nglab bo‘lmaydigan darajada salbiy ta’sir ko‘rsatilishi mumkin. Sibir sharoitida PE qo‘shilmasidan foydalanish katta amaliy ahamiyatga ega.

To‘qimachilik sanoatida ishlab chiqarilgan gazlamalarni shimdirish va ularga namlikka chidamlilik berishda quyi molekulali PE dan qo‘llaniladi.

Bunday gazlamalardan palatkalar yoki tomyopgich sifatida foydalanish mumkin.

Elektr energiyasi uzatish liniyalari va kabellarni turli tashqi omillardan muhofaza qilish uchun quyi molekulali PE dan qo‘llaniladi. Ko‘p qatlamli izolyatsiyalangan kabellarda bir yoki ikki qatlamini quyi molekulali PE bilan shimdirilgan qog‘oz tashkil etadi.

Bunday izolyatsiyalangan kabelda namlik singib borolmaydi, aks holda qisqa tutashuv va yong‘inlar paydo bo‘lishi tabiiy holdir.

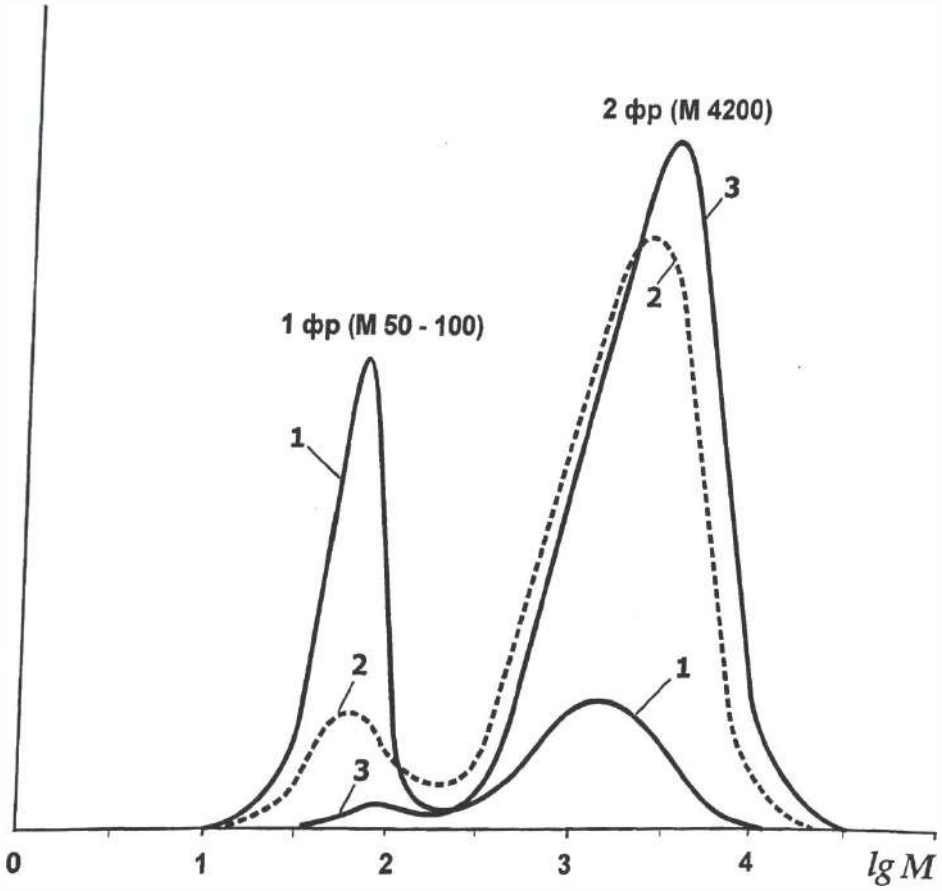
Ammo quyi molekulali PE ning asosiy qo‘llanishi uning asosida qurimaydigan polimerlarni bosim ostida quyish yo‘li bilan olinadigan buyum yoki detallar texnologik moylovchilar olishdir. Ushbu polimer kauchuklarning barcha turlari bilan qo‘shilish imkoniyatigaega bo‘lib tayyor buyumni qolipdan oson chiqarib olish imkonini beradi. Natijada buyumning sifati yaxshilanib texnologik chiqindilar miqdori keskin kamayadi. Tarkibida PE saqlangan moylovchi moddalardan qo‘llanilganda, kompozitsiyani kalandrlash va shipirislash texnologik operatsiyalari osonlashadi.

Molekular-massa tarkibi (MMS) tahlili refraktometrik detektor bilan jihozlangan “Voters” xromatografida quyidagi tajriba sharoitlarda o‘tkazildi: erituvchi — toluol, harorat — 25°C, namuna konsentratsiyasi — 0,5%, namuna hajmi — 100 mkl, ustun tizimi — mikrostiragel (100 Å, 500 Å, 103 Å). Molekular og‘irlik xususiyatlari polistirolning kalibrlash bog‘liqligining polietilen kalibrlash usuli [105] yordamida, uning makromolekulasi teng uzunlikdagi polistirol makromolekulasidan 2,2 baravar “yengilroq” ekanligini hisobga olgan holda hisoblab chiqilgan. 3.1-rasmda beshta QMPE namunalari uchun molekular og‘irlik


ISSN 3030-3907

taqsimot egri chiziqlari ko‘rsatilgan. 3.1-jadvalda asosan namunadagi mos ravishda past molekular, o‘rta molekular va yuqori molekular fraksiyalar miqdoriga sezgir bo‘lgan o‘rtacha son ($\overline{M}_n$), o‘rtacha og‘irlik ($\overline{M}_w$) va z-o‘rtacha ($\overline{M}_z$) molekular massalarining qiymatlari ko‘rsatilgan.

Rasmda ko‘rsatilgan molekular og‘irlik taqsimoti egri chiziqlaridan ko‘rinib turibdiki, molekular og‘irlik oshishi bilan bimodal taqsimot unimodal taqsimotga aylanadi. Quyi molekulaliog‘irlikdagi 1, 3 va 4 namunalarda bitta fraksiyaning polimerlanish darajasi 2-10, ikkinchisining polimerlanish darajasi esa 120-160 ga teng. Yuqori molekular og‘irlikdagi namunalar polidisperslik indeksi ($\overline{M}_w/\overline{M}_n$ nisbati) 2 ga teng bo‘lgan bir xil molekular og‘irlik tarkibi bilan tavsiflanadi. Polidisperslik indeksi 2 ga teng bo‘lishi makromolekular tizimning shakllanishi statistik jihatdan “tasodifiy” qonunga muvofiq sodir bo‘lishini ko‘rsatadi.




1 - QMPE-1; 2- QMPE-2; 3 - PNMPE-3.

**1-rasm. QMPE namunalari uchun molekular og‘irlik taqsimot egri chiziqlari**

Shu bilan birga, quyi molekulalinamunalar taqsimlanishining bimodal xarakteri ularning polimerining hosil bo‘lish jarayoni geterogen borishini ko‘rsatadi.


ISSN 3030-3907

**1-jadval**

**QMPE namunalarining molekular-massa xususiyatlari**

| Namuna № | Umuman namuna (I+II fraksiyalar) | | | | | Quyi molekulalifraksiya (I fraksiya) | | | | | Yuqori molekular fraksiya (II fraksiya) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\overline{M}_n$ | $\overline{M}_w$ | $\overline{M}_z$ | $\overline{M}_w/\overline{M}_n$ | [η], dl/g (hisob) | $\overline{M}_n$ | $\overline{M}_w$ | $\overline{M}_z$ | $\overline{M}_w/\overline{M}_n$ | [η], dl/g (hisob) | $\overline{M}_n$ | $\overline{M}_w$ | $\overline{M}_z$ | $\overline{M}_w/\overline{M}_n$ | [η], dl/g (hisob) |
| 1 | 130 | 830 | 1730 | 6,4 | 0,08 | 46 | 50 | 55 | 1,1 | 0,01 | 740 | 1180 | 1765 | 1,6 | 0,11 |
| 2 | 1470 | 3020 | 4860 | 2,0 | 0,20 | - | - | - | - | - | 1470 | 3020 | 4860 | 2,0 | 0,20 |
| 3 | 305 | 1970 | 3660 | 6,5 | 0,15 | 46 | 60 | 78 | 1,3 | 0,02 | 1220 | 2220 | 3670 | 1,8 | 0,16 |
| 4 | 812 | 2430 | 4270 | 3,0 | 0,17 | - | - | - | - | - | 1220 | 2500 | 4270 | 2,0 | 0,17 |
| 5 | 1570 | 3070 | 5250 | 2,0 | 0,20 | - | - | - | - | - | 1570 | 3070 | 5250 | 2,0 | 0,20 |

### 3.2. Rentgen-fazali tahlil ma’lumotlarini talqin qilish

Rentgen tadqiqotlari DRON-3 difraktometrida 1,54 Å to‘lqin uzunligiga ega $CuK_1$ nurlanishidan foydalangan holda o‘tkazildi. Grafit monoxromator ishlatilgan.

3.2-rasmda QMPE namunalarining difraktogrammalari ko‘rsatilgan, ular keng amorf galo va 110 va 200 tekisliklaridan ikkita refleksni ko‘rsatadi.

**2-jadval.**

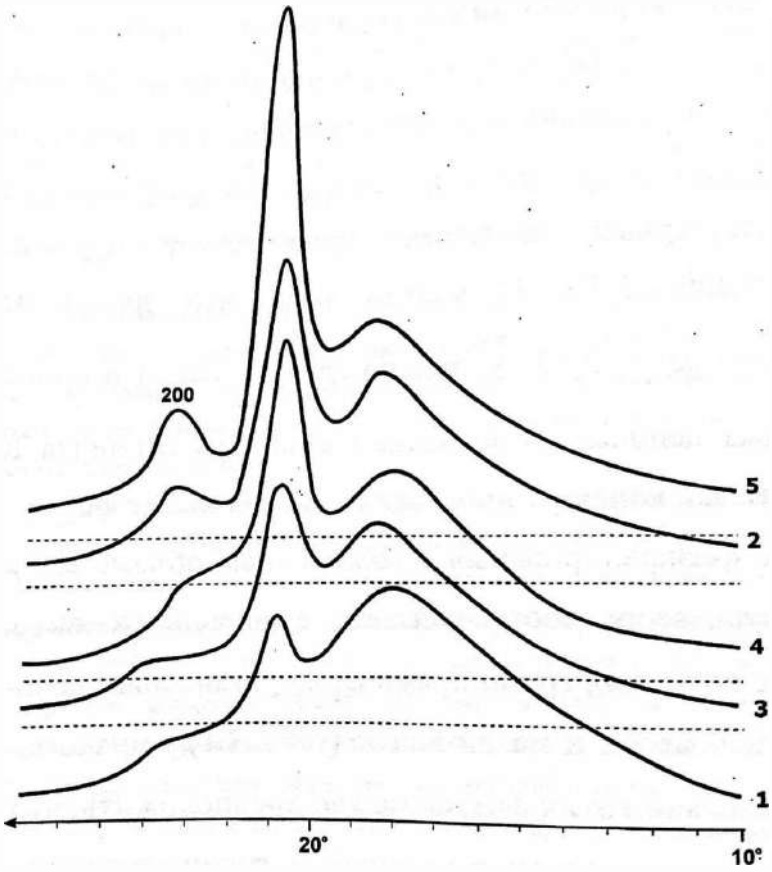
**QMPE namunalarining rentgen-grafik xususiyatlari**

| Namuna | ω, % | $L_{110}$, Å | $L_{200}$, Å |
|---|---|---|---|
| 1 | 3 | 60 | 56 |
| 2 | 11 | 85 | 60 |
| 3 | 6 | 67 | 56 |
| 4 | 7 | 85 | 60 |
| 5 | 16 | 131 | 65 |


ISSN 3030-3907

Germans va Veydinger usuli yordamida kristall qismdan amorf galoga sochilish intensivligining nisbati bo‘yicha kristallik aniqlandi. 110 va 200 tekisliklariga normal yo‘nalishdagi kristallit o‘lchamlari Sherrer formulasi yordamida aks ettirish kengliklaridan aniqlandi.

Beshta QMPE namunalari uchun kristallik qiymatlari (%) va kristallit o‘lchamlari 3.2-jadvalda keltirilgan. Ushbu ma’lumotlar shuni ko‘rsatadiki, kristallikning oshishi bilan kristall o‘sishi asosan 110 yo‘nalish bo‘ylab sodir bo‘ladi.




**2-rasm. QMPE namunalarining difraktogrammalari**

3.1 va 3.2-jadvallardagi ma’lumotlarni birgalikda tahlil qilib, molekular va supramolekular (molekular-usti) xususiyatlar o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlikni ta’kidlash kerak, ya’ni, molekular og‘irlikning oshishi bilan kristallanish darajasi va kristallit hajmi oshadi.

Yuqorida olingan ma’lumotlarga asoslanib, adgeziyaning molekular og‘irlikning oshishi bilan kamayishi yaqqol talqin qilinishi mumkin. Shunday, quyi molekulaliog‘irlikdagi namunalarda polimerlanish darajasi 2-10 bo‘lgan fraksiya mavjud. Polietilen elementar bo‘g‘inining uzunligi 2,53 Å ekanligini hisobga olsak, polimer zanjiri o‘lchamlari 12 Å Kun segment qiymati bilan taqqoslanadi, degan xulosaga kelish mumkin. Natijada, bunday molekulalarning konformatsiyasi tayoqcha shaklida bo‘ladi va oxirgi guruhlar makromolekula ichida “himoyalanmagan”, shuning uchun tashqi ob’ektlar bilan ta’sir qilish ehtimoli


ISSN 3030-3907

oshadi. Bundan tashqari, oxirgi guruhlar soni o‘rtacha sonli molekular og‘irlikka to‘g‘ridan-to‘g‘ri proporsionaldir va quyi molekulaliog‘irlikdagi 1, 3 va 4-namunalarda eng yuqori (3.1-jadval). Ushbu dalillarga asoslanib, polietilenning adgeziyasi oxirgi guruhlarning ko‘payishi bilan ortadi, deb taxmin qilish mumkin, bu asosan molekulalararo o‘zaro ta’sirlarning kattaligiga hissa qo‘shadi.

Boshqa tomondan, rentgen fazasi tahliliga ko‘ra, qoniqarsiz adgeziya xususiyatlariga ega namunalar (2 va 5-namunalar) nisbatan yuqori kristallanish darajasi (11 va 16%) bilan tavsiflanadi. Yuqori kristall namunalarda kuchli molekulalararo o‘zaro ta’sirni ta’minlaydigan guruhlarning aksariyati supramolekular tuzilmalar hajmida “himoyalangan” va tashqi muhit bilan ta’sir qilmaydi.

Nihoyat, shuni ta’kidlash kerakki, qisqa zanjirlar va kichik supramolekular tuzilmalardan tashkil topgan makromolekular tizimlar ko‘proq turg‘unlikka ega, bu esa polietilen va qattiq taglik o‘rtasida sirt tuzilishidan qat’i nazar, yanada kuchli aloqa o‘rnatish imkonini beradi.

Shunday qilib, tadqiqot natijalariga asoslanib, yaxshi adgezion xususiyatlarga ega polietilen asosidagi materiallarni yaratish uchun quyi molekulaliog‘irlikdagi (taxminan 800-2500 viskozimetrik og‘irlikdagi), 2-10 polimerlanish darajasiga ega quyi molekulaliog‘irlikdagi fraksiyaga ega va amorf tuzilishga ega namunalardan foydalanish tavsiya etiladi, degan xulosaga kelish mumkin.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Сафрончик В.И. Защита от коррозии строительных конструкций и технологического оборудования. Л.Стройиздат, 1988. 251 с.
2. Голубев А.И., Шляфиргер А.М., Эффективные способы защиты металлических конструкций от коррозии в процессе эксплуатации// Промышленное строительство, 1982, № 2 С. 18-20.
3. Защита строительных конструкций и технологического оборудования от коррозии. Справочник строителя (Орлов А.М., Чекулаева Е.И., Соколов В.А. и др.) Под редакцией Орлова А.М. М.: Стройиздат, 1989. 256 с.
4. Фиалковский Я., Игнатович Б., Квятковский А. Антикоррозионная защита в промышленном строительстве/ М.: Стройиздат, 1981. 256 с.
5. Бадовака В. и др. Антикоррозионная защита зданий/ М.: Стройиздат, 1978. 508 с.
6. Трегуб В.Д. Проектирование антикоррозионной защиты строительных конструкций/ Киев: Будивельник, 1984. 72 с.
7. конструкций 8. 9. в современном научных трактатов, М., 1990. 102 с.
8. 10. 11. 12. 13. Методические Степанова В.Ф. «Проблемы долговечности бетонных и железобетонных строительстве» Материалы междунар.


ISSN 3030-3907

конференции «Долговечность и защита от коррозии»/ М., 1999. 652 с. Сборник ресурсных смет и норм на строительные работы. Сборник 13, Защита строительных конструкций и оборудования от коррозии. 1994. 98 с. Антикоррозионная защита строительных металлоконструкций/ Сборник Мутылина И.Н. Защита от коррозии/ Владивосток, ДВГТУ, 1998. 88 с. рекомендации по определению экономической эффективности защиты от коррозии в строительстве/ М.: НИИЖБ, 1999. 15 с. Горев В.В., Уваров Б.Ю. и др. Металлические конструкции/ М.: Высшая школа, 1999, т.2. 528 с. Шлугер М.А., Ажогин Ф.Ф., Ефимов Е.А. Коррозия и защита металлов/ М.: Металлургия, 1981. 214 с. 155.


ISSN 3030-3907

# KOROZIYAGA QARSHI HIMOYA MUAMMOSI VA UNING YECHIMIDA SURKOV QOPLAMALAR O‘RNI

**Ergashev Behruz Shavkat o‘g‘li**
*Buxoro davlat texnika universiteti tayanch doktoranti*
**Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li**
*Buxoro davlat texnika universiteti dotsenti*
**Fozilov Sadriddin Fayzullayevich**
*Buxoro davlat texnika universiteti professori*

**Annotatsiya**. Qoplamalar odatda boshqa funksiyalarni, jumladan, abrazivga qarshi, elektr izolyatsiya, kavitatsiyaga qarshi, dekorativ va boshq. birlashtiradi. Qoplamalar metall, silikat, keramik va organik kabi turli xil materiallardan tayyorlanishi mumkin. Polimer qoplamalarni o‘z ichiga olgan organik bo‘yoq va lak qoplamalari korroziyadan himoya qilish texnologiyasida eng keng qo‘llaniladi. Metalllarni korroziyadan himoya qilishning barcha mavjud usullari orasida, turli manbalarga ko‘ra [54-57], eng katta ulush (60% dan 90% gacha) lak-bo‘yoq qoplamalariga (LBQ) to‘g‘ri keladi, chunki ular nisbatan arzon, ommabop, eng katta tanlov erkinligini ta’minlaydi, ish holatida qo‘llash va saqlash oson. LBQ ning jahon ishlab chiqarishi yiliga taxminan 20 million tonnani tashkil etadi. Bino va inshootlardagi konstruktiv komponentlar uchun ularning katta hajmi va himoya talab qiladigan sirt maydoni tufayli xom ashyo narxi va qoplamalarning chidamliligi juda muhimdir. Shuning uchun yangi, arzon xom ashyolarni izlash va ularga asoslangan himoya qoplamalarini ishlab chiqish qurilish materiallari fanida dolzarb masala hisoblanadi. Neft bitumi va neft moylash materiallari shular jumlasidandir.

**Kalit so‘zlar:** Himoya qoplamalari, zanglash, korroziya ingibitorlari, adgeziya, oligomer-monomer qoplamalar.

**Аннотация.** Покрытия обычно сочетают в себе другие функции, включая защиту от истирания, электроизоляцию, кавитацию, декоративность и т. д. Покрытия могут быть изготовлены из различных материалов, таких как металл, силикат, керамика и органические вещества. Органические лакокрасочные покрытия, в том числе полимерные, являются наиболее широко используемыми в технологиях защиты от коррозии. Среди всех существующих методов защиты металлов от коррозии, по данным различных источников [54-57], наибольшая доля (от 60% до 90%) приходится на лакокрасочные покрытия (ЛКП), поскольку они относительно недороги, широко доступны, обеспечивают наибольшую свободу выбора, просты в нанесении и обслуживании в процессе эксплуатации. Мировое производство ЛКП составляет приблизительно 20 миллионов тонн в год. Для конструктивных элементов зданий и сооружений стоимость сырья и


ISSN 3030-3907

долговечность покрытий очень важны из-за их большого объема и площади поверхности, требующей защиты. Поэтому поиск новых, недорогих сырьевых материалов и разработка защитных покрытий на их основе является актуальной задачей в науке о строительных материалах. К ним относятся нефтяной битум и нефтяные смазочные материалы.

**Ключевые слова:** Защитные покрытия, ржавчина, ингибиторы коррозии, адгезия, олигомерно-мономерные покрытия.

**Abstract.** Coatings usually combine other functions, including anti-abrasion, electrical insulation, anti-cavitation, decorative, etc. Coatings can be made of various materials, such as metal, silicate, ceramic, and organic. Organic paint and varnish coatings, including polymer coatings, are the most widely used in corrosion protection technology. Among all the existing methods of protecting metals from corrosion, according to various sources [54-57], the largest share (from 60% to 90%) falls on paint and varnish coatings (PDCs), since they are relatively inexpensive, widely available, provide the greatest freedom of choice, are easy to apply and maintain in service. The world production of PDCs is approximately 20 million tons per year. For structural components in buildings and structures, the cost of raw materials and the durability of the coatings are very important due to their large volume and the surface area that requires protection. Therefore, the search for new, inexpensive raw materials and the development of protective coatings based on them is a pressing issue in the science of building materials. Petroleum bitumen and petroleum lubricants are among them.

**Keywords:** Protective coatings, rust, corrosion inhibitors, adhesion, oligomer-monomer coatings.

**KIRISH.**

Korroziyadan kelib chiqadigan katta to‘g‘ridan-to‘g‘ri yo‘qotishlarga qaramay, bilvosita yo‘qotishlar sezilarli darajada ko‘p. Bilvosita yo‘qotishlarga quyidagilar kiradi: ichki yonish dvigatellari, bug‘ va gaz turbinalari, qozonxonalar, agregatlar va elektr energiyasi ishlab chiqaradigan mashinalarning quvvatini yo‘qotish bilan bog‘liq xarajatlar; korroziya tufayli texnika, mashinalar, asboblar va uskunalarning ishlamay qolishi bilan bog‘liq xarajatlar, bu esa quvurlarning ishdan chiqishiga va gaz, moy va boshqa mahsulotlarning yo‘qolishiga olib keladi; elektr stansiyalari mexanizmlari yoki uzatish liniyalarining korroziyasi tufayli elektr ta’minotining uzilishi bilan bog‘liq xarajatlar. Bilvosita yo‘qotishlar, shuningdek, kimyo, neft-kimyo va boshqa zavodlarda, avtomobil, temir yo‘l, dengiz va havo transportida korroziya bilan bog‘liq avariyalardan, aloqa uskunalari, asboblar, kompyuterlar va boshqaruv tizimlarining ishdan chiqishidan kelib chiqadi. Bu yo‘qotishlar yoqilg‘i, moylash materiallari, ko‘mir va boshqa energiya resurslarining haddan tashqari ko‘p sarflanishi, uskunalarni loyihalash va


ISSN 3030-3907

ishlab chiqarishda korroziyaga chidamlilik tufayli metall iste'molining asossiz ravishda ko'payishi va saqlash, konservatsiyadan chiqarish, qadoqlash va boshqa korroziyadan himoya qilish choralari uchun xarajatlarning oshishi bilan bog'liq [28-34]. Bilvosita yo'qotishlar atrof-muhitni muhofaza qilish bilan bevosita bog'liq, chunki havo va suvning kimyoviy moddalar, gaz va neft bilan ifloslanishi ko'pincha metall korroziyasi bilan bevosita bog'liq.

Mamlakatning turli mintaqalarida magistral quvurlarning ishlashi yer osti inshootlarining ishonchliligi va chidamliligini oshirish masalasini eng muhim milliy iqtisodiy muammolardan biriga aylantiradi. Bu nafaqat korroziya tufayli metallning sezilarli darajada yo'qotilishining oldini olish zarurati, balki inshootlarning muammosiz ishlashini ta'minlash zarurati bilan ham bog'liq. Alohida quvurlardagi lokal korroziya butun quvurning ishlashini buzishi mumkin. Tajriba shuni ko'rsatadiki, quvurlar ko'pincha loyihalash muddati tugashidan oldin sezilarli darajada ishdan chiqadi. Biroq, ular ma'nan eskirmaydigan inshootlar bo'lib, ularning ishonchliligi va chidamliligi qo'llaniladigan himoya choralarining samaradorligi bilan belgilanadi [35-39].

O'rnatish hisob-kitoblariga ko'ra, quvurlar to'liq eskirishidan oldin 40 yil ishlashi kerak. Po'lat magistral quvurlari yuqori bosimli sig'imlar bo'lib hisoblanib (gaz quvurlarida 75 kgs/sm$^2$ va neft quvurlarida 60-64 kgs/sm$^2$), ular yonuvchan va yonuvchan mahsulotlarni tashiydi [38-39]. Yer osti quvurlari ishlashini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, ishdan chiqishning asosiy sababi quvurning tashqi yuzasining korroziyasi. Suv quvurlari gaz va isitish quvurlariga qaraganda ancha kam zarar ko'radi. Buning sababi shundaki, suv quvurlari odatda po'lat quvurlarga qaraganda to'rt baravar uzunroq bo'lgan quyma temir quvurlardan foydalanadi, ammo ular ancha kam nosozliklarga uchraydi. Barcha holatlarda quyma temir quvurlarda topilgan nuqsonlar adashgan toklarning korroziyasi natijasida yuzaga kelgan, po'lat quvurlarda esa buning sababi asosan tuproq korroziyasi bo'lgan.

Kimyo sanoatida barcha favqulodda ishlab chiqarish to'xtatilishlarining 60% gacha qismi uskunalarning korroziyasi bilan bog'liq [32, 40-42]. Ko'pgina metall konstruksiyalar uchun tiklash ishlari va himoya bo'yoq qoplamalarining narxi og'ir ish sharoitlarida ikki yildan keyin va yumshoqroq sharoitlarda 10 yildan keyin konstruksiyalarning o'z narxidan oshib keta boshlaydi.

Yaqinda metall korroziyasi tushunchasi ham kengaydi. Yaqin vaqtgacha korroziya asosan "zanglash", ya'ni metall materiallarning atrof-muhit bilan o'zaro ta'siri natijasida o'z-o'zidan yo'qotilishi, metall massasining yo'qolishi yoki rangining o'zgarishi (ko'rinadigan "zang") bilan birga kelishi tushunilgan. Hozirgi vaqtda asosiy e'tibor turli korroziya jarayonlari tufayli muhim komponentlardagi metallarning funksional xususiyatlarining yomonlashishiga qaratilgan [43-45].

Shunday qilib, mashinalar, uskunalar va qurilish konstruksiyalaridagi


ISSN 3030-3907

konstruktiv materiallarning korroziyasi butun dunyo bo‘ylab milliy iqtisodiyotning barcha sohalarida barcha turdagi uskunalar va konstruksiyalarning buzilishi va ishdan chiqishida kuchli omil bo‘lib kelgan va shunday bo‘lib qolmoqda. Iqtisodiy zarar jihatidan materiallarning, birinchi navbatda metallarning korroziyasi, faqat yirik tabiiy ofatlar va mahalliy urushlardan kelib chiqadigan zarar bilan solishtirish mumkin. Biroq, uning o‘ziga xos xususiyatlari – buzilish jarayonlarining hamma joyda mavjudligi, uzluksizligi va asta-sekinlik bilan sodir bo‘lishi – niqoblovchi omil bo‘lib, unga qarshi kurashda “odatlanish” effekti va “hushyorlikni susaytirish” ni keltirib chiqaradi. Shunga qaramay, korroziyaning tezligi, tabiati va tarqalish sharoitlari, oqibatlarning xavfi va jarayon mexanizmi jihatidan ko‘p qirrali tabiati turli xil faol va passiv himoya usullarini safarbar qilishni va har bir alohida holat uchun eng texnik va iqtisodiy jihatdan samarali bo‘lganlarini tanlashni talab qiladi.

Passiv ikkilamchi korroziyadan himoya qilishning asosiy turi qoplamalar bo‘lib, ularning asosiy funksiyasi “to‘siq”, ya’ni agressiv muhitning (suyuq, gazsimon yoki qattiq) konstruksiya yoki uskunaning asosiy materialiga kirishiga to‘sqinlik qiladi. Qoplamalar odatda boshqa funksiyalarni, jumladan, abrazivga qarshi, elektr izolyatsiya, kavitatsiyaga qarshi, dekorativ va boshq. birlashtiradi. Qoplamalar metall, silikat, keramik va organik kabi turli xil materiallardan tayyorlanishi mumkin. Polimer qoplamalarni o‘z ichiga olgan organik bo‘yoq va lak qoplamalari korroziyadan himoya qilish texnologiyasida eng keng qo‘llaniladi.

Hozirda barcha sanoati rivojlangan mamlakatlarda korroziyadan himoya qilishning samarali usullari va vositalarini ishlab chiqish bo‘yicha tadqiqotlar olib borilmoqda. Biroq, bu muammoga yagona yechim yo‘q. Korroziyadan himoya qilish bo‘yicha jahon tajribasi [1-6, 18-22] shuni ko‘rsatadiki, muhitlarning dastlab past agressivligini saqlash va kamaytirishga qaratilgan profilaktika usullari hamda korroziya ingibitorlari, himoya qoplamalari, korroziyaga chidamli metallar va qotishmalardan foydalanish va elektrokimyoviy himoya (katod yoki protektor) kabi maxsus himoya choralari samarali bo‘lishi mumkin. Korroziyaga qarshi kurashning har bir usuli ob’ektning ish sharoitlariga qarab o‘zining afzalliklari va kamchiliklariga ega. Masalan, korroziya ingibitorlari korroziya jarayonini sekinlashtirishi mumkin, bu esa uskunani 55-75 % himoya qiladi [42, 46-53]. Biroq, mexanik yuklar va agressiv muhitlarga bir vaqtning o‘zida ta’sir qilish sharoitida bu himoya usuli samarasiz. Qurilish konstruksiyalarida va yirik texnologik uskunalarda korroziyaga chidamli po‘lat va qotishmalardan foydalanish ularning yuqori narxi bilan cheklanadi.

Metalllarni korroziyadan himoya qilishning barcha mavjud usullari orasida, turli manbalarga ko‘ra [54-57], eng katta ulush (60% dan 90% gacha) lak-bo‘yoq qoplamalariga (LBQ) to‘g‘ri keladi, chunki ular nisbatan arzon, ommabop, eng


ISSN 3030-3907

katta tanlov erkinligini ta’minlaydi, ish holatida qo‘llash va saqlash oson. LBQ ning jahon ishlab chiqarishi yiliga taxminan 20 million tonnani tashkil etadi, shundan taxminan 30% Shimoliy Amerikada (AQSh, Kanada), 50% dan ortig‘i G‘arbiy va Sharqiy Yevropada, qolganlari Yaponiya va boshqa mamlakatlarga to‘g‘ri keladi. 1990-yillarga qadar mamlakatimiz LBQ ishlab chiqarish bo‘yicha dunyoda AQShdan keyin ikkinchi o‘rinni egallagan (yiliga ~3 million tonna). AQShda LBQ sarfi tuzilmasini tahlil qilish [54] shuni ko‘rsatdiki, maxsus maqsadli bo‘yoqlarni (ko‘priklar va sanoat inshootlarini bo‘yash) o‘z ichiga olgan qurilish bo‘yoqlarining ulushi 51% ni tashkil qiladi. Organik himoya qoplamalari sohasida qoplama hosil bo‘lishining asosiy qonuniyatlari va ilmiy asoslari va maksimal himoya xususiyatlariga erishish hali to‘liq ishlab chiqilmagan. LBQ qo‘llanilishidagi dolzarb muammolardan biri atrof-muhitdir, chunki uchuvchan erituvchilardan foydalanish atrof-muhitni (birinchi navbatda havoni) ifloslantiradi va qo‘llash jarayonida yong‘in va portlash xavfini oshiradi. Texnologik rol o‘ynaydigan erituvchilarni (aromatik birikmalar, ketonlar, efirlar) bo‘yoq va laklar tarkibidan chiqarish suvda dispersiyalangan bo‘yoqlar va laklar, yuqori qattiq tarkibli qoplamalar va kukunli materiallarni ishlab chiqish orqali amalga oshirilmoqda. Bo‘yoq va lak materialining universal turi yo‘q va, albatta, bo‘lishi ham mumkin emas, shuning uchun materialni tanlash, sirtni tayyorlash usuli va LBQ qo‘llash usuli har bir himoyalangan ob’ektning o‘ziga xos turi uchun optimallashtirilishi kerak. Har bir bo‘yoq va lak materialining eng samarali qo‘llanilish sohalari mavjud, ularning asosiy mezoni qoplamaning chidamliligi (xizmat muddati) hisoblanadi. Shuni ta’kidlash kerakki, bu ko‘pgina bo‘yoq va lak qoplamalari uchun juda uzoq emas: atmosfera sharoitida qoplamalarning himoya muddati o‘rtacha 3-5 yil, dengiz suvida 1-2 yil va agressivroq muhitda undan ham kamroq.

Bo‘yoq va lak qoplamalarining himoya ta’siri mexanizmi haqida turli xil qarashlar mavjud. Ko‘pgina tadqiqotchilarning fikriga ko‘ra [43, 48, 55-57], bu metall-plyonka chegarasida korroziya jarayonlarining to‘xtatilishi bilan belgilanib, bu quyidagilar bilan bog‘liq:

- qoplamaning agressiv muhitga diffuziya o‘tkazuvchanligining pasayishi;
- qoplamaning elektrokimyoviy xususiyatlari;
- qoplamaning metallga kimyoviy yoki elektrokimyoviy ta’siri;
- yopishishning o‘ziga xos ta’siri.

To‘siq va yopishqoq mexanizmlar bilan bir qatorda, xromat va qo‘rg‘oshin pigmentlari kabi elektrokimyoviy jarayonlarni sekinlashtiradigan maxsus moddalar ta’siridan kelib chiqadigan ingibitiv mexanizm ham mavjud.

Korroziyadan himoya qilishning to‘siq mexanizmi (g‘ovak bo‘lmagan qoplamalardan foydalanish) metall uchun uzoq muddatli himoya ta’minlay


ISSN 3030-3907

olmaydi, shuning uchun uni adgezion mexanizm bilan birgalikda ishlatish tavsiya etiladi [54]. Biroq, adgeziya bo‘yoq va lak qoplamalarining korroziyaga qarshi xususiyatlarini ta’minlashda asosiy rol o‘ynashi tasodif emas. Adgeziya o‘zaro ta’siri tufayli adsorbsiya jarayonlari natijasida metall yuzasining passivatsiyasiga erishiladi; anod reaksiyani ingibitorlash, korroziya mahsulotlarini olib tashlashni sekinlashtirish [56]. Qoplamaning qovushqoq-ligi va himoya xususiyatlarini oshirishning an’anaviy usuli antikorrozion gruntlardan foydalanish hisoblanadi. Biroq, bu odatda qattiq zanjirli polimerlar va oligomerlarda tayyorlangan gruntlarning yuqori ichki kuchlanishlarga ega ekanligini hisobga olmaydi, bu esa qoplamaning umumiy chidamliligini keskin pasaytiradi. Samaraliroq gruntlar yuqori elastik holatda ishlatiladigan quyi molekulalikauchuklardan tayyorlanadi, chunki ularning o‘zlari ichki kuchlanishlarga ega emas va ularni butun qoplama bo‘ylab butunlay yo‘qotadi. Bunday qoplamalar bardoshli va yaxshiroq himoya xususiyatlariga ega [58].

So‘nggi yillarda an’anaviy organik erituvchi asosidagi bo‘yoqlar va laklar ishlab chiqarishning pasayishi fonida, uzoq muddatli qoplamalarni ta’minlaydigan tejamkor, ekologik toza va energiya tejaydigan bo‘yoqlar va laklarning ulushi barqaror ravishda oshib bormoqda: kukunli qoplamalar, suvda eritiladigan LBQ, yuqori haroratli dispersiyaga ega qoplamalar va erituvchisiz oligomer-monomer qoplamalar. Ushbu qoplamalar uchun qiyosiy ko‘rsatkichlar 1.1-jadvalda keltirilgan.

**1-jadval**

**Lak-bo‘yoq materiallarining qiyosiy ko‘rsatkichlari [58]**

| LBM turlari | Ekologiya | Energiya tejalishi | Xizmat muddati | Iqtisod |
|---|---|---|---|---|
| 40-50% quruq qoldiqli an’anaviy | - | - | + | - |
| VSO li LBM (70%) | + | + | ± | + |
| Suvda eritiladigan | + | ± | ± | + |
| Kukunli | + | + | + | + |

Muayyan turdagi LBM iqtisodiy raqobatbardoshligi ko‘plab omillarga bog‘liq, jumladan, atrof-muhit va energiya jihatlari bilan bir qatorda, xom ashyo narxi, ishlab chiqarish va qo‘llash texnologiyasi darajasi, himoya va dekorativ xususiyatlari va qoplamaning uzoq umr ko‘rishi. Xom ashyo narxi odatda qoplamalarning umumiy narxining 80-85% ni tashkil qiladi, ammo qoplamalarning xizmat qilish muddatini uzaytirishga tobora ko‘proq e’tibor qaratilmoqda, bu esa ularning hozirgi qiymatini pasaytiradi.

Bino va inshootlardagi konstruktiv komponentlar uchun ularning katta hajmi


ISSN 3030-3907

va himoya talab qiladigan sirt maydoni tufayli xom ashyo narxi va qoplamalarning chidamliligi juda muhimdir. Shuning uchun yangi, arzon xom ashyolarni izlash va ularga asoslangan himoya qoplamalarini ishlab chiqish qurilish materiallari fanida dolzarb masala hisoblanadi. Neft bitumi va neft moylash materiallari shular jumlasidandir.

## FOYDALANILAGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Войтович В.А. Новые противокоррозионные материалы в строительстве./ Горький: Волго-Вятское издательство, 1980. 95 с.
2. трубопроводов от коррозии./М.: Гостоптехиздат, 1962. 150 с.
3. Колос, 1980. 400 с.
4. 19. 38. мелиоративных систем./М.: Колос, 1980. 140 с.
5. 1978.239 с. 6. 7. Козловская А.А. Изоляционные материалы для защиты магистральных Зузик Д.Т. Экономика водного хозяйства. Изд. 4-е перераб. и доп./ М.: Peneline corrosion beater «Anti-Corros».// Meth and Mater, 1984. 31, №
7. Р. Стрижевский И.В., Рейзин Б.П. Защита от коррозии трубопроводов и Лыков М.В. Защита от коррозии резервуаров, цистерн, тары и трубопроводов для нефтепродуктов бензостойкими покрытиями./ М.: Химия, Винарский В.Л. Защитные покрытия и футеровки в строительстве./ Киев: Будивельник, 1976. 176 с. Фокин М.Н., Емельянов Ю.В. Защитные покрытия в химической промышленности./М. Химия, 1978. 239 с. 157.
6. Кравцова В.Е. и др. Направления работ по противокоррозионной защите в химической промышленности. Обзорная информация./ М.: НИИТЭХР1М, 1983.41 с.
7. Томашев Н.Д. Теория коррозии и защита металлов./ М.: АН СССР, 1960. Стрижевский И.В., Дмитриев В.И. Теория и расчет влияния электрифицированной железной дороги на подземные металлические сооружения./М.: Стройиздат, 1967. 153 с.
8. Бабушкин В.И. Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа./ Киев: Выща школа, 1989. 166 с.
9. Емелин М.И., Герасименко А.А. Защита машин от коррозии в условиях эксплуатации./М.: Машиностроение, 1980. 224 с.
10. Шехтер Ю.Н., Крейн С.Э., Калашников В.П. Маслорастворимые сульфонаты./М.: Гостоптехиздат, 1963. 125 с.


ISSN 3030-3907

# СУРКОВЧИ ҚОПЛАМАЛАРИНИНГ КОРРОЗИЯГА ҚАРШИ ҲИМОЯДАГИ РОЛИ

**Эргашев Бехруз Шавкат ўғли**
***Бухоро давлат техника университети таянч докторанти,***
**Темиров Алишер Ҳошим ўғли**
***Бухоро давлат техника университети доценти***
**Фозилов Садриддин Файзуллаевич**
***Бухоро давлат техника университети профессори***

**Аннотатсия.** Ушбу мақолада сурковчи қопламаларнинг металл юзаларни коррозиядан ҳимоя қилишдаги роли таҳлил қилинади. Коррозия жараёнлари саноат ускуналари, қувур тармоқлари, резервуарлар ва металл конструксияларнинг хизмат муддатини қисқартирувчи асосий омиллардан бири ҳисобланади. Сурковчи қопламалар металл юзасида ҳимоя пардаси ҳосил қилиб, намлик, кислород, агрессив кимёвий муҳит ва электрокимёвий таъсирларнинг зарарли таъсирини камайтиради. Шунингдек, бундай қопламалар ишқаланишни пасайтириш, сиртнинг ейилишини камайтириш ва металл буюмларнинг эксплуататсион ишончлилигини оширишга хизмат қилади. Мақолада сурковчи қопламаларнинг таркиби, ҳимоя механизми, қўлланиш соҳалари ҳамда коррозияга қарши самарадорлигини ошириш омиллари ёритилган.

**Калит сўзлар:** коррозия, сурковчи қопламалар, металл юзаси, ҳимоя қатлами, электрокимёвий жараён, агрессив муҳит, ейилиш, саноат ускуналари.

**Аннотация.** В данной статье рассматривается роль смазочных покрытий в защите металлических поверхностей от коррозии. Коррозионные процессы являются одной из основных причин сокращения срока службы промышленного оборудования, трубопроводов, резервуаров и металлических конструкций. Смазочные покрытия образуют на поверхности металла защитную пленку, которая снижает воздействие влаги, кислорода, агрессивных химических сред и электрохимических процессов. Кроме того, такие покрытия способствуют уменьшению трения, снижению износа поверхности и повышению эксплуатационной надежности металлических изделий. В статье освещены состав, механизм защитного действия, области применения смазочных покрытий, а также факторы, влияющие на повышение их антикоррозионной эффективности.

**Ключевые слова:** коррозия, смазочные покрытия, металлическая поверхность, защитный слой, электрохимический процесс, агрессивная среда, износ, промышленное оборудование.


ISSN 3030-3907

**Abstract.** This article examines the role of lubricating coatings in protecting metal surfaces against corrosion. Corrosion processes are among the main factors that reduce the service life of industrial equipment, pipelines, storage tanks, and metal structures. Lubricating coatings form a protective film on the metal surface, reducing the harmful effects of moisture, oxygen, aggressive chemical environments, and electrochemical reactions. In addition, such coatings help decrease friction, minimize surface wear, and improve the operational reliability of metal products. The article discusses the composition, protective mechanism, application areas, and key factors that enhance the anticorrosion efficiency of lubricating coatings.

**Keywords:** corrosion, lubricating coatings, metal surface, protective layer, electrochemical process, aggressive environment, wear, industrial equipment.

**КИРИШ.**

Сўнгги йилларда, юқорида айтиб ўтилган турли материаллар учун анъанавий коррозияни назорат қилиш чоралари билан бир қаторда, сақлаш ва техник хизмат кўрсатиш сурковчи материаллари тобора муҳим аҳамият касб этмоқда. Бу махсус қўндирмаларни ўз ичига олган кенг тарқалган нефтни қайта ишлаш маҳсулотларидир.

Ёғда эрийдиган коррозия ингибиторлари [47-49,73-81]. Ушбу янги турдаги ҳимоя материали пластик композицияларга асосланган [82]. Пластик композицияларга асосланган қопламалар бўёқ ва лакларга нисбатан бир қатор афзалликларни тақдим этади:

- арзон нарх;
- сиртни тайёрлаш осонлиги;
- улар бир марталик ўтишда 1 мм гача қоплама қалинлигига эришиш имконини беради;
- заҳарли ва ёнувчан эритувчиларнинг йўқлиги;
- таркибга коррозия ингибиторларини киритиш орқали ҳимоя хусусиятларини яхшилаш қобилияти.

Енгил юкламалар остида бу материаллар қаттиқ моддалар каби ишлайди: улар ўз оғирлиги остида оқмайди ва вертикал сиртларга ёпишади. Кучланишлар қопламаларнинг силжиш ёки чўзилиш кучидан ошиб кетганда, улар аномал қовушқоқ суюқликлар каби оқишни бошлайди. Бундай материаллардаги қаттиқ ва суюқ хусусиятларнинг қулай комбинацияси уларни кенг қўллашга, шу жумладан коррозиядан ҳимоя қилиш учун ҳам имкон беради.

Пластик композитларнинг асосий компонентлари суюқ асос (дисперсион муҳит) ва қаттиқ қуюқлаштирувчи (дисперс фаза) [83-86] ҳисобланади. Суюқ асос сифатида турли хил минерал, ўсимлик ва синтетик


ISSN 3030-3907

мойлар ишлатилади.

Дисперс фазада барқарор структуравий тизим ҳосил қила оладиган моддалар, масалан, парафинлар, церезинлар, мумлар ва юқори молекуляр оғирликдаги ёғ кислота тузлари қуюқлаштирувчи сифатида ишлатилади. Юқори ҳароратларда бу моддалар мойларда эрийди; совиганида улар уч ўлчовли структуравий рамка ҳосил қилади, унинг ҳужайралари суюқ фазани – мойни сақлаб қолади. 100 йилдан ортиқ вақт давомида металл қисмларнинг коррозиясини олдини олиш учун углеводород сурковчи – вазелин ишлатилган. Ушбу сурковчи турли номлар билан танилган: себонат, вазелин, замбарак мойи ёки нефт мойи ва ҳок. Ҳозирги вақтда замбарак мойи (УНЗ), ПВК, ВНИСТ-2, ПП-95/5, УН, ВТВ-1 ва ГОИ-54 каби углеводород мойловчилари саноат миқёсида ишлаб чиқарилмоқда [81, 87]. Ҳимоя пластик сурковчиларнинг асосий хусусиятлари 1.2-жадвалда келтирилган.

**1.2-жадвал**

**Ҳимоя пластик сурковчиларнинг асосий хусусиятлари**

| Сурковчи | Таркиби | Ҳарорат, °С | | Силжишдаги мустаҳкамлик, кПа, 20°С да |
|---|---|---|---|---|
| | | капле-падения | приме-нения | |
| ПВК | Петролатум - 60-70%<br>Асос мойи ДС-11 - 25-35%<br>Церезин - 3-5%<br>МНИ-7 қўндирмаси -1% | 64 | 45 | 1,5-2,5 |
| ВНИИСТ-2 | Петролатум - 20-30%<br>Консервацион мой НГ-204У-20-30%<br>Соя мойи «3» - 54-60% | 25-60 | 45 | 0 |
| Техник вазелин ВТВ-1 | Урчуқ мойининг АУ церезин ва парафин (6:2:1) билан аралашмаси<br>МНИ-7 -1% қўндирмаси<br>Полиизобутилен П-85 | 50 | 45 | 1,0 |
| АМС-1 | Цилиндр оғир мойи, алюминий совуни -12% | 85 | 65 | 0,1-0,2 |
| ЗЭС | Цилиндр оғир мойи, алюминий совуни -12%, Петролатум - 6% | 105 | 80 | 0,5 |


ISSN 3030-3907

Пластик сурковчиларнинг асосий хусусиятларини таҳлил қилиш шуни кўрсатадики, ПВХ сурковчилари металл конструкцияларни кимёвий ишлов бериш муҳитида атмосфера коррозиясидан ҳимоя қилишда энг истиқболли ҳисобланади. Улар мақбул иш ҳароратини таклиф қилади ва энг юқори қоплама мустаҳкамлигини таъминлайди. Бироқ, коррозияга қарши технологияларда кенг қўлланилиши учун уларнинг иссиқликка чидамлилигини, қовушқоқлигини, ингибиторлик хусусиятларини ва сувни сиқиб чиқариш қобилиятини ошириш, декоратив хусусиятларини яхшилаш ва ҳимоя қилинадиган сирт учун механизациялашган қўллаш усулларини ишлаб чиқиш зарур.

Коррозия ингибиторларининг киритилиши металлда хемосорбцион қатламни яратади [87]. Ингибиторланмаган сурковчи плёнкалари билан бир хил қалинликдаги ингибиторланган сурковчи плёнкалари металлда умумий қутбланиш қаршилигини сезиларли даражада юқори кўрсатади, кейинги таъсир эффектини беради ва ҳимоя хусусиятларининг сезиларли юқори даражасини белгилайди.

Маълумки, [80] пластик композицияга асосланган қопламанинг нархи кўп қатламли бўёқ ва лак қопламасига қараганда етти баравардан кўпроқ паст.

Етакчи нефт-кимё ва нефтни қайта ишлаш фирмалари йилига 300 000 дан 500 000 тоннагача ёғда эрийдиган коррозия ингибиторлари ва йилига юз миллионлаб тонна ингибиторланган ёқилғи, мойлар, сурковчи материаллар ва махсус суюқликлар ишлаб чиқаради [29,48,73-80,84]. Шу билан бирга, ҳимоя нефт маҳсулотлари ишлаб чиқариш ҳажмининг ўсиши, шунингдек, ёқилғи-мойлаш материаллари ассортиментида сифат ўзгаришлари кузатилмоқда.

Металл коррозиясига қарши курашда энг муҳим воситалардан бири янги турдаги ҳимоя сурковчилар – плёнка ҳосил қилувчи ингибиторланган нефт бирикмалари (ПИНС) ҳисобланади [49, 76-80, 82, 88]. ПИНС юқори молекуляр плёнка ҳосил қилувчи нефт маҳсулотларига асосланган вақтинчалик коррозияга қарши ҳимоя воситаси бўлиб, улар коррозия ингибиторлари ва эритувчилар қўшилган (ГОСТ 9.13-78). Чет элда шунга ўхшаш бирикмалар кўпинча ҳимоя суюқликлари ёки шунчаки суюқликлар (масалан, Ensis Fluid) деб аталади. ПИНМ ларнинг таркиби ва мақсадлари жуда хилма-хил.

Эритувчи буғлангандан сўнг, маҳсулотнинг шаклланган плёнкаси металлда қолади. Ушбу қолдиқ маҳсулот, хусусиятлари ва ишлатилиши жиҳатидан, полимер ва мум бўёқ плёнкаларига ўхшаш қаттиқ ёки ярим қаттиқ композициялар, шунингдек, турли хил консистенцияларга эга пластик


ISSN 3030-3907

сурковчилар ёки ингибиторланган минерал ёки синтетик мойлар бўлиши мумкин [75-77, 81-87, 89].

Олинмайдиган, изоляцияловчи зоналанган бўёқлар ва лаклар, полимер материаллар, битум мастикалар ва мум композицияларидан фарқли ўлароқ, плёнка ҳосил қилувчи ингибиторланган нефт бирикмалари нафақат бўялмаган ва бўялган ташқи сиртларни, балки турли ишқаланиш бирликларига эга мураккаб металл буюмларни ҳам ҳимоя қилиш, нам ва ҳўл сиртларни ва бўёқ қопламаларидан фойдаланиш умуман имконсиз бўлган яширин ички профилларни сақлаш учун ишлатилиши мумкин бўлган фаол ингибиторланган сурковчилар бўлиб ҳисобланади.

Плёнка ҳосил қилувчи нефт бирикмаларининг айрим турлари ишчи-консервацион сурковчи материаллар бўлиб хизмат қилади, ёки нефт маҳсулотлари, нефт-сув тизимлари, эмульсиялар ва бўёқлар ва лакларга қўшимча сифатида ишлатилади. Эритувчилар (нефт, углеводород, хлорорганик бирикмалар ёки сув), махсус танланган қуюқлаштирувчилар ва ёғда эрийдиган коррозия ингибиторларининг катта миқдори ПИНС нинг анъанавий ҳимоя мойлари, сурковчилари ёки эмульсолларига нисбатан қуйидаги хусусиятлари ва афзалликларини таъминлайди [75, 76, 78-80]:

- ҳаво ёки ҳавосиз пуркаш (пульверизация), ботириш ёки чўтка билан суртиш қулайлиги;

- юпқа плёнкада юқори ҳимоя хусусиятлари (плёнка қалинлиги 20-50 мкм бўлганида, улар ингибиторланган мойлар ва пластик сурковчи материалларига қараганда бир ёки икки даража самаралироқ: 100-200 мкм да улар 5 мм гача қалинликдаги пластик сурковчиларга қараганда яхшироқ ҳимоя қилади);

- металлдаги микробўшлиқларга, микроёриқларга ва микронуқсонларга кириш; контакт, чуқурчалар ва ёриқлар коррозиясига қарши самарадорлик; стресс-коррозия ёрилиши ва чарчоқ; панжара коррозияси; машина ва механизмларда ишқаланиш коррозияси;

- зич консервацион сурковчилардан фарқли ўлароқ, металл юзасидан сувни сиқиб чиқариш қобилияти, консервациялашсиз ташқи консервация учун.

ПИНС қўлланилиши бўйича таснифланади (консервацион “К” ва ишчи-консервацин “РК”). Муайян қўлланилишларни таъкидлаш учун баъзан хорижий маҳсулотлар номларига ва маҳаллий таснифларда “Шасси” индекси қўшилади, бу маҳсулот автомобил кузов ости учун мўлжалланганлигини кўрсатади. Ушбу ПИНС тоифаси яна беш гуруҳга бўлинади:

- Д-1 гуруҳи; ушбу гуруҳдаги маҳсулотлар стационар йирик металл конструкциялар, автомобил, қишлоқ хўжалиги ва умумий техника, қувурлар,


ISSN 3030-3907

ускуналар ва бошқ. ҳимоя қилиш учун очиқ жойларда жойлашган металл буюмларни узоқ муддатли ташқи сақлаш учун мўлжалланган.

- Д-2 гуруҳи; ушбу гуруҳдаги маҳсулотлар Д-1 гуруҳидаги маҳсулотларга қараганда кенгроқ қўлланилиш доирасига эга ва металлда юпқароқ плёнкалар ҳосил қилади. Улар деярли барча турдаги металл буюмларни сақлаш, ташиш ва даврий ва узлуксиз ишлатишда кенг қўлланилади.

- МЛ-1 гуруҳи; ушбу гуруҳдаги маҳсулотлар металл буюмларнинг яширин ва кириш қийин бўлган ички юзаларини, асосан автомобил ускуналарининг яширин юзаларини: ён элементлар, поллар, устунлар, эшик ички қисмлари, фаралар ва бошқаларни ҳимоя қилиш учун мўлжалланган.

- МЛ-2 гуруҳи; Ушбу гуруҳдаги маҳсулотларнинг мақсади МЛ-1 гуруҳидаги маҳсулотларга ўхшаш, аммо таркиби тиксотропия ва томчи тушиш нуқтаси юқорироқ қийматларига эга.

- “3” гуруҳи; ушбу гуруҳдаги маҳсулотлар металл листлар, прокат маҳсулотлари, станоклар, асбоблар ва ўрта ва кичик металл буюмларни операцияларараро сақлаш пайтида эҳтиёт қисмлар ва ярим тайёр маҳсулотларни ҳимоя қилиш учун мўлжалланган.

Плёнка ҳосил қилувчи шифрланган нефт бирикмаларининг хусусиятларини таснифлашда умумий функционал хусусиятлар эритувчидаги ва фаол модданинг (“қуруқ қолдиқ”) хусусиятларига бўлинади. ПИНСнинг умумий функционал хусусиятлари, ҳар қандай нефт маҳсулоти каби, маҳсулотнинг умумлаштирилган фойдали функцияси сифатида тушунилади, яъни унинг барча хусусиятларининг йиғиндиси, зарур ва етарли тўлиқлик ва ишончлилик билан тавсифланади, бу маҳсулотнинг ўзига хос қўлланилишини ва металл маҳсулотларини ҳимоя қилиш кафолат муддатларини таъминлайди. ПИНСнинг хусусиятларини тавсифлаш ва баҳолаш, математик моделлаштириш усуллари ва тажрибани режалаштириш, шунингдек, уларнинг таркиби, хусусиятлари, ишлаб чиқариш технологияси ва қўлланилишини оптималлаштириш мақсадида идеал ва реал ПИНС таққослаш стандартлари ва хусусиятлар, тоифалар ва ҳодисаларни нисбий баҳолаш тизими тушунчалари киритилади.

Қўллаш усули бўйича ПИНСнинг тўрт тури ажратилади:

- С - ёнувчан органик эритувчилар ёрдамида қўллаш;
- Т - ёнмайдиган (хлорли ёки фторли органик эритувчилар) ёрдамида қўллаш;
- Д - коллоид сувли эритмалар ёки эмульсиялар сифатида қўллаш (сув-эмульсия ПИНС);
- Н - аэрозоллар сифатида қўллаш.

Ингибиторланган нефт бирикмаларининг айрим турлари абразив


ISSN 3030-3907

чидамлиги ва атмосферага чидамлиги (ёмғир, қор, шамол, қуёш нурланиши) бўйича махсус мастикалар ва бўёқ қопламалари билан таққосланадиган чидамлиликни таъминлайди ва пластик сурковчиларга қараганда анча устун туради. ПИНСлар аэрозол қадоқлашнинг (айниқса, турли сиғимдаги банкалар ва пуркагичларнинг) ривожланиши туфайли чет элларда кенг қўлланилади. Аэрозол қадоқлашдаги деярли барча турдаги мойлаш материаллари ПИНС сифатида таснифланиши мумкин, чунки улар таркибида эритувчи ва ташувчи (пропеллент) мавжуд.

ПИНС таркибига, кўп миқдорда ёғда эрийдиган сирт фаол моддаларни (50-70% гача), жумладан, анъанавий ёки фторланганларни, шунингдек, молибден дисульфиди ва графит каби фаол тўлдирувчиларни ва модификацияланган силикагеллари каби қуюқлаштирувчиларни сирт ва ҳажмли таъсирга эга бўлган ҳолда қўшиш қобилияти ҳимоя, мойлаш, абразивга қарши ва экстремал босим хусусиятларига эга сурковчиларни ишлаб чиқиш имконини беради. Бу материаллар алоҳида ёки мойларга қўндирма, сурков-совитувчи суюқликларига, қуюқлаштирилган бирикмаларга ва бошқ. қўшимча сифатида ишлатилади.

Плёнка ҳосил қилувчи ингибиторланган бирикмаларнинг баъзи турлари бўёқ, лак, битум ва мум қопламаларининг шикастланган (ва шикастланмаган) юзаларини қўшимча ҳимоя сифатида жуда самарали ҳисобланади. Изоляция қилувчи ва фаол, сингдирувчи, ингибиторланган бирикмаларнинг синергик таъсири металл маҳсулотларининг кафолат муддатларини сезиларли даражада ошириш учун янги имкониятларни очади. Плёнка ҳосил қилувчи ва ингибиторланган нефт бирикмаларини ишлаб чиқиш ва саноат ишлаб чиқариш 1950-60 йилларда бошланган, аммо сўнгги йилларда айниқса тез ўсишга эришди. Чет элда плёнка ҳосил қилувчи ва ингибиторланган нефт бирикмаларининг йиллик ишлаб чиқариш ҳажми ҳозирда юз минглаб тоннани ташкил этади, бу пластик сурковчиларнинг умумий ишлаб чиқариш ҳажмидан анча юқори ва ҳажми бўёқ ва лаклар ишлаб чиқариш билан деярли тенг [75-77].

Плёнка ҳосил қилувчи ва ингибиторланган нефт бирикмалари ассортименти юзлаб маҳсулотларни ўз ичига олади. Кўпгина компаниялар уларни ишлаб чиқаришга ихтисослашган ҳолда барча турдаги ва синфдаги плёнка ҳосил қилувчи ингибиторланган нефт бирикмаларини ишлаб чиқаради [93].

Энг кўп ишлатиладиган қопламалар Valvoline Oil Company (АҚШ) ва унинг Европа заводлари томонидан ишлаб чиқарилган Tectyl серияси, Witco Chemical (АҚШ) томонидан ишлаб чиқарилган SACI сериясидир [94]. 50 тагача бўлган турли хил Tectyl брендлари таркиби ва мақсади жиҳатидан


ISSN 3030-3907

фарқ қилади. Улар орасида қуйидаги гуруҳларни ажратиш мумкин:
Эмулсификацияловчи коррозияга қарши восита (Tectyl 810);
Коррозияга қарши мойлар (Тестйл 861, 873, 884, 900);
Коррозияга қарши суюқликлар ёки ПИНС (Tectyl 121Б, 122, 213, 309, 400, 502, 506, 511);
Коррозияга қарши сурковчилар (Tectyl 858С);
Иссиқ суртиш учун қаттиқ коррозияга қарши воситалар (Tectyl 435, 437).

Tectyl сериясидаги маҳсулотларнинг ПИНС билан боғлиқ турли навлари таркиби ва мақсади жиҳатидан фарқ қилади. Улар автомобил остини (122А), очиқ ҳавода сақланадиган транспорт воситаларининг ташқи юзаларини (506), гидравлик тизимларни (502С), сайқалланган юзаларни (511М), дағал ишлов берилган қуйма темир ва пўлат юзаларни (121), клапанларни, поршенларни, муфталарни (400Д, 400С), ички металл буюмларни (400В), гальваник қопламали буюмларни (151 А), асбобларни, валларни, қувурларни, эҳтиёт қисмларни (164А), эшикларнинг ички юзаларини, қути бўлинмаларини ва транспорт воситаларининг бошқа кириш қийин бўлган жойларини (309А МЛ), гайкаларни, болтларни (890) консервациялаш учун ишлатилади. Tectyl 472 оғирроқ турдаги коррозияга қарши бирикмалар учун грунтовка бўлиб хизмат қилиши мумкин.

SACI консервацион материаллари концентрат шаклида ишлаб чиқарилади: SACI-100, SACI-200, SACI-300 ва SACI-700. SACI-100 ва SACI-300 таркибида органик эритувчи мавжуд ва улар қисқа муддатли ташқи ҳимоя ёки узоқ муддатли ички ҳимоя учун ишлатилади. SACI-700 – бу эритувчи билан суюлтирилгандан сўнг, қисқа муддатли ички сирт ҳимояси учун ишлатиладиган концентрат. SACI-200 таркибида 100% учувчан бўлмаган моддалар мавжуд; учувчан эритувчи минерал мой билан алмаштирилади; у ускунани иш пайтида ҳимоя қилиш учун ишлатилади.

Бошқа хорижий компаниялар ҳам ПИНС ишлаб чиқаради: Kalubroil (Италия) металл буюмларни ички ва ташқи сиртда, шунингдек, денгиз транспортида узоқ муддатли ҳимоя қилиш учун ишлатиладиган Rustline-AC-21, AC-25 ва AC-30 серияли маҳсулотларни ишлаб чиқаради. Protet серияси шунингдек, автомобил кузов қисмларини (В 800), жуда оғир шароитларда сақланган маҳсулотларни (68/85), ярим тайёр маҳсулотларни узоқ муддатли ҳимоя қилиш (117/16; В), пўлат ва қуйма темир буюмларнинг нам ва ҳўл юзаларини сақлаш (192/21) ва очиқ ҳавода сақлаш пайтида маҳсулотларни (Ф) ҳимоя қилиш учун ҳам қўлланилади. Бошқа бир компания, Milloil (Италия), эҳтиёт қисмларни қадоқларда ёки бино ичида ҳимоя қилиш учун сув асосидаги композиция ишлаб чиқаради.

Ҳатто қўшимча ҳимоясиз ва қўллаш технологиясига мукаммал риоя


ISSN 3030-3907

қилинган юқори сифатли бўёқлар ва лаклар ҳам 1,5-3 йил давомида коррозиядан ҳимоя қилади; ПИНС қўшимча ҳимояси билан бу муддат икки-уч баравар оширилади.

Денгиз нефт конлари иншоотлари, электр узатиш линиялари, реле узатмалари, гидравлик иншоотлар, металл кўприк устки тузилмалари, қора ва рангли металлургия заводларидаги ускуналарни, кимё ва кокс заводларини, ер усти ва ер ости газ ва нефт қувурларини ва бошқ. коррозиядан ҳимоя қилиш учун плёнка ҳосил қилувчи ингибиторланган нефт бирикмаларидан фойдаланишда катта тажриба мавжуд. Ушбу бирикмаларнинг айрим турларини нефт қазиб олиш жараёнида нефт-сув тизимларида, сурков-совитиш суюқликларида, қозон ва кема ёқилғиларида, технологик мойларда ва сурковчиларда, шунингдек, изоляция ва бўёқ материалларида қўшимчалар сифатида қўллаш алоҳида қизиқиш уйғотади [95-97].

Машина ва механизмларнинг ишончлилиги ва чидамлилигини умумий баҳолашда, ишқаланиш жуфтлари ва металл буюмларнинг ейилишини баҳолашда коррозия ва коррозия-механик ейилиш турлари масалалари тобора муҳим аҳамият касб этмоқда. Шунинг учун ёқилғи ва сурков материалларининг ҳимоя хусусиятларини яхшилаш, янги маҳсулотларни - ПИНСни ишлаб чиқиш ва жорий этиш химмотологиянинг муҳим таркибий қисми бўлиб ҳисобланади [89,97,98].

1950- ва 1960-йилларда асосий ҳимоя нефт маҳсулотлари битум ва оғир мойлаш материаллари бўлиб, бу тўғридан-тўғри коррозия йўқотишларини маълум даражада камайтиришга ёрдам берди. Масалан, ўртача ички ёниш двигателини ПВХ мойлаш материаллари билан сақлаш учун 30-40 киши-соат, демонтаж қилиш, тозалаш ва йиғиш учун эса 120 киши-соат керак бўлди [303- Кўпгина двигателлар 2-3 ой кафолатланган сақлаш муддати билан анъанавий мойлар билан ҳимояланган [28].

1960 ва 1970-йилларда ингибиторланган консервация мойлари (К-17; НГ-203 А, Б ва В; НГ-204У; НГ-208), коррозияга қарши қўшимчалар қўшилган мойлар (АКОР-1, КН), махсус мойлар ва суюқликлар (НГ-210, НГ-217У, НГ-213), ингибиторланган ҳимоя мойларининг янги турлари (ЗЕС, ВНИСТ, М3, ВНИИНП-267 ва бошқалар) кенг қўлланилди [29, 30, 48, 73, 74]. Ушбу маҳсулотлардан фойдаланиш, асосан, ускуналарни консервация қилиш ва консервациядан чиқариш харажатларининг камайиши билан боғлиқ тўғридан-тўғри йўқотишларнинг камайиши туфайли сезиларли иқтисодий самара берди. Ускуналарни ҳимоя қилиш кафолат муддатлари маҳсулот турига ва уни сақлаш ва ишлатиш шартларига қараб 2-6 ойдан 3-8 йилгача оширилди [74]. Ҳозирги вақтда ушбу маҳсулотлар умумий муҳандислик


ISSN 3030-3907

ускуналари, кичик, ўрта ва йирик металл буюмлари, алюминий ва магний қотишмаларидан тайёрланган ярим тайёр маҳсулотлар, қишлоқ хўжалиги техникаси, заводларда операцион ҳимоя ва бошқалар учун ишлаб чиқилган интеграциялашган ҳимоя тизимларининг асосини ташкил этади ва “Коррозия ва эскиришдан ҳимоя қилишнинг ягона тизими” нинг тегишли стандартларига киритилган (масалан, ГОСТ 9.014-78, ГОСТ 7751-79, ГОСТ-9028-80, ГОСТ 9011-79, ГОСТ 9.016-80 ва бошқалар).

СССРда ва чет элларда 1980 ва 1990-йилларда ишчи-консервация, ёқилғи-сурков материаллари ва махсус суюқликлар асосий ҳимоя воситалари бўлган, плёнка ҳосил бўлишини ингибиторлаган нефт бирикмалари эса ташқи ва ички сақлаш учун ишлатилган [75-77].

Бироқ, энг кенг тарқалган дисперсия муҳити бўлган нефтга асосланган сурков материаллари оғир иш шароитларида керакли самарадорликни таъминламайди ва фақат қисқа муддатли коррозиядан ҳимоя қилади. Бундан ташқари, нефтга асосланган сурков материаллари ёнувчан ва заҳарли эритувчиларни ўз ичига олади, бу эса ёнғин хавфини оширади ва экологик хавф туғдиради. Синтетик суюқликлар сурков материаллари хусусиятларини сезиларли даражада яхшилайди [85, 86], аммо улардан фойдаланиш юқори нарх ва танқислик билан чекланган.

Қурилиш конструкцияларида ҳимоя қопламалари учун асосий талаб атмосфера шароитларига узоқ муддатли (йиллар ва ўн йилликлар) қаршилик кўрсатишдир [99]. Нефт сурков материаллари асосан қуйи молекулали оғирликдаги углеводородлардан иборат. Шунинг учун, атмосферада узоқ вақт фойдаланиш пайтида қуёш нурланиши ва атмосфера кислородига таъсир қилиш учувчан фракцияларнинг қисман буғланишига, парчаланишига ва структуравийлашишига олиб келади. Бу қисқариш ёриқларига, қопламанинг узилиши ва ҳимоя хусусиятларининг йўқолишига олиб келади.

Шу нуқтаи назардан, юқори босимли (паст зичликли) полиэтилен ишлаб чиқаришнинг қўшимча маҳсулоти бўлган қуйи молекулали полиэтилен (ҚМПЭ) асосидаги қуримайдиган мастикалар, хусусан, Қозон Оргсинтез ишлаб чиқариш бирлашмаси (учта маркада) томонидан, шунингдек, ТУ 6-05-1837-82 га мувофиқ Гурев ва Новополотск шаҳарларида ишлаб чиқариладиган турлари, бизнинг фикримизча, жуда истиқболли ва ҳимоя қопламаларида фойдаланиш учун тежамкор кўринади. Ушбу ТУлар сўнгги йилларда олти марта қайта кўриб чиқилди, уларнинг энг сўнггиси, 2002 йил 1 июльда, асосий таркибда сезиларли ўзгаришларсиз, уларнинг амал қилиш муддати 2003 йил 31 январгача узайтирилди. “Казаноргсинтез” ОАЖ томонидан ишлаб чиқарилган учта ҚМПЭ навлари (1, 2 ва 3) орасида, дастлабки тажрибаларимиз кўрсатганидек, оч кулранг, пастага ўхшаш масса


ISSN 3030-3907

бўлган ҚМПЭ-2 қопламалар учун энг истиқболли ҳисобланади. У ҚМПЭ-1 (суюқ, глицеринга ўхшаш масса) ва ҚМПЭ-3 (парафинга ўхшаш қаттиқ мум) дан нормал ҳароратдаги пластиклиги ва ҳар қандай қаттиқ, қуруқ юзага юқори адгезияси билан фарқ қилади. ҚМПЭ-3 эритилган қопламалар ишлаб чиқаришга қодир бўлса-да, унинг ҳар қандай турдаги (ғовакли қопламалардан ташқари) тагликларга адгезияси минимал ва совутганда улар кристалли қисқариш туфайли ёрилиб кетади. ҚМПЭ навлари молекуляр оғирлиги, эриш нуқтаси, қовушқоқлиги ва консистенцияси жиҳатидан фарқ қилади. Умуман олганда, ҚМПЭ узоқ вақтдан бери полиэтилен мумлари ва пастага ўхшаш суюқликлар кўринишида молекуляр оғирлиги 10 000 дан паст бўлган мустақил маҳсулот сифатида танилган [100].

Бизнинг фикримизча, қурилиш конструкцияларида коррозияга қарши сурков қопламалари учун асос сифатида қуйи молекулалиоғирликдаги полиэтилендан (ҚМПЭ) фойдаланиш унинг бир қатор ижобий хусусиятларига боғлиқ бўлиши мумкин: турли материалларга адгезия, сувга чидамлилик ва гидрофобликнинг юқори даражаси, қайта ишлаш қулайлиги, оч ранг (пигментацияга имкон беради), шунингдек, арзонлиги, оммабоплиги ва заҳарли эмаслиги.

Бироқ, ҚМПЭ-2 эритмалари иш ҳароратига қадар совутилганда, қисқариш содир бўлади, бу баъзи ҳолларда тагликдан микроёриқлар ва қопламанинг қатламланиб ажралишига олиб келади. Бундан ташқари, ушбу материалдан узоқ муддатли фойдаланиш учун юқори ҳарорат чегараси +70°C билан чекланган.

Шунинг учун, ушбу камчиликларни камайтириш ёки бартараф этиш учун қуйи молекулалиоғирликдаги полиэтиленни модификациялаш керак, шу билан юқори ҳимоя ва қовушқоқ хусусиятларга эга технологик жиҳатдан илғор материалларни ишлаб чиқариш муаммосини ҳал қилиш керак.

## ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. Сафрончик В.И. Защита от коррозии строительных конструкций и технологического оборудования. Л.Стройиздат, 1988. 251 с.
2. Голубев А.И., Шляфиргер А.М., Эффективные способы защиты металлических конструкций от коррозии в процессе эксплуатации// Промышленное строительство, 1982, № 2 С. 18-20.
3. Защита строительных конструкций и технологического оборудования от коррозии. Справочник строителя (Орлов А.М., Чекулаева Е.И., Соколов В.А. и др.) Под редакцией Орлова А.М. М.: Стройиздат, 1989. 256 с.
4. Фиалковский Я., Игнатович Б., Квятковский А. Антикоррозионная защита в промышленном строительстве/ М.: Стройиздат, 1981. 256 с.


ISSN 3030-3907

5. Бадовака В. и др. Антикоррозионная защита зданий/ М.: Стройиздат, 1978. 508 с.
6. Трегуб В.Д. Проектирование антикоррозионной защиты строительных конструкций/ Киев: Будивельник, 1984. 72 с.


ISSN 3030-3907

# METALL YUZALARNI KORROZIYADAN HIMOYA QILISH UCHUN MODIFIKATSIYALANGAN BITUM-POLIMER MASTIK QOPLAMALARNI ISHLAB CHIQISH

**Murodov J.M.**
*Buxoro davlat texnika universiteti tayanch doktoranti*
**Temirov A.H.**
*Buxoro davlat texnika universiteti dotsenti*
**Ataullayev Sh.N.**
*Buxoro davlat texnika universiteti dotsenti*

**Annotatsiya.** Metall konstruksiyalarni korroziyadan himoya qilish ko‘plab sanoat tarmoqlari uchun muhim muammo bo‘lib qolmoqda. So‘nggi yillarda modifikatsiyalangan bitumni epoksid smola bilan birlashtirish korroziyaga qarshi himoyani kuchaytirishning istiqbolli yo‘nalishi sifatida namoyon bo‘ldi. Ushbu yangi kompozitsion material korroziyaning zararli ta’sirlarini oldini olishda yuqori samaradorlikni namoyon etib, muhim infratuzilma ob’ektlari, sanoat jihozlari va turli metall yuzalarni muhofaza qilish uchun innovatsion yechim taklif etadi. Modifikatsiyalangan bitum va epoksid smolaning birikmasidan hosil bo‘lgan sinergetik xususiyatlar yuqori mustahkamlik, kimyoviy ta’sirlarga chidamlilik hamda konstruksion barqarorlikni ta’minlash imkoniyatini yaratib, korroziyaga qarshi qoplamalar sohasida yangi yutuqlarga asos bo‘lmoqda Ushbu ilmiy maqolada mazkur kompozitsion materialning korroziyaga qarshi samarali to‘siq sifatidagi xususiyatlari, ta’sir mexanizmi va qo‘llanish imkoniyatlari o‘rganilgan bo‘lib, uning korroziyani kamaytirish strategiyalaridagi ahamiyati yoritib berilgan. Tadqiqotda bitum ELM-NG900Z markali epoksid smola va qattiqlashtirgich yordamida mos ravishda 1.0:5:1.5 nisbatda modifikatsiya qilindi. Keyinchalik modifikatsiyalangan bitum mexanik va erituvchi moddalar ta’siri bo‘yicha sinovlardan o‘tkazildi. Sinov natijalariga ko‘ra, modifikatsiyalangan bitum namunalari barcha tekshiruvlardan muvaffaqiyatli o‘tib, etalon namunaga (bitumsiz epoksid smolaga) nisbatan yaxshiroq ko‘rsatkichlarni namoyon qildi.

**Kalit so‘zlar:** Bitum-epoksid smola, bitum, epoksid smola, korroziya.

**Аннотация.** Защита металлических конструкций от коррозии остается одной из важнейших задач во многих отраслях промышленности. В последние годы сочетание модифицированного битума с эпоксидной смолой стало перспективным направлением для повышения эффективности антикоррозионной защиты. Данный новый композиционный материал демонстрирует высокий потенциал в предотвращении разрушительного воздействия коррозии, предлагая инноватsionное решение для защиты объектов инфраструктуры, промышленного оборудования и различных металлических поверхностей. Синергетический эффект, возникающий при


ISSN 3030-3907

сочетании модифицированного битума и эпоксидной смолы, обеспечивает повышенную прочность, устойчивость к химическим воздействиям и конструкционную надежность, способствуя развитию современных антикоррозионных покрытий. В данной научной статье исследованы свойства этого композиционного материала как эффективного барьера против коррозии, рассмотрены механизмы его действия и возможные области применения, а также показана его значимость в стратегиях снижения коррозионного воздействия. В ходе исследования битум был модифицирован эпоксидной смолой марки ELM-NG900Z и отвердителем в соотношении 1,0:5:1,5 соответственно. Полученный модифицированный битум был подвергнут механическим испытаниям и испытаниям на стойкость к воздействию растворителей. Результаты показали, что образцы модифицированного битума успешно прошли все испытания и продемонстрировали лучшие показатели по сравнению с эталонным образцом (эпоксидной смолой без битума).

**Ключевые слова:** битумно-эпоксидная смола, битум, эпоксидная смола, коррозия.

**Abstract.** The protection of metallic structures against corrosion remains a critical challenge across numerous industries. In recent years, the combination of modified bitumen with epoxy resin has emerged as a promising approach for enhancing corrosion protection. This novel composite material demonstrates significant potential in preventing the harmful effects of corrosion, offering an innovative solution for protecting vital infrastructure, industrial equipment, and various metallic surfaces. The synergistic properties resulting from the combination of modified bitumen and epoxy resin provide enhanced mechanical strength, chemical resistance, and structural stability, thereby contributing to the advancement of anti-corrosion coating technologies. This scientific study investigates the characteristics of this composite material as an effective barrier against corrosion, examines its mechanisms of action and potential applications, and highlights its importance in corrosion mitigation strategies. In this study, bitumen was modified using ELM-NG900Z epoxy resin and a hardener at a ratio of 1.0:5:1.5, respectively. The modified bitumen was subsequently subjected to mechanical testing and solvent resistance evaluation. The test results demonstrated that the modified bitumen samples successfully passed all examinations and exhibited superior performance compared to the reference sample (epoxy resin without bitumen).

**Keywords:** Bitumen-epoxy resin, bitumen, epoxy resin, corrosion.

**KIRISH.**

Bitum-epoksid smola-neft mahsulotlaridan olinadigan qovushqoq va gidrofob organik modda bo‘lgan bitum hamda epoksid birikmalar bilan


ISSN 3030-3907

qattiqlashtirgichlar o‘rtasidagi reaksiya natijasida hosil bo‘ladigan termoreaktiv polimer-epoksid smolaning birikmasidan tashkil topgan kompozitsion materialdir. Ushbu aralashma yaxshilangan xususiyatlarga ega gibrid materialni hosil qiladi, jumladan: yopishish xususiyatining yaxshilanishi, korroziyaga chidamlilik, mustahkamlik va egiluvchanlik kabi ustun xususiyatlarni namoyon etadi. Shu sababli u korroziyaga qarshi qoplamalar qurilish, gidroizolyatsiya va infratuzilmani himoya qilish sohalarida keng qo‘llaniladi (1-jadval). Korroziyaga qarshi qoplamalarda bitum-epoksid smola kombinatsiyasining bir qator afzalliklari mavjud:

a) **Yopishish qobiliyatining oshishi:** Bitum va epoksid smolaning birikmasi yuqori adgeziya xususiyatiga ega qoplamalarni hosil qilib, metall va beton kabi turli yuzalarga mustahkam birikishni taminlaydi.

b) **Yuqori korroziyabardoshlik:** Ushbu kompozitsion material namlik, kimyoviy moddalar, tuzlar va tashqi muhit omillari ta’sirida yuzaga keladigan korroziyadan ishonchli himoya qilib, qoplangan yuzalarning xizmat muddatini uzaytiradi.

c) **Mustahkamlikning yaxshilanishi:** Bitum-epoksid smola qoplamalari ishqalanish, zarba va yeyilishga nisbatan yuqori chidamlilikka ega bo‘lib, bu ayniqsa yuqori yuklama yoki og‘ir sanoat muhitida muhim ahamiyatga ega.

d) **Kimyoviy va ob-havo ta’siriga chidamlilik:** Ushbu qoplamalar turli kimyoviy moddalar, kislotalar, erituvchilar hamda qattiq iqlim sharoitlariga yuqori darajada bardosh berib, himoya xususiyatlarini saqlab qoladi

e) **Egiluvchanlik va mustahkamlik:** Kombinatsiya qoplamaga egiluvchanlik va qattiqlik beradi, bu esa asos materialning harakati yoki deformatsiyasi vaqtida yorilishlar paydo bo‘lishining oldini oladi va himoya qatlamini saqlab qoladi.

f) **Yuqori gidroizolyatsiya xususiyati:** Bitum-epoksid smola qoplamalari suv o‘tkazmaydigan qatlam hosil qilib, namlikning kirib borishini samarali to‘sadi va namlik bilan bog‘liq korroziyadan himoya qiladi.

g) **Konstruksiya mustahkamligining oshishi:** Qoplangan yuzalar korroziya tufayli yemirilishdan himoyalanib, asosiy konstruksiyaning butligi va mustahkamligi saqlanadi.

h) **Qo‘llanish sohalarining kengligi:** Bu qoplamalar turli xil yuzalarga qo‘llanilishi mumkin bo‘lib, tom yopish, yo‘l qoplamalari, gidroizolyatsiya, dengiz inshootlari va sanoat pollari kabi sohalarda foydalaniladi.

i) **Iqtisodiy samaradorlik:** Bitum-epoksid smola qoplamalari uzoq muddatli himoyani ta’minlagani sababli ta’mirlash xarajatlarini kamaytiradi va konstruksiyalar hamda jihozlarning xizmat muddatini uzaytiradi.

j) **Ekologik afzalliklar:** Ayrim tarkiblar past miqdordagi uchuvchan


ISSN 3030-3907

organik birikmalar (VOC) bilan tayyorlanishi mumkin bo‘lib, bu qo‘llash jarayonida atrof-muhitga salbiy ta’sirni kamaytiradi va samarali korroziya himoyasini ta’minlaydi. Korroziyaga qarshi qoplamalarda bitum va epoksid smolaning birikmasi ko‘plab ijobiy xususiyatlarni o‘zida mujassam etgan mustahkam yechim bo‘lib, korroziyaga moyil turli yuzalarni himoya qilishda samarali vosita hisoblanadi. Ushbu maqolada bitumni epoksid smola va qattiqlashtirgich yordamida 3.5:1.0 nisbatda modifikatsiya qilish maqsad qilingan. Shuningdek, olingan materialning mexanik va kimyoviy xususiyatlari tadqiq etildi.

**1-jadval.**

**Bitum-epoksid smola kompozitsiyalarining asosiy qo‘llanish yo‘nalishlari**

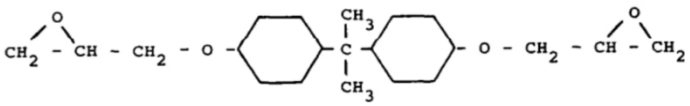
| **Uglevodorodli bog‘lovchi turi** | **Qo‘shimchalar** | **Qo‘llanilishi** |
|---|---|---|
| Bitum emulsiyasi | - | Shag‘al uchun antikorrozion bo‘yoq bog‘lovchisi |
| Bitum | - | Gidroizolyatsion bo‘yoqlar; sepib surtiladigan bo‘yoqlar |
| Bitum, qatron | $(CH_3)_2SO_4$ (30–60%) | Mustahkamlangan antikorrozion bo‘yoqlar |
| Bitum | Suyuq polibutadien | Antikorrozion bo‘yoq |
| Bitum | Stirol/butadien/stirol sopolimeri | Yo‘l qoplamasi |
| Bitum-asfalt | - | Namlikdan himoya qiluvchi qoplamalar |

**TADQIQOTNING NATIJALARI.**

Bitumlar tabiiy yoki sun’iy bo‘lishi mumkin bo‘lib, sanoatda turli sohalarda qo‘llaniladi. Ular nisbatan arzon mahsulot hisoblanadi va fizik-kimyoviy xususiyatlarini modifikatsiya qilish mumkin. Bitumlarning qo‘llanilish sohalariga avtomobil yo‘llari va qurilish materiallari, yo‘l qoplamalari, tom yopmalar va himoya qoplamalari kiradi. Epoksid smolalarning muayyan bitum bilan mosligi yoki nomosligini o‘rgangan mualliflar qiziqarli natijalarga erishganlar. Ular yangi alifatik va sikloalifatik epoksid smolalarni bitum bilan aralashtirib, qattiqlashtirgich ishtirokida hosil bo‘lgan aralashmalarning xususiyatlarini taqqoslaganlar. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, epoksid smolalarning aromatikligi yoki alifatikligi hosil bo‘lgan aralashmaning bir jinsliligini belgilaydigan yagona omil emas. Mualliflar aniqlashicha, smolaning bitum bilan mosligi epoksid smolalarning egiluvchanligi bilan bog‘liq. Ushbu usul molekulalarning gidrofil-lipofil muvozanati nuqtai nazaridan qutbliligini ta’minlaydi. Shu asosda katta


ISSN 3030-3907

miqyosda sintez qilingan va quyidagi tuzilishga ega bo‘lgan mos model epoksid smola molekulasi taklif qilingan (1-rasm).



**1-rasm – Epoksid smolaning tuzilishi:**

Boshqa tadqiqotchilar epoksid smola va bitumning aralashtirish nisbatlarini o‘rganib, eng mos tarkiblarni aniqlashga harakat qilganlar. Ular aralashma tarkibida 50% epoksid smola bo‘lishi mexanik xususiyatlarni epoksidsiz aralashmalarga nisbatan yaxshilashini va bunday materiallar avtomobil yo‘llari qurilishi uchun istiqbolli ekanligini ko‘rsatganlar. Shu bilan birga, bunday qo‘llanishlar turli tijorat sohalarida rivojlanib bormoqda (1-jadval). 1-jadvalda bitum-epoksid smola aralashmalarining keng qo‘llanish sohalari keltirilgan. t-butil va nonil fenol kabi almashtirilgan fenollarni qo‘shish orqali smola va bitumning fizik hamda mexanik xususiyatlari yaxshilanishi aniqlangan.

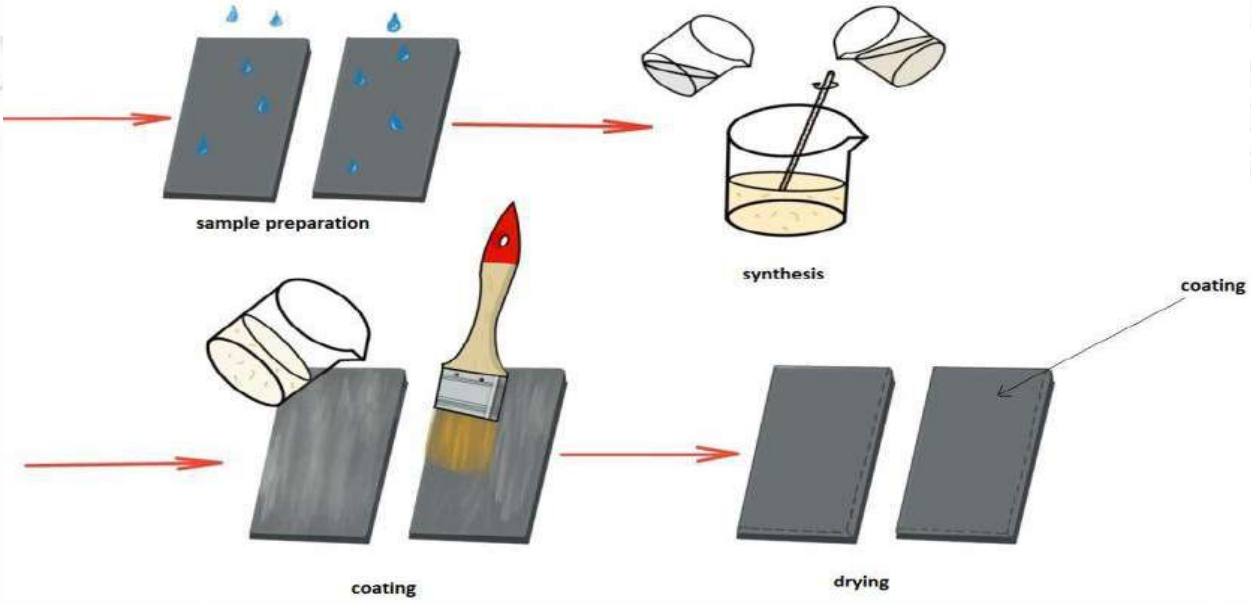
**MATERIALLAR VA USULLAR.**

Modifikatsiyalangan bitum-epoksid qoplama tayyorlash uchun Qozog‘istonning Olmaota shahridagi “Technonicol” kompaniyasining №24 gidroizolyatsion bitumi, shuningdek “Elcos Marketing LLP” kompaniyasining ELM-NG900Z epoksid smolasi va 1816: ELM-NG 34H qattiqlashtirgichi ishlatildi. Qoplama tayyorlash jarayonlari 2-rasmda keltirilgan. Avvalo, metall plastinalar suv bilan yuvilib tozalandi va qoplama surtishdan oldin quritildi. Namunalarni tayyorlash jarayoni muhim bosqich hisoblanib, u qoplama vaqtida plastinalar yuzasida chang yoki kir qolishi kabi muammolarning oldini oladi. Keyingi bosqichda bitum va epoksid smolaning qattiqlashtirgich ishtirokidagi aralashmasi tayyorlandi. Epoksid smola ikki komponentli modda bo‘lib, uning tarkibida albatta qattiqlashtirgich mavjud bo‘ladi. U polimerizatsiya (qattiqlashish) jarayonini boshlab beradi. Xona haroratida 6,5 gramm bitum, 50 gramm epoksid smola va 15 gramm qattiqlashtirgich yaxshilab aralashtirildi. Yuqoridagi materiallar aralashtirilishi natijasida modifikatsiyalangan bitum-epoksid qoplama hosil qilinib, metall namunalarga surtildi. Bitum-epoksid tarkibi metall plastina yuzasiga quyildi va bir tekis taqsimlandi. Qoplamani bir xil qalinlikda hosil qilish uchun zanglamas po‘latdan tayyorlangan applikatordan foydalanildi (3-rasm). Qoplama plyonkalarining mexanik xususiyatlari, jumladan zarbaga chidamlilik, egilish mustahkamligi, adgeziya va tirnalishga chidamlilik ko‘rsatkichlari o‘rganildi. 4-rasmda mexanik sinovlar uchun ishlatilgan uskunalar turlari ko‘rsatilgan.


ISSN 3030-3907

Zarbaga chidamlilik sinovi (4-a rasm): Qoplangan metall namuna shtampning yuqori qismi va graduirlangan vertikal quvur orasiga joylashtirildi. Yuk 100 sm balandlikkacha ko‘tarilib, so‘ng tashlab yuborildi. Keyin namuna uskunadan olinib, qoplama va asos materialdagi shikastlanishlar baholandi.

Egilish mustahkamligi sinovi (4-b rasm): Sinov namunasi silindrik yoki konussimon sterjen atrofida 180° burchak ostida egilish orqali tekshirildi. Qurilma ramasida balandligi sozlanadigan rolikli egish rычagi va namunalarni mahkamlash uchun siljuvchi qisqich mavjud bo‘lib, u namunaning bir tekis egilishini ta’minlaydi. Sinovdan keyin namunada yoriqlar yoki qatlam ajralishi kabi shikastlanishlar vizual ravishda aniqlandi.




**2-rasm: Namunalarga qoplama surtish jarayoni**



**3-rasm: Qoplamani surtish jarayoni**


ISSN 3030-3907

a) b) c)



**4-rasm: Qoplamaning mexanik xususiyatlarini aniqlash uchun qo‘llanilgan sinov uskunalari: a) BGD 305 zarbaga chidamlilik sinov qurilmasi; b) BGD 564 egilish mustahkamligini aniqlash qurilmasi; c) BGD 504/6 adgeziyani ko‘ndalang kesish usulida baholash qurilmasi**

Qoplamaning yuzada tirnalishga chidamliligi (4-c rasm) ko‘p pichoqli kesuvchi asbob yordamida qoplamada ikkita ko‘ndalang iz qoldirish orqali aniqlandi. Keyin esa tasma (skotch) qoplamadan asos yuzaga ajralib chiqishga bo‘lgan yopishish chidamliligi baholandi. Yopishtiruvchi tasmaning adgezion mustahkamligi 25 mm kenglik uchun 9,5 N ga teng bo‘lib, u shaffof hisoblanadi, bu esa qoplamaga to‘g‘ri yopishishni ta’minlaydi. Shuningdek, olingan bitum-epoksid qoplama namunasida 10%, 20% va 30% NaCl, NaOH va $H_2SO_4$ eritmalarida korroziyaga qarshi xususiyatlar o‘rganildi.

Taqqoslash uchun qoplama surtilmagan metall plastinalar ham ushbu eritmalarga botirildi. Namunalar har bir eritmada 7 kun davomida saqlandi (5-rasm). 7 kundan so‘ng qoplamalarda korroziya belgilarining paydo bo‘lishi tekshirildi.

**NATIJALAR VA MUHOKAMASI.**

6-rasmda keltirilgan ma’lumotlarga ko‘ra, bitum-epoksid smola asosidagi qoplama mexanik xususiyatlar bo‘yicha barcha sinovlardan muvaffaqiyatli o‘tgan. Mexanik xususiyatlar bo‘yicha olingan natijalar 2-jadvalda keltirilgan.



| a | b | c |
|---|---|---|

**5-rasm: a) NaCl eritmasi; b) NaOH eritmasi; c) $H_2SO_4$ eritmasi.**


ISSN 3030-3907

a) b) c)



**6-rasm: Qoplamaning mexanik xususiyatlari bo‘yicha sinov natijalari: a) zarbaga chidamlilik; b) egilish mustahkamligi; c) yuzaning tirnalishga chidamliligi.**

**2-jadval.**

**Qoplamaning mexanik xususiyatlari bo‘yicha sinov natijalari**

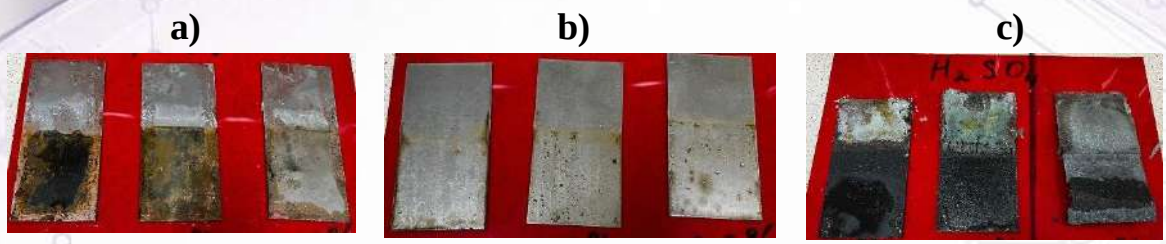
| Namuna | Polimer | Sinov turi | Natija |
|---|---|---|---|
| Metall plastina | Bitum-epoksid smola | Zarbaga chidamlilik sinovi | Muvaffaqiyatli |
| Metall plastina | Bitum-epoksid smola | Egilish mustahkamligi sinovi | Muvaffaqiyatli |
| Metall plastina | Bitum-epoksid smola | Yuzada tirnalishga chidamlilik sinovi | Muvaffaqiyatli |

a) b) c)




**7-rasm: Bitum-epoksid qoplama bilan qoplangan metall plastinalarning 10%, 20% va 30% konsentratsiyali NaCl, NaOH va $H_2SO_4$ eritmalarida 7 kun davomida saqlangandan keyingi tashqi ko‘rinishi (xona haroratida): a) NaCl; b) NaOH; c) $H_2SO_4$.**


ISSN 3030-3907




**8-rasm: Qoplamasiz metall plastinalarning 10%, 20% va 30% konsentratsiyali NaCl, NaOH va $H_2SO_4$ eritmalarida 7 kun davomida saqlangandan keyingi tashqi ko‘rinishi (xona haroratida): a) NaCl; b) NaOH; c) $H_2SO_4$.**

**3-jadval.**

**Qoplamaning korroziyaga qarshi xususiyatlari bo‘yicha natijalar**

| Namuna | Polimer | Eritma | Qoplama bilan | | | Qoplamasiz | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 10% | 20% | 30% | 10% | 20% | 30% |
| Metall plastina | Bitum-epoksid smola | NaCl | E | E | E | R | R | R |
| Metall plastina | Bitum-epoksid smola | NaOH | E | E | E | R | G | G |
| Metall plastina | Bitum-epoksid smola | $H_2SO_4$ | E | G | G | R | R | R |

Namunalar eritmalarga 7 kun davomida botirib saqlandi. **E**-A’lo **G**-Yaxshi **P**-Yomon

7-rasmdan ko‘rinib turibdiki, bitum-epoksid qoplama bilan qoplangan metall plastinalar NaCl, NaOH va $H_2SO_4$ eritmalarining barcha konsentratsiyalariga bardosh bergan. Biroq, $H_2SO_4$ kislotasi eritmasida 20% va 30% konsentratsiyalarda qoplamaning o‘zi yuzadan ajralib ketishi (qavat ko‘chishi) kuzatilgan. Shu bilan birga, qoplamasiz barcha metall plastinalar to‘liq korroziyaga uchragan (8-rasm).

Bitum-epoksid qoplamalarning 10%, 20% va 30% NaCl, NaOH va $H_2SO_4$ eritmalarida korroziyaga qarshi xususiyatlari bo‘yicha olingan natijalar 3-jadvalda keltirilgan.

**XULOSA.**

Modifikatsiyalangan bitum va epoksid smolalarning birikmasi har ikki material xususiyatlarini yaxshilaydigan universal yechim hisoblanadi. U yuqori mustahkamlik, egiluvchanlik, adgeziya hamda turli tashqi muhit ta’sirlari va konstruksion yuklamalarga chidamlilikni oshiradi. Shu sababli u qurilish va infratuzilma sohasida keng qo‘llanish uchun muhim material hisoblanadi. Olingan natijalar va bitum-epoksid smola asosidagi qoplamalar xususiyatlariga tayanilgan holda, ushbu qoplama turli sohalarda keng qo‘llanish imkoniyatiga ega ekanligi xulosa qilindi. Bitumning mexanik va kimyoviy xususiyatlarini yaxshilash uchun epoksid smola va qattiqlashtirgichning eng samarali nisbati 3.5% : 1.0% ekanligi


ISSN 3030-3907

aniqlandi.

## ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Syrmanova K, Negim E, Kaldybekova J, Tuleuov A.M. Termoplastik poliuretan yordamida epoksilitane kompozitsiyalarini modifikatsiya qilish. Oriental Journal of Chemistry, 2016; 32(1):1–7.
2. 2.Apostolidis P, Liu X, Erkens SMJG, Scarpas A. Bitumning epoksid bilan modifikatsiyasini baholash. Construction and Building Materials, 2019; 208:361–368.
3. Apostolidis P, Liu X, Kasbergen C va boshq. Epoksid modifikatsiyalangan bitumli bog‘lovchilarning qotish jarayonini termo-reologik o‘rganish. Transportation Research Record, 2018; 2672(28):190–199.
4. Cong P, Tian Y, Liu N, Xu P. Epoksid-smola bilan modifikatsiyalangan asfalt bog‘lovchini tadqiq qilish. Journal of Applied Polymer Science, 2016; 133(21).
5. Zhou W va boshq. Epoksid asfaltning termo-mexanik xususiyatlari va tuzilishiga ta’siri. International Journal of Pavement Engineering, 2017; 18(10):928–936.
6. Lu Q, Bors J. Epoksid asfaltning ko‘prik qoplamalari va yo‘llardagi muqobil qo‘llanilishi. Construction and Building Materials, 2015; 78:18–25.
7. Sun Y va boshq. Nanokley bilan mustahkamlangan epoksid asfalt kompozitlarining termal va mexanik xususiyatlari. Journal of Applied Polymer Science, 2015; 132(12).
8. Yin H va boshq. Termoreaktiv epoksid-modifikatsiyalangan asfaltlarning termal va mexanik xususiyatlari. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2014; 115:1073–1080.
9. Xiao Y va boshq. Ikki komponentli epoksid modifikatsiyalangan bitum xususiyatlari. Materials and Structures, 2011; 44:611–622.
10. Dauletov Y va boshq. N,N-diallyl-N,N-dimetilammoniy xlorid va vinil efirining polimerlanish kinetikasi. Fibers and Polymers, 2018; 19:2023–2029.
11. Fischer HR, Cernescu A. Bitum mikrostrukturasi va kimyoviy tarkibining bog‘liqligi. Fuel, 2015; 153:628–633.
12. Li H, Li SQ. Asfalt moylarining korroziya mexanizmi bo‘yicha tadqiqot. Highway Engineering, 2016; 41:229–231.
13. Makhmetova A va boshq. Epoksid smolalarning metall korroziyadan himoyadagi qoplama sifatida qo‘llanilishi. Complex Use of Mineral Resources, 2023; 328(1):20–32.
14. Li Q va boshq. Asfalt aralashmalarining yoqilg‘i moylariga korroziya chidamliligi. Construction and Building Materials, 2019; 220:10–20.
15. Gao X va boshq. Silikon smolaning asfaltning korroziyaga chidamliligiga ta’siri. Sustainability, 2022; 14(21):14053.


ISSN 3030-3907

16. Jin FL, Li X, Park SJ. Epoksid smolalar: sintez va qo‘llanilishi. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2015; 29:1–11.
17. Xiang Q, Xiao F. Epoksid materiallarning yo‘l qurilishidagi qo‘llanilishi. Construction and Building Materials, 2020; 235:117529.
18. Cong P va boshq. Issiq aralashtirilgan epoksid asfalt bog‘lovchilarning kimyoviy va fizik xususiyatlari. Construction and Building Materials, 2019; 198:1–9.
19. Ainakulova D va boshq. O‘tkazuvchi qoplamalar va katod himoya tizimlari bo‘yicha tahliliy sharh. Complex Use of Mineral Resources, 2023; 329(2):92–102.
20. Ignatenko VY va boshq. Og‘ir neft asfaltenlarining epoksid smola uchun nanoto‘ldiruvchi sifatidagi roli. Polymer Engineering & Science, 2020; 60(7):1530–1545.
21. Syrmanova K va boshq. Epoksilitane kompozitsiyalarini modifikatsiya qilish jarayoni. Industrial Technology and Engineering, 2015; 3:75–83.
22. Muradova S va boshq. Akril smolalarning korroziyaga qarshi qoplama sifatidagi afzalliklari. Complex Use of Mineral Resources, 2023; 327(4):90–98.


ISSN 3030-3907

# PHOSPHATE–AMMONIUM MODIFICATION OF LOCAL BENTONITE AND COMPREHENSIVE EVALUATION OF ITS ADSORPTIVE PERFORMANCE IN KEROSENE PURIFICATION

**Qobilov Shokir Juraqulovich**
*Department of Chemical Technology, Bukhara State Technical University, Bukhara, Uzbekistan*
**Olimov Bobir Bahodirovich**
*Department of Chemical Technology, Bukhara State Technical University, Bukhara, Uzbekistan*
**Correspondence: chemistry2927@mail.ru**

**Abstract.** This study presents a systematic investigation into the phosphate–ammonium two-step chemical modification of naturally occurring smectite-type bentonite sourced from the Navbahor deposit in Uzbekistan, with the primary objective of developing a high-performance adsorbent for industrial kerosene purification. The modification procedure comprised sequential treatment with phosphoric acid ($H_3PO_4$) and ammonium orthophosphate ($(NH_4)_3PO_4$). Following activation, the specific surface area increased from 69.5 to 155.8 $m^2/g$ (a 224% improvement), the pore volume expanded from 0.116 to 0.325 $cm^3/g$, and the basal spacing $d_{001}$ widened from 14.3 Å to 16.9 Å. FTIR spectroscopy confirmed the formation of P–O–Si and P–O–Al covalent linkages, while XRD analysis revealed structural reorganization and partial delamination of the clay layers. Adsorption experiments demonstrated removal efficiencies of 74.2% for color-forming compounds, 68.3% for aromatic hydrocarbons, and 72.7% for sulfur-containing species. Kinetic data fitted a pseudo-second-order model ($R^2$ = 0.998), indicative of chemisorption-governed uptake. Thermodynamic analysis yielded $\Delta G° = -14.7$ kJ/mol and $\Delta H° = -32.6$ kJ/mol, confirming a spontaneous and exothermic process. The modified adsorbent is derived from an abundant, low-cost, and locally available mineral, positioning it as a technically viable and economically attractive alternative to conventional hydrotreating for kerosene quality improvement.

**Keywords:** bentonite modification · kerosene purification · phosphate–ammonium activation adsorption kinetics · FTIR · XRD · BET · sulfur removal Lewis acid sites thermodynamics.

**Annotatsiya.** Ushbu tadqiqotda O‘zbekistondagi Navbahor konidan olingan tabiiy sementit tipidagi bentonitning fosfat-ammiak ikki bosqichli kimyoviy modifikatsiyasi bo‘yicha tizimli tadqiqotlar olib borilgan bo‘lib, asosiy maqsad sanoat kerosinini tozalash uchun yuqori samarali adsorbentni ishlab chiqishdan iborat. O‘zgartirish jarayoni fosfor kislotasi ($H_3PO_4$) va ammoniy ortofosfat (NH4)3po4 bilan siqilgan ketma-ket davolashdir). Faollashgandan so‘ng, o‘ziga xos sirt maydoni 69,5 dan 155,8 m2/g gacha o‘sdi (a 224% yaxshilanish), yadro


ISSN 3030-3907

hajmi 0,116 dan 0,325 sm3/g gacha kengaydi va ddudesin bazal oralig‘i 14,3 dan 16,9 gacha kengaydi. FTIR spektroskopiyasi P–O–Si va P–O–Al kovalent bog‘lanishlarining hosil bo‘lishini tasdiqladi, XRD tahlili esa loy qatlamlarining strukturaviy qayta tashkil etilishi va qisman delaminatsiyasini aniqladi. Adsorbsiya tajribalari rang hosil qiluvchi birikmalarning 74,2%, aromatik uglevodorodlarning 68,3% va oltingugurt o‘z ichiga olgan turlarning 72,7% ni olib tashlash ta'sirini ko‘rsatdi. Kinetik ma'lumotlar ikkinchi darajali psevdo-modelga mos keladi (R2 = 0,998), bu kimyosorbtsiya bilan boshqariladigan qabul qilishni ko‘rsatadi. Termodinamik tahlil natijasida ΔG° = -14,7 kJ/mol va ΔH° = -32,6 kJ/mol qiymatlari olindi, bu o‘z-o‘zidan sodir bo‘ladigan va ekzotermik jarayon ekanligini tasdiqlaydi. O‘zgartirilgan adsorbent ko‘p miqdorda, arzon va mahalliy darajada mavjud bo‘lgan mineraldan olingan bo‘lib, uni kerosin sifatini yaxshilash uchun an'anaviy gidrotozalashga texnik jihatdan foydali va iqtisodiy jihatdan jozibali muqobil sifatida joylashtiradi.

**Kalit so‘zlar:** bentonit modifikatsiyasi · kerosinni tozalash · fosfat-ammiak faollashuvi adsorbsiya kinetikasi · FTIR · XRD * BET * oltingugurtni olib tashlash Lyuis kislotasi joylarining termodinamikasi.

**Аннотация.** Данное исследование представляет собой систематическое исследование фосфатно–аммонийной двухэтапной химической модификации природного бентонита типа смектита, добываемого на месторождении Навбахор в Узбекистане, с основной целью разработки высокоэффективного адсорбента для промышленной очистки керосина. Процедура модификации включала последовательную обработку фосфорной кислотой ($h_3po_4$) и ортофосфатом аммония (NH4)3po4). После активации удельная поверхность увеличилась с 69,5 до 155,8 м2/г (улучшение на 224%), объем сердцевины увеличился с 0,116 до 0,325 см3/г, а базальное расстояние $d_{001}$ увеличилось с 14,3 å до 16,9 å. ИК–спектроскопия подтвердила образование ковалентных связей P–O–Si и P–O-Al, в то время как рентгеновский анализ выявил структурную перестройку и частичное расслоение слоев глины. Эксперименты по адсорбции показали эффективность удаления 74,2% красящих соединений, 68,3% ароматических углеводородов и 72,7% серосодержащих соединений. Кинетические данные соответствовали модели псевдо-второго порядка (R2 = 0,998), что указывает на поглощение, обусловленное хемосорбцией. Термодинамический анализ показал, что ΔG° = -14,7 кДж/моль и ΔH° = -32,6 кДж/моль, что подтверждает спонтанный и экзотермический процесс. Модифицированный адсорбент получен из богатого, недорогого и доступного на местном уровне минерала, что делает его технически жизнеспособной и экономически привлекательной


ISSN 3030-3907

альтернативой традиционной гидроочистке для улучшения качества керосина.

**Ключевые слова:** модификация бентонита · очистка керосина · кинетика адсорбции фосфатно–аммиачной активации · FTIR · XRD * BET * удаление серы Термодинамика кислотных центров Льюиса.

## 1. INTRODUCTION.

Kerosene occupies a critical position in the global energy landscape, serving as the primary fuel for aviation turbines and as a light-distillate product in heating and lighting applications. International regulatory bodies, including the International Civil Aviation Organization (ICAO) and the Eurasian Economic Union (EEU), impose increasingly stringent quality requirements on aviation-grade kerosene: total sulfur content must not exceed 0.25 wt.% and the aromatic hydrocarbon fraction must remain below 25 vol.%. In practice, straight-run kerosene obtained from primary atmospheric distillation frequently fails to satisfy these thresholds, typically containing 300–500 mg/kg of organic sulfur species (thiophenes, benzothiophenes, dibenzothiophenes, mercaptans) and 30–40 vol.% of aromatic hydrocarbons.

The presence of these contaminants adversely affects fuel combustion efficiency, promotes the formation of particulate matter and sulfur oxides in exhaust emissions, and accelerates the degradation of sealing materials and turbine components. Color-forming resinous compounds — predominantly naphthenic acids, polyaromatics, and porphyrin-type structures generated during oxidative and condensation side-reactions — further compromise product quality and commercial value.

Conventional hydrodesulfurization (HDS) using Co–Mo/$Al_2O_3$ or Ni–Mo/$Al_2O_3$ catalysts is highly effective at removing sulfur to ppm-level concentrations, but the technology requires high operating pressures (3–7 MPa) and temperatures (300–400 °C), involves substantial capital investment, generates hydrogen sulfide as a hazardous by-product, and does not adequately address color-forming aromatics. These limitations have stimulated growing interest in adsorptive purification as a complementary or alternative approach — one that operates under ambient conditions, requires no hydrogen input, and generates no toxic gaseous by-products.

Uzbekistan possesses extensive deposits of high-quality bentonite clays in the Navoi region (Navbahor and Nurota fields), with estimated reserves exceeding several hundred million tonnes. These smectite-group minerals are characterized by elevated $SiO_2$ and $Al_2O_3$ contents, a well-developed layered architecture, cation-exchange capacities of 80–120 meq/100 g, and inherent susceptibility to chemical surface modification. However, in their natural state, bentonites exhibit several


ISSN 3030-3907

limitations — insufficient surface acidity, narrow interlayer channels, weak interactions with aromatic compounds, and low Lewis acid site density — that constrain their adsorptive utility.

Chemical activation with phosphoric acid introduces P–O–Si linkages that expand the pore network and generate new Brønsted and Lewis acid sites. Subsequent intercalation of $NH_4^+$ ions from ammonium orthophosphate further widens the interlayer spacing and enhances electrostatic attraction towards polarizable aromatic molecules. Although individual acid or ammonium treatments have been reported, the synergistic combination of both reagents in a sequential two-step process — particularly applied to Uzbek bentonite and evaluated for kerosene purification — has not been systematically documented. The present study addresses this gap.

## 2. MATERIALS AND METHODS.

### 2.1 Starting Material

Raw bentonite was sourced from the Navbahor deposit (Navoiy Province, Uzbekistan). Its elemental composition, determined by X-ray fluorescence (XRF) spectrometry, is presented in Table 1. The predominance of $SiO_2$ (70.85 wt.%) confirms the tetrahedral silicate framework typical of montmorillonite, while the $Al_2O_3$ content (14.06 wt.%) reflects substantial octahedral substitution potential. Iron and magnesium oxides occupy isomorphous substitution sites, generating the permanent negative layer charge responsible for the high cation-exchange capacity.

**Table. 1.**

**Chemical composition of raw Navbahor bentonite (XRF analysis)**

| Oxide | Content (wt.%) | Structural role |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 70.85 | Tetrahedral layer |
| $Al_2O_3$ | 14.06 | Octahedral layer |
| $Fe_2O_3$ | 5.34 | Isomorphous substituent |
| MgO | 5.71 | Isomorphous substituent |
| CaO | 1.62 | Interlayer cation |
| $K_2O$ | 1.30 | Interlayer cation |
| $Na_2O$ | 0.05 | Interlayer cation |
| $P_2O_5$ | 0.84 | Native phosphate |
| $SO_3$ | 0.23 | Sulfate impurity |

### 2.2 Two-Step Modification Procedure

Step I — Acid Activation: A 1 mol/L orthophosphoric acid solution was prepared from 60% $H_3PO_4$ stock. Fifty grams of dry bentonite were dispersed in the solution and thermostated at 80 °C for 120 min under continuous magnetic stirring. During this stage, partial leaching of $Mg^{2+}$, $Ca^{2+}$, and $Fe^{3+}$ ions expanded


ISSN 3030-3907

the pore network, and surface silanol groups underwent condensation with phosphoric acid according to the following reaction:

$$\equiv Si–OH + H_3PO_4 \rightarrow \equiv Si–O–PO_3H_2 + H_2O$$

Step II — Ammonium Intercalation: The acid-treated clay was mixed with a 0.5 mol/L ammonium orthophosphate solution and stirred at 70 °C for 180 min. $NH_4^+$ ions displaced residual interlayer cations ($Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $K^+$), while $PO_4^{3-}$ anions formed coordination bonds with the siliceousaluminosilicate framework, creating additional active adsorption sites. The slurry was subsequently dried at 115 °C for 30 min to remove residual moisture, then calcined at 350 °C for 120 min to consolidate the modified structure. The calcination temperature was deliberately limited below 500 °C to prevent irreversible dehydroxylation and collapse of the interlayer.

### 2.3 Characterization Techniques

FTIR spectroscopy (Perkin-Elmer Spectrum 65, KBr pellet method, 400–4000 $cm^{-1}$) was used to identify functional groups and monitor phosphate incorporation. XRD analysis (Bruker D8 Advance, Cu Kα radiation, λ = 1.5406 Å, 2θ = 2–60°) provided crystallographic information including $d_{001}$ basal spacing. BET surface area and pore characteristics were determined via nitrogen adsorption at 77 K (Quantachrome Nova 2200e). Aromatic compound concentrations were monitored by UV–Vis spectrophotometry at 254 nm; sulfur-containing species were quantified by UV-fluorescence at 310 nm.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION.

### 3.1 Structural Characterization — FTIR Analysis

The FTIR spectrum of the modified bentonite reveals three distinct changes relative to the unmodified clay. First, the O–H stretching band at 3695–3621 $cm^{-1}$ broadened and intensified, reflecting an increase in surface hydroxyl group density and the development of an extended hydrogen-bonding network — both hallmarks of improved surface hydrophilicity and heightened acidity. Second, the Si–O–Si asymmetric stretching mode at 1030–1114 $cm^{-1}$ exhibited a measurable blue-shift, indicating elevated internal lattice tension and a growing proportion of amorphous silicate components generated during the activation steps. Third, and most diagnostically, a new sharp absorption band emerged at 690–745 $cm^{-1}$ , assignable to P–O–Al and P–O–Si vibrations. This signal was absent in the raw material and constitutes direct spectroscopic evidence that phosphate groups are covalently anchored within the interlayer domain. The resulting $\equiv Si–O–PO_3H_2$ linkages increase local layer rigidity and generate new surface acid centers, substantially enhancing the density of active adsorption sites.

### 3.2 Crystallographic and Textural Properties — XRD and BET


ISSN 3030-3907

Table 2 summarizes the key structural parameters before and after modification. The basal spacing $d_{001}$ expanded from 14.3 to 16.9 Å (Δd = 2.6 Å), attributable to three concurring mechanisms: (i) protonation-induced loosening of interlayer bonds during acid activation; (ii) replacement of small divalent cations ($Ca^{2+}$, r = 0.99 Å) by the larger $NH_4^+$ (r = 1.43 Å); and (iii) electrostatic repulsion amplified by the triply charged $PO_4^{3-}$ anion. The concurrent decline in XRD peak intensity reflects partial delamination, incipient amorphization, and pore-induced disruption of coherent scattering — collectively indicating a transition towards a more heterogeneous, accessible microtexture.

BET measurements confirm a 2.24-fold increase in specific surface area (from 69.5 to 155.8 $m^2/g$) and a 2.80-fold expansion in pore volume (from 0.116 to 0.325 $cm^3/g$). The average pore diameter increased from 6.7 to 8.3 nm, situating both samples within the mesoporous regime (2–50 nm). Mesoporous architecture is particularly advantageous for the uptake of bulky resinous molecules present in kerosene. The cation-exchange capacity rose from 82 to 118 meq/100 g, corroborating the successful introduction of $NH_4^+$. Surface acidity, measured by potentiometric titration with n-butylamine, nearly tripled from 0.31 to 0.89 mmol/g.

**Table. 2.**

**Structural and textural parameters of raw and modified bentonite**

| Parameter | Raw Bentonite | Modified Bentonite |
|---|---|---|
| BET surface area ($m^2/g$) | 69.5 | 155.8 |
| Pore volume ($cm^3/g$) | 0.116 | 0.325 |
| Average pore diameter (nm) | 6.7 | 8.3 |
| Basal spacing $d_{001}$ (Å) | 14.3 | 16.9 |
| Cation-exchange capacity (meq/100 g) | 82 | 118 |
| Surface acidity (mmol/g) | 0.31 | 0.89 |

### 3.3 Removal of Color-Forming Compounds

Color intensity was quantified using the APHA (American Public Health Association) scale. Color-forming agents in kerosene include naphthenic acids, polycyclic aromatics, and porphyrin-type resins produced during oxidative side-reactions in the refinery. Table 3 includes results for three samples — raw bentonite, acid-only activated bentonite (Step I alone), and the fully modified adsorbent — enabling a stepwise assessment of each modification stage.


ISSN 3030-3907

**Table. 3.**

**Kerosene color intensity before and after adsorption treatment (APHA scale)**

| Adsorbent | Initial (APHA) | Final (APHA) | ΔAPHA | Efficiency (%) |
|---|---|---|---|---|
| Raw bentonite | 45.1 | 29.0 | 16.1 | 35.7 |
| Acid-activated (Step I only)* | 45.1 | 18.4 | 26.7 | 59.2 |
| Phosphate–ammonium modified | 45.1 | 11.6 | 33.5 | 74.2 |

* For comparative purposes only; Step I ($H_3PO_4$) without subsequent ammonium treatment.

The fully modified adsorbent achieved a 74.2% reduction in APHA value — more than double the 35.7% recorded for the raw clay. Crucially, acid activation alone (Step I) already raised efficiency to 59.2%, yet the subsequent ammonium intercalation (Step II) contributed an additional 15 percentage points, demonstrating a clear synergistic effect. Two mechanisms underlie the color removal: (i) capillary condensation of high-molecular-weight resinous molecules within the expanded mesopores; and (ii) strengthened acid–base interactions between Brønsted acid surface sites (–P–OH, –Si–OH) and the electron-donating functional groups of the color-forming compounds.

### 3.4 Adsorption of Aromatic Hydrocarbons

The aromatic fraction — comprising thiophenes, benzothiophenes, and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) — was monitored via UV–Vis spectrophotometry at 254 nm (Table 4). The modified adsorbent achieved 68.3% removal of aromatics, compared to 28.2% for the raw clay and 51.3% for the acid-activated intermediate — a progression that further confirms the beneficial contribution of the ammonium intercalation step.

**Table. 4.**

**Removal of aromatic compounds monitored by UV–Vis absorbance at 254 nm**

| Adsorbent | Initial $A_{254}$ | Final $A_{254}$ | ΔA | Removal (%) |
|---|---|---|---|---|
| Raw bentonite | 0.864 | 0.620 | 0.244 | 28.2 |


ISSN 3030-3907

| Adsorbent | Initial $A_{254}$ | Final $A_{254}$ | ΔA | Removal (%) |
|---|---|---|---|---|
| Acid-activated (Step I only) | 0.864 | 0.421 | 0.443 | 51.3 |
| Phosphate–ammonium modified | 0.864 | 0.274 | 0.590 | 68.3 |

Three complementary physicochemical mechanisms govern the enhanced aromatic adsorption. First, π–dipole induction: the delocalized π-electron systems of aromatic rings interact with polarizable Lewis acid surface sites (coordinatively unsaturated $Si^{4+}$ and $Al^{3+}$ centers), forming stable π–M complexes. Second, direct coordination: the increased density and strength of Lewis acid sites — as evidenced by the near-tripling of surface acidity from 0.31 to 0.89 mmol/g — facilitates coordinative bond formation with the lone electron pairs of sulfur atoms in thiophene and benzothiophene. Third, electrostatic attraction: the intercalated $PO_4^{3-}$ groups elevate the negative surface charge density, intensifying coulombic attraction towards aromatic molecules with non-negligible dipole moments.

### 3.5 Desulfurization Performance

Sulfur content before and after adsorption was determined by energy-dispersive X-ray fluorescence (Table 5). The modified adsorbent reduced total sulfur from 410 mg/kg to 112 mg/kg — a 72.7% reduction that brings the treated fuel below the ICAO Annex 16 threshold of 300 mg/kg for aviation kerosene. The raw bentonite achieved only 22%, and the acid-activated intermediate reached 51.7%, once again confirming the additive benefit of the second modification step.

**Table. 5.**

**Sulfur content reduction following adsorption treatment**

| Adsorbent | Initial (mg/kg) | Final (mg/kg) | Removed (mg/kg) | Reduction (%) |
|---|---|---|---|---|
| Raw bentonite | 410 | 320 | 90 | 22.0 |
| Acid-activated (Step I only) | 410 | 198 | 212 | 51.7 |
| Phosphate–ammonium modified | 410 | 112 | 298 | 72.7 |

The superior desulfurization selectivity of the modified material is underpinned by four reinforcing factors: (i) elevated Brønsted and Lewis acidity


ISSN 3030-3907

promotes stronger interactions with electron-rich aromatic sulfur species; (ii) abundant Lewis acid $Al^{3+}$ centers form coordination bonds with the lone pair of the sulfur atom, a recognized mechanism for selective thiophene uptake; (iii) $PO_4^{3-}$ surface groups enhance electrostatic capture of polarizable thiophenic molecules; and (iv) the widened mesopore network minimizes diffusion resistance, improving access of bulkier dibenzothiophene molecules to interior active sites.

### 3.6 Adsorption Kinetics and Thermodynamics

To elucidate the adsorption mechanism, experimental kinetic data were fitted to the pseudo-first-order (Lagergren) and pseudo-second-order (Ho–McKay) models. The pseudo-second-order model provided a markedly superior fit ($R^2$ = 0.998 vs. 0.921), strongly indicating that the rate-determining step involves chemical interactions — surface coordination, covalent bonding, or strong electrostatic complexation — rather than simple physisorption. The apparent activation energy, calculated from the Arrhenius equation across the temperature range 298–333 K, was $E_a$ = 28.4 kJ/mol. This value exceeds the typical physisorption threshold (< 20 kJ/mol) and falls within the lower range of chemisorption (40–400 kJ/mol), consistent with a mixed-mechanism or activated chemisorption process.

Thermodynamic parameters derived from Van 't Hoff analysis are summarized in Table 6. The negative Gibbs free energy ($\Delta G° = -14.7$ kJ/mol at 298 K) confirms that adsorption proceeds spontaneously under standard conditions. The negative enthalpy ($\Delta H° = -32.6$ kJ/mol) establishes the exothermic character of the process, implying that adsorption capacity will decrease at elevated temperatures. The negative entropy change ($\Delta S° = -60.1$ J $mol^{-1}$ $K^{-1}$) reflects increased order at the adsorbent–adsorbate interface as aromatic molecules adopt fixed orientations on the structured surface.

**Table. 6.**

**Kinetic and thermodynamic parameters of the adsorption process**

| Parameter | Value |
|---|---|
| Kinetic model | Pseudo-second-order |
| Correlation coefficient $R^2$ | 0.998 |
| Activation energy $E_a$ (kJ/mol) | 28.4 |
| Gibbs free energy $\Delta G°$ (kJ/mol, 298 K) | −14.7 |
| Enthalpy $\Delta H°$ (kJ/mol) | −32.6 |


ISSN 3030-3907

| Parameter | Value |
|---|---|
| Entropy ΔS° (J $mol^{-1}$ $K^{-1}$) | −60.1 |

## 4. CONCLUSIONS.

This study demonstrates that the phosphate–ammonium two-step modification of Navbahor bentonite — a widely available, low-cost Uzbek mineral — yields a highly effective adsorbent for kerosene purification. The principal findings are as follows:

- **Structural transformation:** The specific surface area increased 2.24-fold (69.5 → 155.8 $m^2/g$) and pore volume expanded 2.80-fold (0.116 → 0.325 $cm^3/g$), with development of a mesoporous network (average pore diameter 8.3 nm) favorable for the uptake of bulky organic contaminants.
- **Chemical modification confirmed:** FTIR spectroscopy identified new P–O–Si and P–O–Al covalent bands; XRD showed basal spacing expansion from 14.3 to 16.9 Å (Δd = 2.6 Å). Together, these observations verify successful phosphate intercalation and $NH_4^+$ exchange in the interlayer domain.
- **Adsorption performance:** Removal efficiencies of 74.2% (color-forming compounds), 68.3% (aromatic hydrocarbons), and 72.7% (organic sulfur) were achieved — 2 to 3 times higher than the raw clay — bringing the sulfur content of treated kerosene (112 mg/kg) below the ICAO Annex 16 limit.
- **Synergistic two-step effect:** Acid activation alone (Step I) raised color removal to 59.2%; the additional ammonium intercalation (Step II) advanced this to 74.2%, confirming a synergistic interaction between the two reagents.
- **Mechanism:** Adsorption is governed by π–dipole induction, coordination at Lewis acid sites, and electrostatic attraction from intercalated $PO_4^{3-}$ groups. Kinetic ($R^2$ = 0.998, pseudo-second-order) and thermodynamic (ΔG° < 0, ΔH° < 0) data confirm a spontaneous, exothermic chemisorption process.

The phosphate–ammonium-modified Navbahor bentonite represents a scalable, eco-friendly, and economically feasible adsorbent for industrial kerosene and light-distillate purification. Future work should address: (i) regeneration performance over multiple adsorption–desorption cycles; (ii) evaluation against diesel and other petroleum fractions; (iii) pilot-scale fixed-bed column design; and (iv) full techno-economic analysis comparing the modified-bentonite route against state-of-the-art HDS processes.

## REFERENCES

1. Qobilov Sh.J., Olimov B.B., Akhmedov V.N. Modification of Local Bentonite and Evaluation of its Adsorptive Properties in Kerosene Purification. Austrian


ISSN 3030-3907

Journal of Technical and Natural Sciences, 2025, No 11–12, pp. 25–31. https://doi.org/10.29013/AJT-25-11.12-25-31

2. Liu J. et al. Effect of Phosphoric Acid on the Properties of Sodium Bentonite and Its Mechanism. Molecules, 2025, 30(4), 843. https://doi.org/10.3390/molecules30040843

3. Trojeni M.M., Samadi-Maybodi A., Shafiei H. Investigating the adsorption of volatile organic compounds from kerosene using clinoptilolite modified by CTAB surfactant. MethodsX, 2025, 103354.

4. Alcaraz M.G.T. et al. A review on the adsorptive performance of bentonite on sulfur compounds. Chemical Engineering Transactions, 2023, 103, pp. 553–558.

5. Ajemba R.O. Structural alteration of bentonite from Nkaliki by acid treatment: kinetics and properties of the modified samples. International Journal of Advanced Engineering Technology, 2014, 7(1), pp. 379–392.

6. De Luna M.D.G. et al. Optimization and kinetics of desulfurization of diesel fuel via high-shear mixing oxidation assisted by adsorption onto chitosan-coated bentonite. International Journal of Green Energy, 2018, 15(14–15), pp. 930–940.

7. Sarran M.A. et al. Oily wastewater treatment using $Fe_3O_4$/bentonite in fixed-bed adsorption columns. ChemEngineering, 2024, 8(5), 92.

8. Oriji O.G., Udemuefuna S.C., Ogar A.F. Sorption capabilities of unmodified and TBAC-modified calcium bentonite for removal of crude oil by-products. Journal of Applied Sciences & Environmental Management, 2025, 29(10).

9. Sulaymon A.H., Abd Ali Z.T. Removal of kerosene from wastewater using Iraqi bentonite. Journal of Engineering, 2010, 16(3), pp. 5422–5436.

10. Dakhil L.I.H. Removal of kerosene from wastewater using locally produced sawdust. Proceedings of the 1st International Conference of the Southern Technical University, Iraq, 2016, pp. 16–17.


ISSN 3030-3907

# ЯНГИ ТРАКТОР КОНЦЕПЦИЯСИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ ТЕНДЕНЦИЯЛАРИ

**М.Қ Камолов**
***Бухоро давлат техника университети***
**С. Н. Норов**
***Бухоро давлат техника университети***
**М.С. Уринов**
***Бухоро давлат техника университети***

**Аннотация.** Мақолада янги трактор моделининг концепсиясини ишлаб чиқиш мезонлари ёритилиб берилган бўлиб, янги инновацион тракторларни ишлаб чиқариш тенднциялари бўйича умумий таклифлар берилган. Шу билан бир қаторда Ўзбекистонда янги авлод машиналарини истиқболини белгиловчи параметрлар келтириб ўтилган. Янги тракторни лойиҳалашда техник топшириқни ишлаб чиқишдаги асосий параметрлар бўйича тавсиялар келтирилган.

**Калит сўзлар:** трактор моделининг концепсияси, бурилиш радиуси, ердан баландлиги (клиренс), тортиш синфи, машина тракторни агрегатланиши, аниқ деҳқончилик технологиялари, ҳаракат тезлиги диапазони, ўзгарувчан из кенглиги, юқори манёврчанлик;

**Аннотация.** В статье рассматриваются критерии разработки концепции новой модели трактора и даются общие предложения по тенденциям производства новых инновационных тракторов. Одновременно представлены параметры, определяющие перспективы машин нового поколения в Узбекистане. Даны рекомендации по основным параметрам разработки технических условий проектирования нового трактора.

**Ключевые слова:** концепция модели трактора, радиус поворота, дорожный просвет, класс тяги, агрегат машина-трактор, технологии точного земледелия, диапазон скоростей, переменная ширина колеи, высокая маневренность;

**Abstract.** This article examines the criteria for developing a new tractor concept and provides general proposals for trends in the production of new innovative tractors. It also presents the parameters that determine the prospects for next-generation machines in Uzbekistan. Recommendations are provided for the key parameters for developing technical specifications for the design of a new tractor.

**Keywords:** tractor concept, turning radius, ground clearance, traction class, machine-tractor combination, precision farming technologies, speed range, variable track width, high maneuverability;

**КИРИШ.**

Ўзбекистон республикаси аграр мамлакат ҳисобланади. Юртимиз иқтисодиётида қишлоқ хўжалиги катта рол ўйнайди. Қишлоқ хўжалигининг асосий соҳалари пахтачилик, ғаллачилик (шу жумладан буғдой), мева сабзавот ва тамаки, чорвачилик ва қўйчилик соҳалари киради [1]. Бу соҳаларни ривожлантириш учун янги техника ва технологияларни янги авлодини яратиш заруриятини келтириб чиқармоқда. Ҳозирги кунда кўпчилик фермер ва деҳқон хўжаликлари 1980-1990 йиллар оралиғидаги техникалардан фойдаланиб келмоқдалар. Бу трактор ва техникалар секин ишлаши юқори ёнилғи сарфи ҳамда замонавий машиналарга нисбатан техник хизмат кўрсатиш ишларига жуда кўп энергия ва вақт талаб қилиши асосий камчиликлардан бири ҳисобланади. Айниқса кичик деҳқон хўжаликларини ва фермер хўжаликларини салмоғи ошиши натижасида тупроққа ишлов берувчи қатор орасида ишлов берувчи трактор ва техникаларга талабни юзага келтирмоқда. Бунинг учун қишлоқ хўжалигида мавжуд иқлим тури, тупроқ шароитини ҳисобга олинган ҳолда, янги тракторларнинг авлодини ишлаб чиқариш шартини келтириб чиқарди. Ўзбекистонда янги авлод тракторларининг истиқболини белгиловчи асосий параметрлар техник қувват билан чекланиб қолмайди. Бугунги кунда улар рақамли технологиялар, энергия самарадорлиги ва аниқ деҳқончилик (Precision Farming) талабларига мослиги билан баҳоланмоқда. Ўзбекистон қишлоқ хўжалигида механизация ва рақамлаштириш жараёнлари жадал ривожланаётгани сабабли ушбу параметрлар янада муҳим аҳамият касб этмоқда. Бунда двигател қуввати ва ёнилғи тежамкорлиги ҳамда экологик стандартларга мос чиқинди газ тизими бўлиши керак. Бу параметрлар фермер харажатларини камайтиради ва маҳсулот таннархини пасайтиради. Аниқ деҳқончилик технологияларига мослик ўғит ва кимёвий моддаларни аниқ меъёрда сепиш; бу технологиялар ресурсларни тежаш ва ҳосилдорликни оширишга хизмат қилади.[1,2] Бухоро давлат техника унверситети “Транспорт воситалари муҳандислиги” кафедраси илмий изланувчилари томонидан янги тракторни лойиҳалаш ишлари бошланган.

Янги трактор яратишга қарор қилишдан олдин, тракторнинг имиджини шакллантириш ва истеъмолчилар талабларига жавоб берадиган янги тракторни ишлаб чиқиш зарурлигини қўллаб-қувватловчи техник ва иқтисодий маълумотларни тайёрлаш учун машаққатли ишларни бажариш керак. Тайёргарлик ишларининг ушбу қисмида маркетинг ва иқтисодий тадқиқотлар техник тадқиқотларга қараганда устувор аҳамиятга ега. Иқтисодчилар ва маркетологлар, аввало, қайси бозор бўшлиқларини тўлдириш кераклигини, талаб ҳажми ва рақобат муҳитини, келажакдаги истеъмолчининг харид қобилиятини, зарур стандарт ва ихтисослашган


ISSN 3030-3907

материаллар учун мавжуд ресурсларни, янги ишлаб чиқариш турларини йўлга қўйиш ёки мавжудларини кенгайтириш учун зарур бўлган капитал қўйилмалар миқдорини, кутилаётган фойдани ва бошқаларни аниқлашлари керак. Бугунги кунда атроф-муҳит муаммолари катта аҳамиятга ега. Бу замонавий ихтисослаштирилган ускуналарга ҳам таъсир кўрсатди. Тракторлар стандарт равишда турли хил ҳажм ва қувватга ега дизел двигателлари билан жиҳозланган. Шуни таъкидлаш керакки, қўшимча филтрлаш тизимлари зарарли чиқиндиларни сезиларли даражада камайтириши мумкин. Электр тортиш моторларидан иборат тракторлардан фойдаланиш экологик кўрсаткичлари афзалликлари билан ажралиб туради.

Янги тракторни концепсиясини ишлаб чиқишда маркетинг тадқиқотларни ўтказиш алоҳида аҳамият касб этади. Бозор таҳлили мамлакатдаги ва қўшни давлатлар бозорини ўрганиш, улар бўйича тадқиқотлар олиб бориш зарур ҳисобланади. Шу билан хориждаги тракторларга бўлган талабни ўрганишда иқтисодий прогнозларни олиб борилиши ва уларни мукаммал таҳлили ўтказилиши мақсадга мувофиқ ҳисобланади.

Ҳозирги кунда ҳар бир ташкилот ўзининг маркетинг сиёсатини мустақил равишда белгилайди. Ушбу сиёсат асосан компаниянинг маълум бир бозордаги ўрнини белгилайди. Бошқача қилиб айтганда, трактор ишлаб чиқарувчиси ўз имкониятлари доирасида маҳсулотларини сотиши ва рақобат муҳитида омон қолиши мумкин бўлган бозорлар доирасини белгилайди. Ва амалиёт шуни кўрсатадики, замонавий дунёда автомобилсозлик саноатида рақобат жуда кучли, бу соҳада деярли монополиялар йўқ. Бугунги кунда истеъмолчилар нафақат арзон нархга, балки танлаган транспорт воситасининг сифати, дизайни, хавфсизлиги, қулайлиги, амалийлиги, ишончлилиги, техник хизмат кўрсатиш қулайлиги ва бошқа кўплаб хусусиятларига ҳам эътибор қаратмоқдалар. Ҳар қандай ташкилотнинг мақсади харидорнинг функционал ва естетик ехтиёжларини қондирадиган барча мумкин бўлган мезонларга энг мос келадиган транспорт воситасини яратишдир. Лойиҳани муваффақиятли амалга оширишнинг калити пухта маркетинг тадқиқотлари бўлиши мумкин, бу охир-оқибат ишлаб чиқарилган машина-тракторларини сотишдан фойда олишга олиб келади.

Қишлоқ хўжалик ишлари учун мўлжалланган тракторлари техник концепциясини ўзгартириш янги сифат кўрсаткичларини белгилаб беради. Ҳар бир янги сифат алоҳида концепсияни ташкил қилади. Алоҳида концепсияни ишлаб чиқишда машинанинг двигател қурилмасини турига, таркиб элементининг компенентлари, умумий компоновка схемалари, машина трактор агрегатларини экстерьер ва дизайн ечимлари мисол бўлади.


ISSN 3030-3907

Алоҳида элементларининг функционал хусусиятларини кўрсаткичларини белгилашда бу алоҳида аҳамият касб этади [3,4]. Янги тракторни моделини лойиҳасини ишлаб чиқиш ва тайёрлаш 4 та асосий жараён ва 9 босқичдан иборат. (1-расм)

Янги трактор моделини концепцияси бу потенциал истеъмолчининг эҳтиёжларини қондирадиган масалан қишлоқ хўжалик ишлари бўйича мўлжалланган бўлса шу соҳа учун тракторларнинг тасвири ва техник тавсифини қидириш, протипни танлаш, техник талабларни лойиҳаларини ишлаб чиқиш, дастлабки эскиз компоновкаларни ишлаб чиқиш, маўина дизайнини экстерьер ва интерьер қисмини яратишдан иборат ҳисобланади. Шу билан бир қаторда техник топшириқларни ишлаб чиқиш босқичи ва лойиҳа эскизини ишлаб чиқиш босқичини ўз ичига олади.




**1-расм Янги тракторни ишлаб чиқиш схемаси.**

Янги трактор концепциясини ишлаб чиқишда техник топшириқ тайёрланади. Бунда барча параметрлар тўлиқ таҳлил қилиниб ўрганилади. Бунда агротехник талаблар

- қатор ораларига зарар етказмаслик;
- тупроқни ортиқча зичлаштирмаслик;
- бурилиш радиусининг кичиклиги;


ISSN 3030-3907

 ердан баландлиги (клиренс) етарли бўлиши талаб этилади.

Тракторнинг тортиш синфи ва қувват кўрсаткичларини ҳисобга олишда қуйидаги асосий параметрлар аниқланади ва техник топшириққа киритилади.

 Тортиш синфи;
 двигатель қуввати (кВт ёки от кучи);
 максимал тортиш кучи;
 ҳаракат тезлиги диапазони;
 агрегатлар билан ишлаш имкониятлари белгиланади.

Ўзбекистон шароитида 20–30 от кучига эга янги авлод пахтачилик трактори учун энг муҳим параметрлар:

- 4×4 юриш қисми;
- 450–600 мм клиренс;
- ўзгарувчан из кенглиги;
- енгил вазн;
- юқори манёврчанлик;
- маҳаллий шароитда арзон эксплуатация қилиш имкониятидир.

Янги трактор концепциясини ишлаб чиқишда фақат ташқи кўриниш эмас, балки техника, иқтисодий самарадорлик ва рақамли технологияларни биргаликда ҳисобга олиш керак. Замонавий тенденциялар электрлаштириш, автоном бошқарув, GPS-навигация ва ақлли фермерлик тизимларига йўналган.

## АДАБИЁТЛАР

1. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. PQ-431 (December 12, 2024), “On Measures to Further Increase the Level of Agricultural Mechanization.”
2. Presidential Resolution No. PQ-103 (March 29, 2023), “On Additional Measures to Stimulate the Provision of the Agricultural Sector with Modern Agricultural Machinery.”
3. Мойлиев Э.Б. Ўзбекистоннинг аграр сектори ва унинг мамлакат иқтисодиётидаги роли. ИҚТИСОД ВА МОЛИЯ / ЭКОНОМИКА И ФИНАНСЫ 2021, 6(142)
4. Даминов А., Абдазимов А.Д. Краткий анализ эволюции технической концепции сельскохозяйственного трактора // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2022. 5(98).
5. Erdal Kayacan Towards Agrobots: Trajectory Control of an Autonomous Tractor Using Type-2 Fuzzy Logic Controllers. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 20, no. 1, pp. 287-298, Feb. 2015


ISSN 3030-3907

6. M.M. Kamel Development of a Cummins ISL Natural Gas Engine at 1.4 g/bhp-hr NOx + NMHC Using PLUS Technology Cummins Westport, Inc. Vancouver, British Columbia, Canada 2025


ISSN 3030-3907

# OBTAINING AN ENVIRONMENTALLY SAFE LVD-COMPLEX INHIBITOR FOR GAS PROCESSING EQUIPMENT AND DETERMINING ITS CLEANING EFFICIENCY

**Toraeva Nodira Turabjonovna**
*Supporting doctoral student Tashkent State Technical University named after Islam Karimov*
**Badriddinova Farida Makhamadievna**
*Prof Tashkent State Technical University named after Islam Karimov*
**Matkarimova Nigora Sagdullaevna**
*Associate professor(PhD) Tashkent Chemical and Technological Institute*
**Latipova Iroda Isomitdinovna**
*Tashkent Chemical and Technological Institute*

**Abstract.** In the gas processing industry, the formation of deposits consisting of carbonate, sulfide, and corrosion products on the internal surfaces of heat exchangers and pipeline systems leads to a decrease in heat exchange efficiency, increased energy consumption, and a reduction in the service life of the equipment. In this work, a new multifunctional complex-forming reagent ( LVD-complex inhibitor ) based on citric acid, tartaric acid, and diethanolamine was synthesized for the chemical cleaning of heat exchangers. The chemical structure of the reagent was studied using infrared spectroscopy. In the IR spectrum, characteristic absorption bands corresponding to hydroxyl groups in the region of 3423.80 $cm^{-1}$, carboxyl groups in the region of 1640.53 $cm^{-1}$, amine fragments in the region of 1527.69 $cm^{-1}$, and C–O and C–N bonds in the range of 1289.47–1052.21 $cm^{-1}$ were noted. These results confirmed the simultaneous presence of carboxyl, hydroxyl, and amine functional groups in the reagent. The properties of the synthesized reagent for complex formation, dissolution of carbonate and sulfide deposits, and limitation of corrosion processes were evaluated. The results obtained showed that the LVD-complex inhibitor has the ability to form stable complexes with metal ions, effectively dissolve deposits, and form a protective layer on the metal surface. The research results show that this reagent can be used as a promising multifunctional tool for chemical cleaning of heat exchangers in the gas processing industry.

**Keywords:** gas processing, heat exchanger, chemical treatment, citric acid, tartaric acid, diethanolamine, complexing reagent, corrosion inhibitor, IR analysis, precipitation dissolution.

**Аннотация.** В газоперерабатывающей промышленности образование отложений, состоящих из карбонатов, сульфидов и продуктов коррозии, на внутренних поверхностях теплообменников и трубопроводных систем приводит к снижению эффективности теплообмена, увеличению


ISSN 3030-3907

энергопотребления и сокращению срока службы оборудования. В данной работе был синтезирован новый многофункциональный комплексообразующий реагент (ингибитор ЛВД-комплекса) на основе лимонной кислоты, винной кислоты и диэтаноламина для химической очистки теплообменников. Химическая структура реагента была изучена с помощью инфракрасной спектроскопии. В ИК-спектре были отмечены характерные полосы поглощения, соответствующие гидроксильным группам в области 3423,80 $см^{-1}$, карбоксильным группам в области 1640,53 $см^{-1}$, аминогруппам в области 1527,69 $см^{-1}$, а также связям C–O и C–N в диапазоне 1289,47–1052,21 $см^{-1}$. Эти результаты подтвердили одновременное присутствие карбоксильных, гидроксильных и аминогрупп в реагенте. Были оценены свойства синтезированного реагента в отношении комплексообразования, растворения карбонатных и сульфидных отложений и ограничения коррозионных процессов. Полученные результаты показали, что ингибитор LVD-комплекса обладает способностью образовывать стабильные комплексы с ионами металлов, эффективно растворять отложения и формировать защитный слой на поверхности металла. Результаты исследований показывают, что этот реагент может быть использован в качестве перспективного многофункционального средства для химической очистки теплообменников в газоперерабатывающей промышленности.

**Ключевые слова:** обработка газа, теплообменник, химическая обработка, лимонная кислота, винная кислота, диэтаноламин, комплексообразующий реагент, ингибитор коррозии, ИК-анализ, осаждение и растворение.

**Аннотация.** Газни қайта ишлаш саноатида иссиқлик алмашиниш аппаратлари ва қувур тизимларининг ички юзаларида карбонат, сульфид ва коррозия маҳсулотларидан ташкил топган чўкмаларнинг ҳосил бўлиши иссиқлик алмашинув самарадорлигининг пасайишига, энергия сарфининг ортишига ҳамда ускуналар хизмат муддатининг қисқаришига олиб келади. Мазкур ишда иссиқлик алмашиниш аппаратларини кимёвий тозалаш учун лимон кислотаси, вино кислотаси ва диэтаноламин асосида янги полифункционал комплекс ҳосил қилувчи реагент (ЛВД-комплекс ингибитори) синтез қилинди. Реагентнинг кимёвий тузилиши инфрақизил спектроскопия усули ёрдамида ўрганилди. ИҚ спектрда 3423,80 $см^{-1}$ соҳада гидроксил гуруҳларига, 1640,53 $см^{-1}$ соҳада карбоксил гуруҳларига, 1527,69 $см^{-1}$ соҳада амин фрагментларига ҳамда 1289,47–1052,21 $см^{-1}$ оралиғида C–O ва C–N боғларига тегишли характерли ютилиш полосалари қайд этилди. Бу натижалар реагент таркибида карбоксил, гидроксил ва амин функционал гуруҳларининг бир вақтнинг ўзида мавжудлигини тасдиқлади. Синтез


ISSN 3030-3907

қилинган реагентнинг комплекс ҳосил қилиш, карбонат ва сульфид чўкмаларини эритиш ҳамда коррозия жараёнларини чеклаш хусусиятлари баҳоланди. Олинган натижалар ЛВД-комплекс ингибиторининг металл ионлари билан барқарор комплекслар ҳосил қилиш, чўкмаларни самарали эритиш ва металл юзасида ҳимоя қатлами шакллантириш қобилиятига эга эканлигини кўрсатди. Тадқиқот натижалари мазкур реагентни газни қайта ишлаш саноатида иссиқлик алмашиниш аппаратларини кимёвий тозалаш учун истиқболли полифункционал восита сифатида қўллаш мумкинлигини кўрсатади.

**Калит сўзлар:** газни қайта ишлаш, иссиқлик алмашиниш аппарати, кимёвий тозалаш, лимон кислотаси, вино кислотаси, диэтаноламин, комплекс ҳосил қилувчи реагент, коррозия ингибитори, ИК таҳлил, чўкмаларни эритиш.

**INTRODUCTION.**

Fouling and corrosion processes on the internal surfaces of heat exchangers in the gas processing industry are a widely studied problem worldwide. Classic studies in this field define fouling on a heat exchanger surface as “a reduction in heat transfer efficiency resulting from the accumulation of unwanted substances on the working surface.” Scientists The work showed that the formation of deposits significantly increases energy consumption in industrial enterprises and reduces the reliability of equipment . In this work , the types of fouling are divided into such main groups as salt deposits, particle accumulation, corrosion products, organic substances and biological contamination [1]. Another scientific work that theoretically substantiates the process of deposit formation on hot surfaces is Cho YI. and Liu R is a model proposed by They showed that the rate of sediment formation depends on the balance between particle deposition and washout by the current. This approach is later used as a basis for many engineering calculations started [2].

Scientists have found that operating parameters - temperature, pressure and flow rate - have a strong impact on fouling intensity. Studies have shown that fouling in heat exchange networks significantly increases energy consumption. [3].

Authors Contamination of heat exchange surfaces in oil refineries showed that energy consumption can increase by 10-30%. This result proves that the formation of the pollution layer is not only a technical but also an economic problem [4].

Müller-Steinhagen showed that the deposition of mineral salts in high-temperature environments is one of the main causes of damage to heat exchange surfaces. In his work, it was scientifically proven that the formation of a solid layer of deposits from mineral salts reduces the diameter of the pipe and reduces the heat transfer coefficient [5]. In this work, the problem of corrosion in gas processing


ISSN 3030-3907

processes is also of particular importance. His studies showed that corrosion products cause the formation of new deposits, further accelerating the fouling process. [6]. Metal corrosion is defined as the degradation of a metal as a result of chemical and electrochemical reactions with the environment. Gaseous $H_2S$ and $CO_2$ in the presence of water form an acidic environment, which leads to rapid corrosion of pipelines and equipment [7]. In practical industrial studies, it has been shown that contamination of heat exchange surfaces in oil refineries can disrupt the operation of heat exchange networks, reduce safety, and shorten the service life of equipment. to reduce shown [8]. The analysis of the above studies shows that the accumulation of surface deposits and corrosion in gas processing equipment are closely related processes that reduce heat exchange efficiency, increase energy consumption, and reduce the reliability of technological equipment. Therefore, the development of chemical cleaning technologies for heat exchangers is one of the important scientific and practical tasks today.

During the operation of heat exchangers used in the gas processing industry, the formation of carbonate and sulfide deposits ($CaCO_3$, $Mg(OH)_2$, FeS), corrosion products, and organic layers reduces heat transfer efficiency, leads to increased energy consumption, and shortens the service life of technological equipment.

Most of the chemical cleaning reagents currently used are based on mineral acids and synthetic complexing agents, which have high corrosive activity, pose an environmental hazard, and require additional wastewater treatment. Therefore, in recent years, there has been a growing interest in creating environmentally safe and biodegradable reagents based on renewable raw materials.

The aim of this study is to develop a new bioreagent based on natural organic acids that simultaneously provides the properties of dissolving deposits, protecting metal surfaces from corrosion, and limiting the formation of redeposits. For this purpose, a new polyfunctional complex-forming reagent ( LVD-complex inhibitor ) was synthesized based on citric acid and tartaric acid obtained from natural sources, and diethanolamine, which has corrosion inhibitory properties. Citric and tartaric acids in the reagent are of biogenic origin, and their large number of carboxyl and hydroxyl groups allows them to form stable complexes with metal ions.

As a scientific novelty of the research, the concept of using an environmentally safe complexing inhibitor based on organic acids of biological origin for the gas processing industry was substantiated for the first time. The synthesized LVD-complex inhibitor is characterized by the simultaneous performance of several functions, such as dissolving carbonate and iron-containing deposits, complexing metal ions, inhibiting corrosion processes, and limiting the formation of redeposition. Infrared spectroscopy analyses confirmed the presence


ISSN 3030-3907

of carboxyl, hydroxyl, and amine functional groups in the reagent. These functional groups provide the reagent with high complexing ability, increasing its efficiency in the chemical cleaning process.

The obtained results showed that the LVD-complex inhibitor is not only a highly effective chemical reagent, but also a promising bioreagent obtained on the basis of environmentally safe, partially biodegradable and renewable raw materials. This makes it possible to use it as an alternative to traditional mineral acid reagents used in the gas processing industry.

## MATERIALS AND METHODS.

**2.1 Materials** In the study, a polyfunctional complexing inhibitor composition was prepared based on tartaric acid, citric acid, and diethanolamine (DEA). The organic acids included in the composition were selected as complexing components, and diethanolamine was selected as a corrosion inhibitor component.

### 2.2. Methods

**Infrared (IR) spectra** were obtained using an IRTracer-100 infrared spectrometer (PerkinElmer Spectrum IR Version 10.6.1, USA, 2017). Measurements were performed using a MIRacle-10 attachment (aborted total internal reflectance, ATR) and a diamond/ZnSe prism. The spectral range was 4000–400 $cm^{-1}$, the resolution was 4 $cm^{-1}$, the signal-to-noise ratio was 60,000:1, and the scanning rate was 20 spectra per second.

**Synthesis of a polyfunctional complex-forming reagent based on L imonic acid and tartaric acid diethanolamine**

In the study, a laboratory apparatus equipped with a 250 ml three-necked flask, a mechanical stirrer, a thermometer and a reflux condenser was used to synthesize the complex-forming inhibitor composition. To prepare the reaction mixture, citric acid and tartaric acid were first dissolved in a certain ratio in distilled water. The resulting homogeneous solution was heated under constant stirring. Then, diethanolamine was added gradually to the reaction medium and stirring was continued. The temperature was controlled during the reaction and maintained for a certain time to allow the components to interact. The reflux condenser was used to prevent evaporation of the solvent in the reaction medium.

After the reaction was complete, the resulting product was cooled to room temperature and filtered to remove mechanical impurities. The resulting composition was stored in closed containers and prepared for further analysis. The functional groups and chemical structure of the synthesized reagent were studied using the infrared spectroscopy method. Complex formation properties were evaluated in the presence of calcium and iron ions. Corrosion inhibitory efficiency was determined by mass loss method of metal samples. Also, the chemical structure of the synthesized citric acid-tartaric acid-diethanolamine-based polyfunctional


ISSN 3030-3907

complex-forming reagent was studied using the IR-spectroscopy method. (Figure 1).

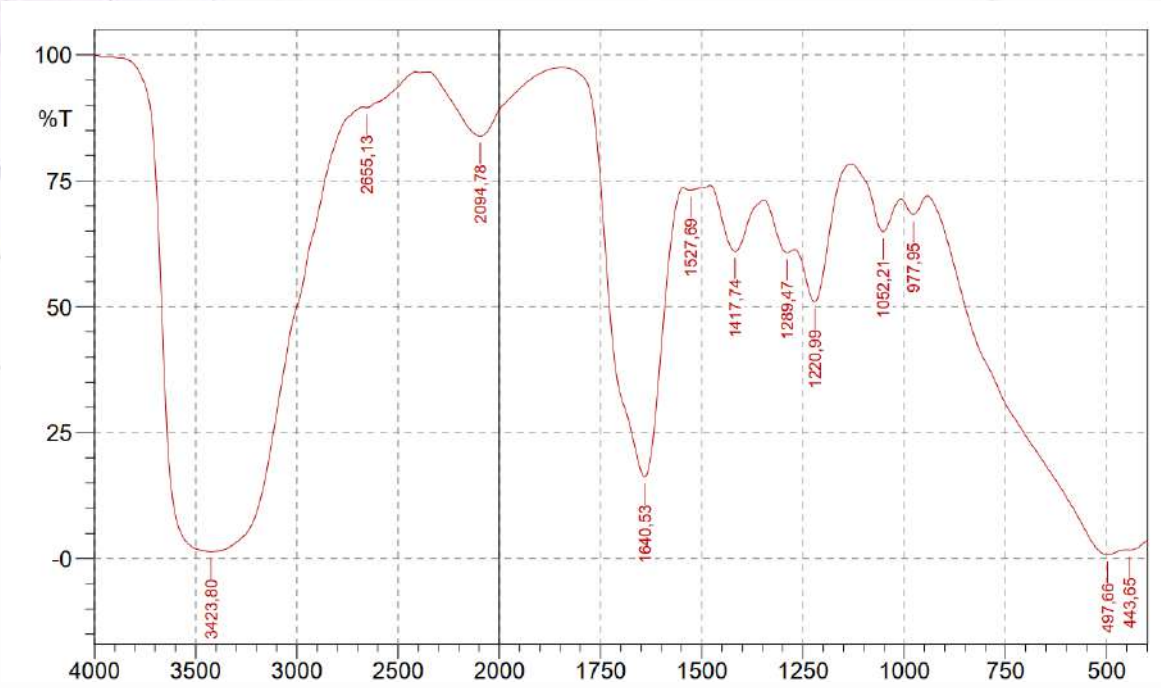



**Figure 1. Synthesis of a new multifunctional complex-forming reagent ( LVD-complex inhibitor ) based on citric acid, tartaric acid, and diethanolamine IR spectrum**

The obtained IR spectrum results confirmed the presence of carboxyl, hydroxyl and amino functional groups in the reagent.

The broad and intense absorption band observed in the spectrum at 3423.80 $cm^{-1}$ corresponds to the valence vibrations of hydroxyl (–OH) groups. This band appeared as a broadening as a result of the formation of hydrogen bonds between the hydroxyl and carboxyl groups in citric and tartaric acids. This indicates that a large number of hydroxyl and carboxyl centers were preserved in the synthesized composition. The strong absorption line at 1640.53 $cm^{-1}$ is explained by the asymmetric vibrations of the carboxyl groups and the effect of ion pairs formed with the amine components. This absorption is one of the main signs indicating the interaction between citric acid, tartaric acid and diethanolamine.

The absorption in the region of 1527.69 $cm^{-1}$ corresponds to deformation vibrations involving amine fragments. This signal confirms that the diethanolamine molecule is included in the reagent. At the same time, the band at 1417.74 $cm^{-1}$ belongs to the symmetric vibrations of carboxylate anions, indicating that a certain part of the acids has been neutralized by the amine and converted to the carboxylate form. The absorption bands observed in the regions of 1289.47 and 1220.99 $cm^{-1}$ are associated with vibrations of the C–O and C–N bonds, indicating the presence of complex structures formed as a result of the interaction between the acid and amine components. The intense band at 1052.21 $cm^{-1}$ is characteristic of vibrations


ISSN 3030-3907

of the C–O–C and alcohol-derived C–O groups, confirming the preservation of the oxygen-containing functional groups of citric and tartaric acids. Absorption in the region of 977.95 $cm^{-1}$ corresponds to deformation vibrations of oxygen-containing organic compounds. The signals observed in the low-frequency part of the spectrum at 497.66 and 443.65 $cm^{-1}$ are explained by spatial interactions and skeletal vibrations between functional groups within the molecule.

Thus, the results of IR analysis showed that the synthesized reagent contains hydroxyl, carboxyl and amine functional groups at the same time. It is these functional groups that provide the reagent with the properties of forming complexes with calcium and iron ions, dissolving carbonate and sulfide deposits, and forming a protective layer on the metal surface. The results obtained indicate that the composition based on citric acid–tartaric acid–diethanolamine is a promising multifunctional reagent for chemical cleaning of heat exchangers in the gas processing industry.

The properties of the synthesized citric acid, tartaric acid and diethanolamine-based polyfunctional complex-forming reagent to dissolve carbonate and sulphide deposits and to protect the metal surface from corrosion were confirmed in model systems .

Based on the results of the experiment, the degree of dissolution of the precipitates, the change in the concentration of metal ions in the solution, and the mass loss of the metal samples were determined. The obtained results are presented in Table 1, which allow to evaluate the complex-forming and inhibitory properties of the synthesized composition.

**Table 1.**

**Effect of citric acid–tartaric acid–diethanolamine complexing reagent on model sediments (sample format)**

| Index | Initial value | After exposure to the reagent | Change |
|---|---|---|---|
| Mass of $CaCO_3$, g | 5.00 | 1.15 | 77.0% dissolved |
| Mass of FeS, g | 5.00 | 2.05 | 59.0% dissolved |
| Mass loss of steel sample, mg | 125 | 38 | 69.6% decrease |
| Concentration of $Ca^{2+}$ in solution, mg/l | 120 | 910 | Increased by 7.6 times |
| $Fe^{3+}$ concentration in the solution, mg/l | 35 | 240 | Increased by 6.9 times |


ISSN 3030-3907

| | | | |
|---|---|---|---|
| pH | 2.8 | 3.4 | exceeded |

The results show that the synthesized reagent exhibited high complexation properties compared to natural carbonate and sulfide precipitates. The 77% dissolution of the $CaCO_3$ sample is explained by the formation of stable complexes with calcium ions by the carboxyl groups in the reagent. The 59% dissolution rate observed for the FeS precipitate is related to the ability of the reagent to bind iron ions. The increase in the concentration of calcium and iron ions in the solution confirms the transition of mineral precipitates from the solid phase into the solution. This indicates the presence of complexation properties of the reagent.

According to the results of corrosion tests, the mass loss of the metal sample in the presence of the reagent was significantly reduced. This is explained by the formation of an adsorption protective layer of diethanolamine fragments on the metal surface. As a result, the reagent not only acts as a scale dissolver, but also as an inhibitor that limits corrosion.

show the possibility of using the composition based on citric acid-tartaric acid-diethanolamine as a multifunctional reagent with the properties of simultaneously dissolving deposits, protecting the metal surface, and keeping dissolved salts in a stable state .

**CONCLUSION.**

An LVD-complex inhibitor based on citric acid–tartaric acid–diethanolamine was synthesized and its chemical cleaning efficiency was evaluated. FTIR analyses revealed absorption bands characteristic of hydroxyl, carboxyl and amine functional groups in the regions of 3423.80 $cm^{-1}$, 1640.53 $cm^{-1}$ and 1527.69 $cm^{-1}$. Under the influence of the reagent, 77.0% of the $CaCO_3$ precipitate and 59.0% of the FeS precipitate were dissolved. The mass loss of the metal sample decreased from 125 mg to 38 mg, and the corrosion inhibition efficiency was 69.6%. The results obtained showed that the LVD-complex inhibitor is an environmentally safe multifunctional bioreagent with the properties of dissolving precipitates, protecting the metal from corrosion and limiting the formation of redeposition.

**REFERENCES**

1. Georgiadis MC, Papageorgiou LG, Macchietto S. Optimal Cleaning Policies in Heat Exchanger Networks under Rapid Fouling // *Industrial & Engineering Chemistry Research* . - 2000. - Vol. 39, No. 2. – P. 441–454. DOI: 10.1021/ie990166c. ( pubs.acs.org )

2. Cho YI, Liu R., McFarland WJ, Fusegni L. Study of Scale-Removal Methods in a Double-Pipe Heat Exchanger // *Heat Transfer Engineering* . - 2000. - Vol. 21, No. 3. – P. 50–57. DOI: 10.1080/014576300270906. ( Tandfonline )


ISSN 3030-3907

3. Smaïli F., Vassiliadis VS, Wilson DI Mitigation of Fouling in Refinery Heat Exchanger Networks by Optimal Management of Cleaning // *Energy & Fuels* . - 2001. - Vol. 15, No. 5. – P. 1038–1056. DOI: 10.1021/ef010052p. ( pubs.acs.org )
4. Kakac S., Liu H. *Heat Exchangers: Selection, Rating and Thermal Design* . - 2nd ed. – Boca Raton: CRC Press, 2002. – 472 p.
5. Müller-Steinhagen H., Malayeri MR, Watkinson AP Fouling of Heat Exchangers – New Approaches to Solve an Old Problem // *Heat Transfer Engineering* . - 2005. - Vol. 26, No. 2. – P. 1–4. DOI: 10.1080/01457630590889906. ( Tandfonline )
6. Behbahani RM, Müller-Steinhagen H., Jamialahmadi M. Heat Exchanger Fouling in Phosphoric Acid Evaporators // *Heat Transfer Engineering* . - 2007. - Vol. 28, No. 4. – P. 292–298. DOI: 10.1080/01457630601122468. ( Tandfonline )
7. Zhang X., Li H., Tang K. Gas-Side Fouling, Erosion and Corrosion of Heat Exchangers for Middle/Low Temperature Waste Heat Utilization: A Review on Simulation and Experiment // *Applied Thermal Engineering* . - 2017. - Vol. 126. – P. 737–761. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.07.095. ( ScienceDirect )
8. Al-Moubaraki AH, Obot IB Corrosion Inhibitors for Acid Cleaning of Desalination Heat Exchangers: Progress, Challenges and Future Perspectives // *Journal of Molecular Liquids* . - 2019. - Vol. 296. – Article 111760. DOI: 10.1016/j.mollik.2019.111760. ( ScienceDirect )
9. Joshi HM, Kazi SN, Duffy GG A Review of Crystallization Fouling in Heat Exchangers // *Processes* . - 2021. - Vol. 9, No. 8. – Article 1356. DOI: 10.3390/pr9081356. ( MDPI )


ISSN 3030-3907

# PROPERTIES OF COMPLEX ADDITIVES AND INDUSTRIAL WASTES ADDED TO FOAM CONCRETE

**Turapov Farxod Khursanovich**
***TSUEA senior lecturer***
**Rajabov Ramozon Shukhratovich**
***TSUEA assistant lecturer***
**Saitmuratov Bobur Sobir o‘g‘li**
***TSUEA assistant lecturer***
**Boymurodova Aziza Otabekovna**
***TSUEA student***
***Tel:+99891-229-75-75.***
***E-mail. farkhodturapov@mail.ru***

**Annotatsiya.** Issiqlik izolyatsion materiallarga bo‘lgan extiyoj yil sayin oshib borayotgan bir paytda mahalliy va sanoat chiqindilari asosida yuqori samaradorlikga ega kompozitsion materiallarni ishlab chiqarish ushbu muammoni yechimlaridan biri bo‘la oladi. Ushbu materiallarning bir turi ko‘pikbeton hisoblanadi.

**Kalit so‘zlar:** issiqliq himoyalovchi, ko‘pik xosil qiluvchi, urbanizatiya, kompleks qo‘shimcha, sanoat chiqdisi, metalugiya shlagi, ikkilomchi.

**Аннотация.** В условиях ежегодного роста потребности в теплоизоляционных материалах производство высокоэффективных композиционных материалов на основе местных и промышленных отходов может стать одним из решений данной проблемы. Одним из видов таких материалов является пенобетон.

**Ключевые слова:** теплоизоляционный, пенообразующий, урбанизация, комплексная добавка, промышленные отходы, металлургический шлак, вторичный.

**Annotation.** One of the solutions to this problem is the production of highly efficient composite materials on the basis of domestic and industrial waste, while the need for heat insulation materials is increasing year by year. One of these materials is foam concrete.

**Keywords:** heat-shielding, foaming agent, urbanization, complex additive, industrial output, metallurgical slag, secondary.

## INTRODUCTION.

By using industrial waste as secondary material resources, it is possible to solve a number of important tasks such as conserving raw materials, preventing pollution of water bodies, soil and air, increasing the production of spare parts and products, and mastering the production of new products for enterprises.


ISSN 3030-3907

The development of industry and the growth of urbanization in any country inevitably lead to environmental problems. Over the past 15 years, the strategy of waste utilization has significantly changed in both industrialized and developing countries. The main reasons for such changes are: environmental pollution and its negative impact on health, changes in environmental policy and legislation, and the influence of public movements on environmental protection. In industrially developed countries, waste management policy is mainly aimed at reducing the amount of waste and developing methods for its disposal. This makes it possible to reduce the flow of waste disposed of at relatively low cost by up to 40 percent.

Therefore, today the global trend in the field of waste utilization in the world is aimed at transitioning from disposal and incineration to industrial recycling. This article considers the formation of certain types of waste by industrial complexes and their characteristics, taking into account the diversity of industrial waste.

**MATERIALS ANALYSIS AND RESEARCH.** For the continuous consideration of secondary by-products, they can be classified according to the industries in which they are generated.

From this point of view, they can be divided into the following groups:

1. Secondary products of metallurgy: blast furnace, ferroalloy and smelting slags; slags from non-ferrous ore smelting; ore beneficiation products, nepheline and others (powder-like products).

2. Secondary products of thermal energy and fuel industry: ash, fuel slags, materials extracted from mines, coal enrichment products, oil-gas pitch (a substance remaining after boiling tar, used as an insulating varnish), acid gudron (waste).

3. Secondary products of the chemical industry: wastes containing iron and gypsum; sludges containing salts and hydroxides and simple products; phosphorus slags, secondary polymer products.

4. Secondary products of the mining industry: overburden rocks exposed during the extraction of mineral resources and rocks extracted along with them.

5. Secondary products from processing raw materials obtained from wood and other plants: bark, chips, sawdust, lignin, cotton stalks, hemp waste and others.

6. Secondary products in the production of construction materials: cement, asbestos cement, glass, ceramic waste, polymer production, non-metallic industry, concrete and reinforced concrete.

7. Urban waste: worn-out vehicle tires, rags, paper waste, solid residues of wastewater, used polymer materials.

Therefore, the structure of production of artificial porous aggregates can be improved by producing agloporite, slag pumice and other aggregates from industrial waste, especially from fuel-containing raw materials.


ISSN 3030-3907

*Metallurgical slags*. The main amount of waste from metallurgical processes is formed in the form of slag. Slags are products of high-temperature interaction of the components of the initial materials (fuel, ore, molten substances and gaseous environment). Their chemical composition and structure vary depending on the porous (loose) structure of the composition, the type of smelted metal, the characteristics of the metallurgical process, and the cooling conditions. Metallurgical slags are divided into ferrous and non-ferrous slags.

Depending on the nature of the process and the type of furnace, ferrous metallurgy slags are divided into the following types: blast furnace, steelmaking (open-hearth, converter, Bessemer and Thomas, electric smelting); ferroalloy production; cupola slags.Among them, the blast furnace produces the largest amount of slag, where slag amounts to 0.6–0.7 tons per 1 ton of pig iron. The amount of slag produced during the smelting of 1 ton of steel is significantly lower: in the open-hearth process – 0.2–0.3 tons; in Bessemer and Thomas processes – 0.1–0.2 tons. During steel smelting in electric furnaces – 0.1–0.4 tons; in ferroalloy production and cupola processes, the amount of slag is relatively small. In non-ferrous metallurgy, the amount of slag formed depends on the composition of the initial charge. When copper concentrates containing 10–15% copper are smelted in reverberatory furnaces, the slag output is 10–20 tons per 1 ton of metal. When smelting in shaft furnaces, if the copper ore contains 1–2% copper, the slag amounts to 50–100 tons; during shaft smelting of acidified nickel ore – 100–200 tons.

The chemical composition of blast furnace slag is represented by four main oxides:

CaO (29–30%), MgO (0–18%), $Al_2O_3$ (5–23%) and $SiO_2$ (30–40%). They contain small amounts of iron oxides (0.2–0.6%) and manganese (0.3–1%), as well as sulfur (0.5–3.1%). In addition to the main components, non-ferrous metallurgical slags may contain small amounts of trace metals such as copper, zinc, lead, nickel, and others.

When evaluating slags as raw materials, an important characteristic for construction materials is the ratio of basic and acidic oxides in their chemical composition, i.e., the basicity modulus:

$M_o$-$(SaO+ MgO)/(SiO_2 + Al_2O_3)$,

$M_o > 1$ — *If it is greater than 1, the slags are classified as basic;*

$M_o < 1$ — *If it is less than 1, the slags are classified as acidic.*

The chemical composition of slag melts directly affects their physical properties, structure, solidification, and the properties of the solidified slags. An increase in calcium oxide content in slags leads to an increase in melting temperature and a decrease in fluidity. The oxides included in the slag composition


ISSN 3030-3907

form various minerals. Based on the analysis of phase diagrams corresponding to oxide systems, it has been established that slags contain about forty binary and ternary compounds, among which silicates, aluminosilicates, aluminates, and ferrites occupy a leading position. In almost all metallurgical slags, along with crystalline products in varying amounts, there is also a glassy phase.

In dumped and slowly cooled basic slags, the glass content is not high; however, in blast furnace slags this amount reaches up to 98%. Glass is a thermodynamically unstable phase, and it to some extent determines the chemical activity of the slag. It has been established that slag glasses interact with water much more intensively than crystalline mineral phases.

Among all types of metallurgical slags, blast furnace slags are widely used in the production of construction materials. Their extensive use in the overall slag balance is mainly due to the similarity of their composition to cement mixtures, their acquisition of hydraulic activity during rapid cooling, and other factors. The main volume of blast furnace slag is obtained during the smelting of pig iron and cast steel. Blast furnace slags are products of the interaction of fluxes (calcium and magnesium carbonates), gangue from iron ore, and coke ash. The composition of slags varies depending on the composition of the iron ore and coke, which differs according to regions.

In the slags produced by metallurgical plants of the central regions and the south of Russia, the content of $Al_2O_3$ is low (6...10%), while the content of CaO is relatively high (up to 50%), and sulfide sulfur reaches up to 3...4%.

In the Ural and Kuznetsk metallurgical basins, slags are smelted from iron ores rich in aluminum oxide and low-sulfur coke; the content of $Al_2O_3$ reaches up to 20%, and sulfide sulfur up to 1%.

For the slag of the first group, $M_0 > 2$, while for the second group $M_0 < 1$; the observed difference lies in hydraulic activity and other properties. In general, basic slag glass has significantly higher hydraulic activity compared to acidic slag glass.

The chemical activity of slag is determined by the quality coefficient K according to the following formula:

*when contained up to MgO* 10% :

$K = CaO + Al_2:O + MgO/SiO_2 + TIO2$

when it is above *MgO* 10%:

$K = CaO + Al_2O + 10/SiO_2 + TiO_3 + (MgO-10)$

The essence of the widely used slag processing method is granulation, i.e., the slag melt is rapidly cooled using water, steam, and air, as a result of which glassy granules with a size up to 10 mm are formed. Two granulation methods are used: wet and semi-dry.


ISSN 3030-3907

In wet granulation, rapid solidification of molten slag is usually carried out in reinforced concrete basins filled with water. The equipment for wet granulation is not complex, has high productivity, and does not require large financial costs for the technological process. However, wet granulation has high moisture content (10–30%), which leads to freezing in winter, increases transportation costs, and creates the need for drying with additional energy consumption. Semi-dry granulation is more efficient and is based on a combined solidification method of slags: first with water, then in air. The final moisture content of granulated slag reaches 4–7%.

Mainly blast furnace slag is granulated. The main portion of granulated blast furnace slag is used in the production of slag Portland cement. They are also used in the production of local clinker-free binders, slag-alkali concrete, mineral wool, slag-crystalline products, and as fillers for cement and asphalt concretes.

In the CIS countries, more than 60% of steelmaking slag is obtained from open-hearth (Martin) production and more than 35% from converter production. About 30% of steelmaking slags are processed; in ferroalloy production, slag is mainly used as crushed stone, and slag powder is used as mineral fertilizer.

Slag from non-ferrous metallurgy is currently used only in small quantities in cement production as an iron-containing component and active mineral additive, as well as in mineral wool and cast product manufacturing.

**Fuel and energy industry wastes.** Solid coal waste is used as low-grade fuel. In world practice, coal wastes are used for filling mined-out ore deposits. Coal waste is formed during coal enrichment processes for coking, energy, and other purposes, and consists of a mixture of sedimentary rocks, coal, and coal reserves. Waste is used as energy raw material for re-burning, gas processing, sulfur extraction, production of construction materials, construction of underground structures, and land reclamation.

Ash and slag wastes are produced when solid fuel is burned in thermal power plant furnaces at temperatures of 1200–1700°C.

Fuel-containing products include wastes formed during extraction, enrichment, and combustion of solid fuels. Stone coal and brown coal are the main types of solid fuel. During coal mining and enrichment, mine and overburden rocks, as well as coal enrichment waste, serve as by-products.

Slag and ash. Slags are the main wastes formed during the lump combustion of fuel. During pulverized combustion, slag formation accounts for 10–25% of ash content. Slags are formed as a result of sintering of individual particles on furnace grates at temperatures above 1000°C or cooling of the molten mineral part of fuel at temperatures above 1300°C.


ISSN 3030-3907

**METHOD.** Coal enrichment wastes with the least variable composition and properties are of great interest for use in the production of construction materials. They exist in various forms: argillites, siltstones, sandstones, etc. The unseparated coal content during the enrichment process may reach up to 20%. Coal enrichment wastes are mainly in the form of 8–80 mm fragments.

After the main processing in coking chemical production plants, products remain in the form of sludges with moisture up to 30% and particle sizes smaller than 0.14 mm, mine rock materials consisting of fuel with a size of 3 mm, as well as large fragment residues.

Loose rocks corresponding to stone coal deposits are products of combustion, while glieys are clay and clay-sandy rocks baked in underground fires within coal seams, and burned mine wastes are also considered their types.

Natural burned rock reserves are widely distributed in various regions of the country. Their true density is 2.4–2.7 g/cm³, bulk density 1300–2500 kg/m³, compressive strength 20–60 MPa. In terms of their main physical and chemical properties, they are close to clays calcined at 800–1000°C. The chemical-mineralogical composition of burned rocks is diverse, but the common feature is the presence of radially structured active alumina from dehydrated clay minerals, or active alumina, silica, and iron compounds. Unlike ash and slag, burned rocks contain almost no glassy components and are characterized by high sorption capacity. The unburned fuel content is 2–3%, while in waste burned rocks it may be significantly higher.

If the fuel component contains a large amount of carbonates, low-basic silicates and calcium ferrites capable of interacting with water are formed in the ash.

Conclusion: Ashes of brown coal and stone coal from several deposits in Central Asia and Siberia, as well as combustible shales, contain high-calcium ash.

Ash contains small amounts of the following impurities: free calcium and magnesium oxides, sulfates, sulfides, etc.

Ashes usually contain carbon in various forms and as coke residues. Their content depends on the type of fuel: for coal and combustible shales it is less than 4% according to standard indicators, for stone coal 3–12%, and for anthracite 15–25%. The amount of unburned particles is lower in fine-dispersed ash fractions compared to coarse-dispersed ash.

The chemical composition of ash wastes varies depending on the coal deposit. The approximate content of the main oxides in different thermal power plant (IES) ashes, %: $SiO_2$ – 37–63; $Al_2O_3$ – 9–37; $Fe_2O_3$ – 4–17; CaO – 1–32; MgO – 0.1–5; $SO_3$ – 0.5–2.5; $Na_2O + K_2O$ – 0.5–5. The loss on ignition, which characterizes the amount of unburned coal particles in the ash, is 0.5...30%.


ISSN 3030-3907

Important indicators of ash quality are its dispersity and granulometric composition. The dispersity of ash waste is expressed by the specific surface area determined by the air permeability method, as well as by the residue on sieves. There is no direct correlation between these two indicators. The specific surface area of ash wastes is 1000...4000 $cm^2/g$. In many cases, it approaches the specific surface area of cement. Ashes with a high content of unburned fuel residues have higher specific surface area values.

Many thermal slags are characterized mainly by a high content of iron oxides in acid slags (20% and more). The glassy phase content is 85...89%, while in basic slags it may be lower. The crystalline phase may contain mullite, gehlenite, pseudowollastonite, dicalcium silicate, and other minerals. Ashes and slags of thermal power plants are classified into 6 types according to the content of unburned coal particles (%): up to 1–5; 2,6. .10; 3-11... 15; 4-16...20; 5-21...25, 6 more than 25.

## LIST OF REFERENCES

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60 son ―2022-2026 yillarda yangi O‘zbekistonni rivojlantirish strategiyasi to‘g‘risidagi Farmoni
2. Role of filler in porozed arbolt, TF Khursanovich Galaxy International Interdisciplinary Research Journal 10 (11), 1108-1109
3. Study of the physical-mechanical properties of foam-concrete, TF Khursanovich American Journal of Research in Humanities and Social Sciences 14, 26-30
4. Production of insulation boards based on crushed cotton and cement TF Khursanovich American Journal of Pedagogical and Educational Research 12, 232-235
5. Use of heat insulation wall materials in construction, FK Turapov American Journal of Technology and Applied Sciences 5, 27-30
6. Dry construction mixed for foam concrete TF Khursanovich Academicia Globe: Inderscience Research 3 (05), 201-204
7. Исследование влияния суперпластификаторов на физико-механические свойства бетона, ФХ Турапов, АК Холтаева Проблемы геологии и освоения недр, 477-478
8. Penobeton uchun xomashyolar tasnifi “Arxitektura-qurilish sohalarida kadrlar tayyorlash tizimini takomillashtirishning dolzarb muammolari”. -texnik konfrensiya, 2024-yil.


ISSN 3030-3907

# VIRUSLI PNEVMONIYA TASHXIS MA’LUMOTLARIGA RAQAMLI ISHLOV BERISH JARAYONINING IDEF0 VA IDEF3 MODELI

**Nodira Naim**

***Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, Raqamli texnologiyalar konvergensiyasi kafedrasi***

**Annotatsiya.** Mazkur maqolada ko‘krak qafasi rentgen tasvirlari asosida sog‘lom, pnevmoniya va COVID-19 holatlarini aniqlashga mo‘ljallangan tashxislash axborot tizimining IDEF0 va IDEF3 modellari ishlab chiqildi. IDEF0 metodologiyasi yordamida tizimning kirish ma’lumotlari, boshqaruv mezonlari, chiqish natijalari va bajaruvchi mexanizmlari aniqlandi. IDEF3 modeli orqali esa rentgen tasvirlarini qabul qilish, sifatini tekshirish, oldindan raqamli ishlov berish, diagnostik belgilarni ajratish, sun’iy intellekt algoritmi asosida uch sinfli klassifikatsiya qilish va yakuniy tashxis xulosasini shakllantirish bosqichlari ketma-ket tavsiflandi. Taklif etilgan yondashuv tibbiy tasvirlar asosida tashxislash jarayonini funksional va jarayonli jihatdan ilmiy asoslashga xizmat qiladi.

**Kalit so‘zlar.** Pnevmoniya, COVID-19, sog‘lom holat, rentgen tasviri, IDEF0, IDEF3, tashxislash axborot tizimi, raqamli ishlov berish, sun’iy intellekt, uch sinfli klassifikatsiya.

**Аннотация.** В данной статье разработаны модели IDEF0 и IDEF3 диагностической информационной системы, предназначенной для выявления здорового состояния, пневмонии и COVID-19 на основе рентгеновских снимков грудной клетки. С помощью методологии IDEF0 определены входные данные системы, управляющие критерии, выходные результаты и исполнительные механизмы. Посредством модели IDEF3 последовательно описаны этапы приема рентгеновских изображений, проверки их качества, предварительной цифровой обработки, выделения диагностических признаков, трехклассовой классификации на основе алгоритма искусственного интеллекта и формирования итогового диагностического заключения. Предложенный подход служит научному обоснованию процесса диагностики на основе медицинских изображений с функциональной и процессной точек зрения.

**Ключевые слова:** пневмония, COVID-19, здоровое состояние, рентгеновское изображение, IDEF0, IDEF3, диагностическая информационная система, цифровая обработка, искусственный интеллект, трехклассовая классификация.

**Abstract.** This article develops IDEF0 and IDEF3 models of a diagnostic information system designed to identify healthy condition, pneumonia, and COVID-19 based on chest X-ray images. Using the IDEF0 methodology, the system’s input data, control criteria, output results, and implementation

mechanisms are defined. Through the IDEF3 model, the stages of receiving X-ray images, checking their quality, performing preliminary digital processing, extracting diagnostic features, carrying out three-class classification based on an artificial intelligence algorithm, and forming the final diagnostic conclusion are described sequentially. The proposed approach provides a scientific basis for the medical image-based diagnostic process from functional and process-oriented perspectives.

**Keywords:** pneumonia, COVID-19, healthy condition, chest X-ray image, IDEF0, IDEF3, diagnostic information system, digital processing, artificial intelligence, three-class classification.

**KIRISH.**

Hozirgi vaqtda tibbiyot sohasida raqamli texnologiyalar, sun’iy intellekt algoritmlari va tibbiy tasvirlarga avtomatlashtirilgan ishlov berish usullaridan foydalanish diagnostika jarayonlarining samaradorligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etmoqda. Ayniqsa, o‘pka kasalliklarini erta aniqlash va shifokor qarorini qo‘llab-quvvatlashda ko‘krak qafasi rentgen tasvirlari asosiy axborot manbalaridan biri sifatida qo‘llaniladi.

Pnevmoniya va COVID-19 holatlarini aniqlash jarayoni bir nechta bosqichlardan iborat: rentgen tasvirini qabul qilish, tasvir sifatini tekshirish, oldindan ishlov berish, diagnostik belgilarni ajratish, klassifikatsiya qilish va yakuniy xulosa shakllantirish. Ushbu jarayonni axborot tizimi sifatida loyihalashda faqat algoritmni tanlash yetarli emas, balki axborot oqimlari, boshqaruv omillari va bajaruvchi mexanizmlarni ham modellashtirish talab etiladi.

Ushbu tadqiqotda model uchta diagnostik sinfni aniqlashga yo‘naltiriladi: sog‘lom holat, pnevmoniya holati va COVID-19 bilan bog‘liq o‘pka zararlanishi holati. Dataset tarkibi rentgen tasvirlari va ularga mos sinf yorliqlaridan iborat bo‘lganligi sababli klinik belgilar va laborator ko‘rsatkichlar bevosita model kirish ma’lumoti sifatida emas, balki shifokor ekspert bahosi yoki kelgusida kengaytiriladigan komponent sifatida qaraladi.

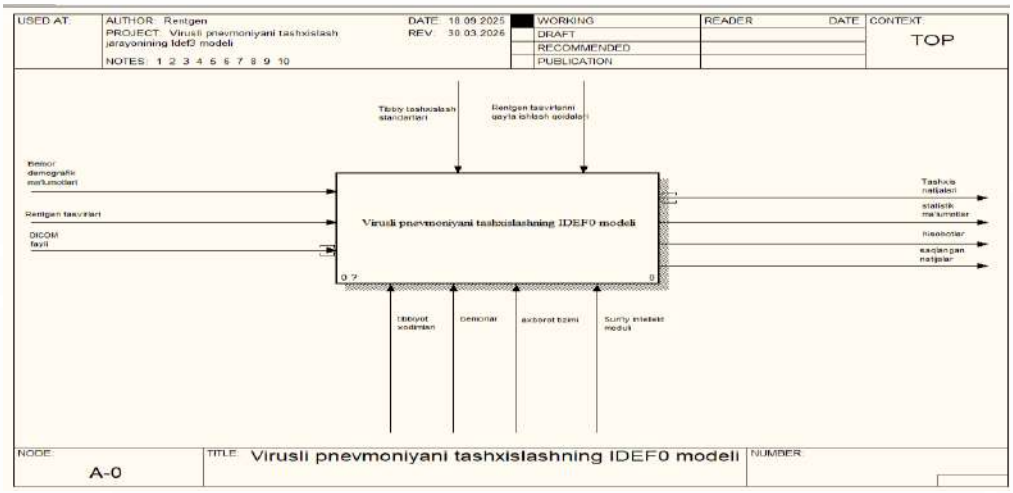
**ADABIYOTLAR TAHLILI.** So‘nggi yillarda tibbiyot axborot tizimlari, rentgen tasvirlariga raqamli ishlov berish va sun’iy intellekt asosida pnevmoniya hamda COVID-19 holatlarini aniqlash bo‘yicha ko‘plab tadqiqotlar olib borilmoqda. Fedorova IDEF0 metodologiyasining murakkab tizimlarni funksional bloklarga ajratishdagi ahamiyatini ko‘rsatgan bo‘lsa, Takyi elektron tibbiy yozuvlar tizimida jarayon modelini ishlab chiqish orqali tibbiyot axborot tizimlarida axborot oqimlarini modellashtirish zarurligini asoslagan. Tummers va hammualliflari esa sog‘liqni saqlash axborot tizimlari uchun referens arxitektura ishlab chiqib, bunday tizimlarni ko‘p komponentli tuzilma sifatida qarash lozimligini ta’kidlagan [1,2,3].


ISSN 3030-3907

Pnevmoniya va COVID-19ni rentgen tasvirlari asosida aniqlash bo‘yicha Khan, Rahman, Ibrahim, Casanova, Chen kabi tadqiqotchilar chuqur o‘qitish modellaridan foydalanganlar. Ularning ishlarida CNN, ResNet, DenseNet, EfficientNet, MobileNet kabi modellar yordamida rentgen tasvirlarini sog‘lom, pnevmoniya va COVID-19 sinflariga ajratish imkoniyati ko‘rsatilgan. Rahman va hammualliflari tasvirlarga oldindan ishlov berish klassifikatsiya aniqligini oshirishini, Ibrahim va Mohan esa uch sinfli tasniflash yondashuvi sog‘lom, pnevmoniya va COVID-19 holatlarini farqlashda samarali ekanini asoslagan [4,5,6,7,8].

**TADQIQOT METODOLOGIYASI.** Virusli pnevmoniyani tashxislash axborot tizimini modellashtirishda IDEF0 va IDEF3 metodologiyalaridan kompleks foydalanildi. Ushbu yondashuv tizimni ikki xil nuqtai nazardan tahlil qilish imkonini beradi: birinchidan, tizimning funksional tuzilmasini aniqlash, ikkinchidan esa jarayonlarning bajarilish ketma-ketligini tavsiflash.

Virusli pnevmoniyani tashxislash IDEF0 modeli - bemor haqidagi ma’lumotlar, ko‘krak qafasi rentgen tasviri va klinik tavsiyalar asosida tashxis jarayonini funksional jihatdan ifodalovchi strukturaviy model hisoblanadi. Mazkur model yordamida tashxislash jarayonining kirish ma’lumotlari, boshqaruvchi omillar, bajaruvchi mexanizmlar hamda chiqish natijalari o‘rtasidagi o‘zaro bog‘lanishlar aks ettiriladi (1-rasm).




**1-rasm. Virusli pnevmoniyani tashxislashning IDEF0 kontekst modeli**

Ushbu modelda kirish (Input) sifatida bemor demografik ma’lumotlari, bemorning kasallik qaydlarida berilgan tavsiyalar hamda DICOM fayl ko‘rinishidagi rentgen tasviri qabul qilinadi. Ushbu ma’lumotlar tizimga asosiy axborot oqimi sifatida kirib, keyingi tahlil bosqichlari uchun zarur manba vazifasini bajaradi.

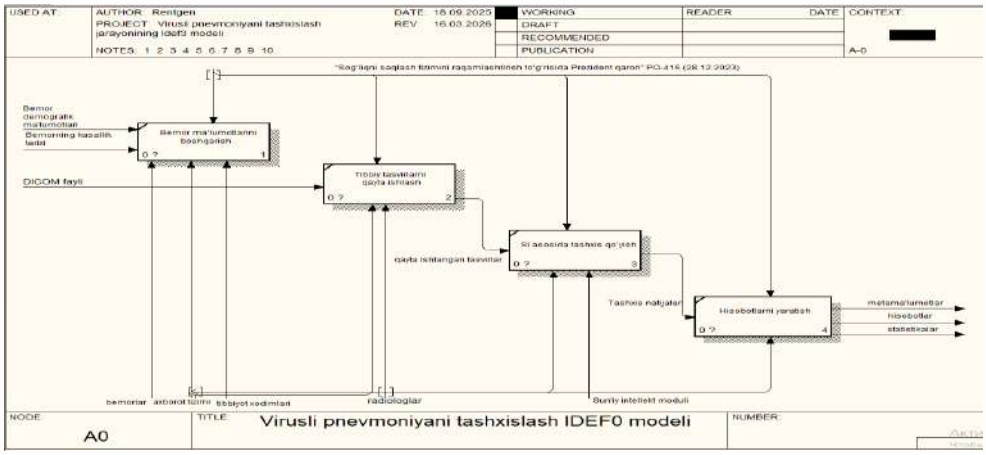
Modelning boshqaruv (Control) qismida Tegishli tegishli qonunlar, tasniflash ko‘rsatmalari, rayonlash standartlari hamda PQ-42-son qaror kabi me’yoriy-huquqiy va metodik hujjatlar aks ettiriladi. Mazkur boshqaruvchi omillar


ISSN 3030-3907

tashxislash jarayonining belgilangan tibbiy va tashkiliy talablar asosida amalga oshirilishini ta’minlaydi.

Mexanizm (Mechanism) sifatida esa tibbiyot xodimlari, bemor, radiologlar, axborot tizimi va sun’iy intellekt modeli ishtirok etadi. Ushbu mexanizmlar tashxislash jarayonining amaliy bajarilishini, ya’ni ma’lumotlarni qabul qilish, tasvirlarni tahlil qilish, natijalarni qayta ishlash va foydalanuvchiga taqdim etishni ta’minlaydi.

Modelning chiqish (Output) qismida tashxis natijalari, statistikalar, hisobotlar va metama’lumotlar shakllantiriladi. Bu natijalar shifokorlarga klinik qaror qabul qilishda yordam beradi, tizim faoliyatini monitoring qilish imkonini yaratadi hamda bemor holatini keyingi kuzatish uchun zarur axborotni taqdim etadi (2-rasm).




**2-rasm. Virusli pnevmoniyani tashxislashning IDEF0 dekompozitsiya modeli**

**A1** – Bemor ma’lumotlarini boshqarish. *Kirish.* bemor demografik ma’lumotlari, bemorning kasallik tarixidagi tavsiyalar, DICOM fayli. *Chiqish.* tizimga kiritilgan va tartibga solingan bemor ma’lumotlari.
*Boshqaruv.* tibbiy ma’lumotlarni yuritish qoidalari, sog‘liqni saqlashga oid me’yoriy hujjatlar, bemor ma’lumotlarini qayd etish talablari. *Mexanizm.* bemor, axborot tizimi, tibbiyot xodimlari.

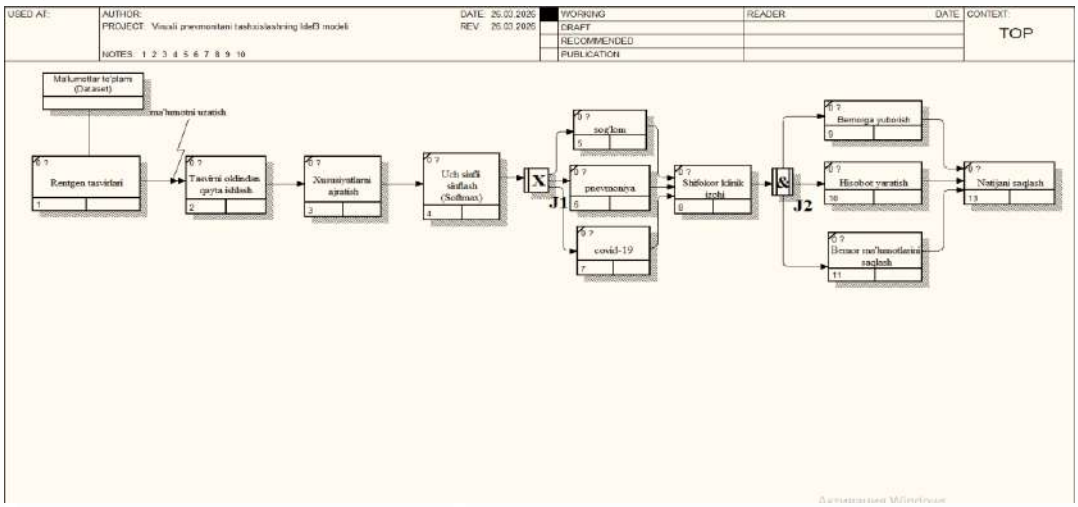
**A2** – Tibbiy tasvirlarni qayta ishlash. *Kirish:* DICOM formatdagi rentgen tasviri, bemor ma’lumotlari bilan bog‘langan tasviriy axborot. *Chiqish.* qayta ishlangan tasvirlar. *Boshqaruv.* tasvirlarni qayta ishlash algoritmlari, tasvir sifati mezonlari, DICOM standarti, diagnostik ishlov berish qoidalari. *Mexanizm.* radiologlar, axborot tizimi.

**A3** – SI asosida tashxis qo‘yish. *Kirish.* qayta ishlangan tasvirlar. Chiqish. tashxis natijalari. *Boshqaruv.* “Sog‘liqni saqlash tizimini raqamlashtirish to‘g‘risida”gi me’yoriy hujjatlar, sun’iy intellekt asosidagi klassifikatsiya qoidalari, tibbiy diagnostika mezonlari. *Mexanizm.* sun’iy intellekt moduli.


ISSN 3030-3907

**A4** – Hisobotlarni yaratish. *Kirish.* tashxis natijalari. Chiqish: metama'lumotlar, hisobotlar, statistikalar. *Boshqaruv.* hisobot shakllantirish qoidalari, tibbiy hujjatlashtirish standartlari, natijalarni qayd etish talablari. *Mexanizm.* axborot tizimi, tibbiyot xodimlari.

IDEF3 metodologiyasi esa jarayonlarni ssenariy asosida tasvirlashga mo'ljallangan bo'lib, unda amallar ketma-ketligi, qaror nuqtalari va voqealar oqimi ifodalanadi. Ushbu metodologiya diagnostika jarayonining bosqichma-bosqich bajarilishini ko'rsatishda samarali hisoblanadi. Tadqiqotda IDEF3 modeli yordamida bemor ma'lumotlarini qabul qilish, rentgen tasvirini yuklash, tasvirga dastlabki ishlov berish, klassifikatsiya modelini ishga tushirish, natijani tahlil qilish va yakuniy xulosa hamda hisobotni shakllantirish bosqichlari ketma-ket yoritildi (3-rasm).




**3-rasm. Virusli pnevmoniyani tashxislashning IDEF3 jarayon modeli**

IDEF0 va IDEF3 metodologiyalarini birgalikda qo'llashning afzalligi shundaki, bunda tizim bir tomondan statik-funksional tuzilma sifatida, ikkinchi tomondan esa dinamik jarayon sifatida tahlil qilinadi. Bu esa virusli pnevmoniyani tashxislash axborot tizimining ishlash mexanizmini to'liqroq ochib berish, jarayonlarni optimallashtirish va keyingi algoritmik hamda dasturiy yechimlarni asoslash imkonini beradi.

Ishlab chiqilgan modellar asosida tizimning ishlash jarayoni rentgen tasvirlarini tahlil qilish orqali ularni sog'lom, pnevmoniya va COVID-19 sinflariga ajratish mexanizmini ifodalaydi. Bu esa taklif etilgan modellashtirish yondashuvining amaliy ahamiyatini oshiradi.

Tadqiqotda virusli pnevmoniyani tashxislash axborot tizimini modellashtirishda IDEF0 va IDEF3 metodologiyalaridan foydalanildi. IDEF0 modeli tizimning funksional tuzilmasini, ya'ni kirish ma'lumotlari, boshqaruv, mexanizm va chiqish natijalari o'rtasidagi bog'lanishni ifodalashga xizmat qildi. IDEF3 modeli esa diagnostika jarayonining ssenariyli tavsifini, ya'ni


ISSN 3030-3907

bosqichlarning bajarilish ketma-ketligini aks ettirdi. Mazkur yondashuv tizim faoliyatini kompleks tahlil qilish, uning ishlash mantiqini ochib berish va amaliy dasturiy yechimni asoslash imkonini yaratadi.

Modelning dastlabki bosqichida ma’lumotlar to‘plami (dataset) dan foydalanilgan holda rentgen tasvirlari qabul qilinadi. Keyingi bosqichda tasvirlar ustida tasvirni oldindan qayta ishlash amali bajariladi. Ushbu bosqich tasvir sifatini yaxshilash, keraksiz shovqinlarni kamaytirish va keyingi tahlil uchun mos holatga keltirishga xizmat qiladi. Shundan so‘ng xususiyatlarni ajratish bosqichi amalga oshirilib, tasvirdan tashxislash uchun muhim bo‘lgan belgilar olinadi. Keyin esa uch sinfli tasniflash (softmax) yordamida tasvir tegishli sinfga ajratiladi.

Modeldagi J1 birikish nuqtasida tasniflash natijasi uchta ehtimoliy holatdan biriga yo‘naltiriladi, ya’ni sog‘lom, pnevmoniya yoki COVID-19. Ushbu qaror nuqtasi tizimning asosiy diagnostik xulosasini shakllantiradi. So‘ngra aniqlangan natija asosida shifokor ko‘rigi bosqichi bajariladi. Bu yerda sun’iy intellekt modeli tomonidan shakllantirilgan natija tibbiy mutaxassis tomonidan ko‘rib chiqiladi va tasdiqlanadi.

Keyingi J2 tugunida jarayon bir nechta parallel amallarga ajraladi. Jumladan, bemorga yuborish, hisobot yaratish va bemor ma’lumotlarini saqlash jarayonlari amalga oshiriladi. Bu bosqichlar diagnostika natijasini foydalanuvchiga yetkazish, tibbiy hujjatlashtirishni shakllantirish hamda axborotni tizim xotirasida сақлаш imkonini beradi. Yakuniy bosqichda natijani saqlash amali bajarilib, tashxislash jarayoni tugallanadi.

Ushbu maqolada rentgen tasvirlari asosida sog‘lom, pnevmoniya va COVID-19 holatlarini aniqlash jarayoni IDEF0 va IDEF3 metodologiyalari yordamida modellashtirildi. IDEF0 modeli orqali tizimning kirish ma’lumotlari, boshqaruv omillari, chiqish natijalari va mexanizmlari aniqlandi. IDEF3 modeli esa tasvirni yuklash, sifatini tekshirish, oldindan ishlov berish, klassifikatsiya qilish va yakuniy tashxis xulosasini shakllantirish bosqichlarini ketma-ket ifodalash imkonini berdi. Tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, IDEF0 va IDEF3 metodologiyalaridan birgalikda foydalanish tibbiyot axborot tizimlarini funksional va jarayonli jihatdan asoslashda samarali hisoblanadi. Taklif etilgan model shifokor qarorini qo‘llab-quvvatlovchi, rentgen tasvirlariga asoslangan avtomatlashtirilgan tashxislash tizimini ishlab chiqish uchun nazariy asos bo‘lib xizmat qiladi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Fedorova N. V. Application of IDEF0 Functional Modeling Methodology at Enterprise Systems Analysis. *E3S Web of Conferences*, 2020.
2. Takyi E. F. Design of Process Model of Electronic Medical Record System. *Science and Innovation*, 2022.


ISSN 3030-3907

3. Tummers J., Tekinerdogan B., Tobi H., Catal C., Schalk B. Designing a Reference Architecture for Health Information Systems. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 2021.
4. Chen Y. et al. Digital Information Ecosystems in Modern Care Coordination. *Journal of Medical Internet Research*, 2024.
5. Casanova R. et al. Architectural Patterns for Health Information Systems. *Frontiers in Digital Health*, 2025.
6. Khan A. I., Shah J. L., Bhat M. M. CoroNet: A Deep Neural Network for Detection and Diagnosis of COVID-19 from Chest X-ray Images. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2020.
7. Rahman T., Khandakar A., Qiblawey Y. et al. Exploring the Effect of Image Enhancement Techniques on COVID-19 Detection Using Chest X-ray Images. *Computers in Biology and Medicine*, 2021.
8. Ibrahim A. U., Ozsoz M., Serte S., Al-Turjman F., Yakoi P. S. Pneumonia Classification Using Deep Learning from Chest X-ray Images During COVID-19. *Cognitive Computation*, 2021.


ISSN 3030-3907

# MASOFAVIY TA’LIMNING SOTSIAL PSIXOLOGIK XUSUSIYATLARI

**Zavqiddin Gadoyev**
*OzDJTU, ijtimoiy fanlar kafedrasi oqituvchisi*
*E-mail: zavq0801@gmail.com*

**Annotatsiya.** Mazkur maqolada masofaviy ta’limning zamonaviy jamiyat sharoitidagi sotsial va psixologik xususiyatlari tahlil qilinadi. Axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining ta’lim jarayoniga joriy etilishi natijasida shaxsning ta’limdagi o’rni, o’qituvchi va o’quvchi o’rtasidagi muloqot shakllari, ta’lim olish imkoniyatlarining kengayishi hamda ijtimoiy tengsizliklarni bartaraf etish masalalari yoritilgan. Shuningdek, masofaviy ta’limning ijobiy va salbiy jihatlari, uning shaxsning ijodiy, tanqidiy fikrlashi va mustaqil ta’lim olish qobiliyatiga ta’siri ochib berilgan.

**Kalit so‘zlar:** masofaviy ta’lim, axborot texnologiyalari, sotsial omillar, psixologik xususiyatlar, individuallashtirilgan ta’lim, uzluksiz ta’lim.

**Annotation.** This article analyzes the social and psychological characteristics of distance education in modern society. As a result of the introduction of information and communication technologies into the educational process, the role of the individual in education, forms of communication between the teacher and the student, the expansion of educational opportunities, and the elimination of social inequalities are highlighted. The positive and negative aspects of distance education, its impact on the individual's creative, critical thinking, and independent learning abilities are also revealed.

**Keywords:** distance education, information technologies, social factors, psychological characteristics, individualized education, continuing education.

**Аннотация.** В данной статье анализируются социально-психологические характеристики дистанционного образования в современном обществе. В результате внедрения информационно-коммуникационных технологий в образовательный процесс освещаются роль личности в образовании, формы общения между преподавателем и учеником, расширение образовательных возможностей и устранение социального неравенства. Также раскрываются положительные и отрицательные аспекты дистанционного образования, его влияние на творческие, критические и самостоятельные способности личности к обучению.

**Ключевые слова:** дистанционное образование, информационные технологии, социальные факторы, психологические характеристики, индивидуализированное образование, непрерывное образование.

## KIRISH.

Hozirgi kunda axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining jadal rivojlanishi ta’lim tizimida tub o’zgarishlarni yuzaga keltirmoqda. Global internet


ISSN 3030-3907

tarmoqlari orqali axborot almashishning tezkorligi va keng qamrovliligi ta’lim jarayonini yangi bosqichga olib chiqdi. Masofaviy ta’lim ko’plab mamlakatlarda ta’lim tizimining ajralmas qismiga aylanib, ta’lim olish imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirmoqda. Shu bois, masofaviy ta’limning sotsial-psixologik xususiyatlarini o’rganish dolzarb ilmiy muammo hisoblanadi. Hozirda ko’pchilik oliy o’quv yurtlari o’zlarining internet sahifalarida o’quv kurslari, dasturlar, o’quv yurtining tashkiliy tuzilmasi, professor-o’qituvchilar tarkibi va boshqa ma’lumotlarni joylashtirishadi. Internet-iste’molchilarga oliy o’quv yurtining arxivlari va elektron kutubxonalariga erkin kirish imkoniyatini beruvchi masofaviy ta’lim rivojlanmoqda, bu esa dunyodagi ko’p mamlakatlarda ta’lim jarayonining ajralmas qismiga aylangan. Masofaviy ta’lim tizimi mutaxassislarni tayyorlash sifatini oshirish imkoniyatini beradi. Chunki bunda avtomatlashtirilgan tizim ta’lim va test dasturlaridan, maxsus elektron o’quv-metodik qo’llanmalardan foydalanishga yo’naltiradi. Shuningdek, ta’lim jarayonini ta’minlovchi metodik materiallarni tezkorlik bilan almashtirilishi, materiallarni elektron tashuvchilarda faol holatda saqlash imkonini berish bilan birga, internet orqali axborot olishning alьternativ manbalariga yo’l ochadi. Buning natijasida talaba va o’qituvchi o’rtasida ovozli aloqa, ovoz va video, elektron pochtadan foydalanib interfaol muloqot qilish imkoniyatini ham paydo bo’ldi. Talabgor kundalik ma’ruza va seminarlar ko’rinishidagi darslarda ishtirok etmay turib, mustaqil ravishda masofadan turib o’zi uchun qulay vaqtda ta’lim oladi. Masofaviy ta’limda o’qituvchi va talaba o’rtasidagi muloqot asinxron xususiyat kasb etadi. Ta’lim jarayonining asinxronlashuviga o’quvchi va o’qituvchi o’rtasidagi aloqani elektron pochta yoki kompyuter tarmog’i vositasida amalga oshirish orqali erishiladi.

G’arbdagi masofaviy ta’lim modellarining ishlash tajribasi ko’rsatadiki, unda yosh bilan, ijtimoiy va vaqt bilan bog’liq cheklovlarni bartaraf etish orqali ta’lim oluvchilar doirasini kengaytiradi va nafaqaxo’rlar hamda zarur bilimni olishda imkoni cheklangan toifalarning (masalan, nogironlarning) sotsial imkoniyatlarini kengaytiradi. Bularning barchasi yangi axborot texnologiyalaridan foydalanishning ijobiy imkoniyatlaridir.

Biroq ta’limda kompyuter texnologiyalaridan foydalanishdagi me’yorning buzilishi ta’limning virtuallashuviga olib keladi, ya’ni ta’limni faqat simulyatsion jarayonga aylantirib qo’yadi. Real ta’limdagi hissiy ta’sir, o’zaro muloqotning yo’qolib borishiga sabab bo’lishi mumkin.

Shu bilan birga masofaviy ta’limda shaxsning sotsiomadaniy statusida sodir bo’ladigan o’zgarishlarni ham o’rganish kerak. Hozirgi zamon sivilizatsiyasi rivojining eng muhim qonuniyatlaridan biri – shaxsning suverenlashib borishidir. Bugungi kunda shaxs o’zini jamiyat tomonidan ta’sir o’tkazish ob’ekti sifatida emas, balki o’z tarbiyasini, umumiy va kasbiy bilimlirini tinimsiz oshirib borishga


ISSN 3030-3907

ehtiyoj sezadigan, chinakam faol sub'ekt sifatida idrok etadi. Hozirgi davrda, kasb mazmuni, mutaxassisning tor kasbiy bilimlari tez fursatlarda eskirib qolayotgan sharoitda mustaqil ta'lim olish, qayta ixtisoslashishga bo'lgan ehtiyoj eng muhim hayotiy zaruratga aylanib bormoqda.

XX asr oxiri- XXI boshidagi shaxs o'z oldiga aniq maqsadlarni qo'yish hamda mustaqil bilim olish, o'zini aktuallashtirish va o'zini tarbiyalash orqali ularga erishishning usul va vositalarini topish qobiliyati bilan namoyon bo'ldi. Aynisa bu ijtimoiy-iqtisodiy sharoit keskin o'zgaradigan, jamiyatdagi barcha sohalari tinimsiz yangilanib borayotgan sharoitda yanada aniq ko'zga tashlanadi.

«Yangi axborot va komunikatsiya vositalari ta'limni tashkil etish va ishlash tamoyillarini o'zgartiradi. Bu vositalar yordamida u faol tarikibiy qism sifatida har qanday faoliyatga joriy etish mumkin. Kompyuter texnologiyalari axborotning tushunarliligi va rang-barangligini ta'minlaydi, ishlab chiqarish, ilmiy, boshqaruv, maishiy, ko'ngil ochar va istalgan boshqa faoliyat bilan yo'ldosh bo'ladigan ta'lim va mustaqil ta'lim jarayonlarini faollashtiradi. Muayyan darajadagi shartlilik bilan taxmin qilish mumkinki, ta'lim tizimini yangi institutsionallashtirish kutmoqda. Buning sababi shundaki, an'anaviy ta'limning bazaviy tizimi ilgarigi vazifasini bajara olmay qoldi, fundamental ta'limni yangilash muddatlari keskin kamaydi, bunday yangilanishga bo'lgan zarurat esa oshdi. Bu jarayonlar an'anaviy ta'lim faoliyatidan mustaqil ta'limga ko'chishi bilan bog'liqlikda kechmoqda»[1].

Masofaviy ta'lim, muayyan darajada, pedagogik tafakkurning asrlar davomidagi rivojlanishi jarayonida ta'lim tizimini jiddiy yangilab borishiga sabab bo'lgan inqilobiy g'oyalardan biridir. Buning sababi mazkur ta'lim vositasining nafaqat iqtisodiy samaradorligi, balki keng va rang-barang ta'lim xizmatlarining taqdim etilishi va o'quv materiallari manbalari bilan tanishishning yuqori samaradorligi bilan bog'liq. Gap shundaki, bu vosita bugungi kunda innovatsion iqtisodiyotning, axborotlashgan jamiyat industriyasining rivoji uchun zarur bo'lgan mustaqil ijodkor shaxsni tayyorlash va qayta tayyorlash imkoniyatlarini taqdim etmoqda. Inson omiliga mablag' sarflanishi postindustrial jamiyatda eng yuqori samara beradi, zero jamiyatdagi ishlab chiqarish sohasida asosiy boylik bilim bo'lib qolmoqda.

Ta'lim oluvchiga o'z shaxsiy imkoniyatlarini to'liq va to'g'ri ro'yobga chiqarishiga ko'maklashuvchi masofaviy ta'limning asosiy mohiyati shundaki, bunda shaxs o'quv jarayonining asosiy va bosh sub'ektiga aylanadi. Ma'lumki, boshqa pedagogik texnologiyalardan farqli o'laroq, masofaviy ta'lim uzoqdan turib ta'lim jarayonini amalga oshirishni nazarda tutadi. Buning uchun esa, dastlabki

[1] *Зборовский Г.Е., Шуклина Е.А.* Образование как ресурс информационного общества // Социол. исслед. 2005. № 7. С. 113.


ISSN 3030-3907

shart sifatida kasbiy va madaniy maqsadlarini to'g'ri va to'liq belgilab olgan shaxsdan ancha yuqori darajadagi o'zligini anglash talab etiladi. Mazkur shart zamonaviy pedagogikada eng muhim g'oyalardan biri sifatida ilgari suriladi va zamonaviy uzluksiz ta'lim tizimida "katta yoshdagilar ta'limi" ham ayni shu asosda quriladi. "Muayyan yoshdan boshlab, suveren shaxsga, betakror individga aylanayotgan inson o'zini o'zi shakllantirib, takomillashtira boshlaydi va yaratgan tomonidan berilgan ruhiyati va tanining qobiliyat va iste'dodlarini rivojlantiradi"[2].

Masofaviy ta'lim ijodiy tafakkur yo'lida paydo bo'lishi mumkin bo'lgan to'siqlarni (kulgili yoki aqlsiz bo'lib tuyulishdan qo'rqishni, tasavvur va tashabbusni bo'g'adigan muvaffaqiyatsizlikdan qo'rqish tuyg'usini) bartaraf etadi; nostandart sharoitlardagi faoliyat yo'nalishini o'zgartirish yo'lidagi qiyinchiliklarni bartaraf etadi. Kompyuter qarshisida yolg'iz qolganda qarorni ortga surish, o'ziga bergan benihoya yuqori bahoni pasaytirish unchalik qiyin bo'lmaydi. Shaxs ijodiy qobiliyatlarini rivojlantirish bilan birga, masofaviy ta'limda tanqidiy fikrlashga to'sqinlik qiladigan omillarni (jazodan qo'rqish, chunki o'zgalarning fikrini tanqid ostiga olar ekanmiz, biz o'z fikrlarimiz ham tanqidga uchrashidan qo'rqamiz; o'z g'oyalarini noto'g'ri baholashdan qo'rqish; kimningdir fikrini tanqid qilish bilan odobsizlik qilib qo'yishdan qo'rqish va h.k.ni) bartaraf etishga sharoit yaratiladi. Tanqidiy fikrlashni rivojlantirish bugungi madaniyatning ommalashuvi sharoitida ayniqsa dolzarbdir. Taniqli frantsuz faylasufi J.Bodriyyar shunday yozadi: "Tanqidiy fikr baholaydi va tanlaydi, u farqlarni aniqlaydi va selektsiya yordamida ma'no haqida jon kuydiradi. Omma (olomon) esa boshqacha ish tutadi: ular tanlamaydi, ular farqlarni emas, farqlanmaganlikni yuzaga keltiradi, tanqidiy baholashni talab etadigan ma'lumotdan ko'ra gipnoz holatiga tushiradigan mediumni afzal ko'radi. Gipnotik holat mazmundan sayoz bo'ladi va ma'no kamaygan sari rivojlanib boradi. U axborot, g'oya va haqiqat bo'lgan joyda emas, balki medium, sanam va simulyakr hukmronlik qilgan joyda ko'payadi. Biroq ayni shu makonda ommaviy axborot vositalari ham ishlaydi. Gipnozdan foydalanish ular faoliyatining tamoyilidir va unga tayanib ular o'ziga xos yopirilma zo'ravonlik manbaiga – ma'no ustidan zo'ravonlik, ma'noga asoslangan muloqotni inkor etuvchi va butunlay boshqa turdagi muloqotni o'rnatuvchi zo'ravonlik manbaiga aylanadi"[3].

Masofaviy ta'lim shaxsga kasbiy jihatdan ham, umummadaniy jihatdan ham o'zini o'zi shakllantirishga, o'zini rivojlantirishga, bu boradagi ehtiyojlarini qondirishga sharoit yaratadi. Avvalambor, ta'lim jarayonining moslashuvchan va variativ sxemalari, usullari va mazmunlarini taqdim etish borasidagi keng

[2] *Сапунов Б.* Встать в строй // Высшее образование в России. 1997. № 3. С. 108.
[3] Baudrillard J. In the Shadow of the Silent Majority, or The End of the Social. P. 43-44


ISSN 3030-3907

imkoniyatlarni qayd etish lozim. Bundan tashqari, masofaviy ta’lim dasturlari mustaqil ta’lim olish faoliyatiga yuqori darajadagi tayyorgarlikka ega bo’lgan individlarga mo’ljallangan. Buning uchun esa o’quv ishlarini o’ziga qulay vaqtga mustaqil rejalashtirish, tegishli ma’lumotlardan foydalana bilish, ma’lumotlar bazasi bilan ishlash, doimiy ravishda o’zini nazorat qilib turish talab etiladi. Shu asosda yaratilgan masofaviy ta’lim dasturlari shaxsni mutaxassis sifatida ijodiy shakllantirish vazifasini bajarishning zarur shartidir.

Shuningdek, ta’lim texnologiyasi, ya’ni usullar, vositalar va tashkiliy shakllar tizimi bilan bog’liq bir qator muammolarni hal etish zarur. Bunda jamiyat ikki xavf orasida qoladi: bir tomondan, texnika rivojining «mantig’i»dan kelib chiqadigan ta’limnig yangi axborot texnologiyalaridan foydalanishga texnokratik yondoshuv xavfi, ikkinchi tomondan esa, masofaviy ta’lim shaklini an’anaviy, masalan, sirtqi ta’lim shakli bilan adashtirish, ishning shakl va usullarini ular o’z mazmunini ham, shaklini ham o’zgartirgan sharoitda davom ettirish.

Navbatdagi holat masofaviy ta’limning moslashuvchan va individuallashtirilgan xususiyati bilan belgilanadiki, bu ta’lim olayotgan shaxsning harakatlarini konkret, o’zi uchun muhim bo’lgan hayotiy va kasbiy ehtiyojlar bilan bog’liq muammolarini hal etishga qaratish imkoniyatini beradi. O’qituvchi o’z maqsadlarni o’zi belgilaydi, o’quv bilan bog’liq vazifalarni hal etish uchun zarur materiallar va talablar bilan ta’minlashga sharoit yaratish roli yuklatiladi. Masofaviy ta’lim bo’yicha zamonaviy o’quv dasturlari ularni bevosita hayotga tadbiq etilish g’oyasiga tayanishi lozim. Ana shunda o’quv jarayonini tashkil etishning bosh asosini o’qitishni individuallashtirish, har bir ta’lim olayotganning konkret maqsadlariga yo’naltirilganligi tashkil etishi mumkin.

Zamonaviy masofaviy ta’lim tizimining genezisi va rivoji jahon ta’lim tizimidagi tendentsiyalarga javob beradi. Masofaviy ta’limning shaxs ijodiy potentsialini to’liq ro’yobga chiqarishga qaratilgan gumanistik yo’nalishi O’zbekiston ta’lim tizimi an’analari bilan, uning nafaqat o’z kasbining ustasi, balki mutaxassisning shaxsini ham shakllantirishga qaratilgan fundamental vazifalari bilan bog’liq. Shu yerda, ta’lim paradigmalarining o’zgarishi haqida gapirganda, unda inson ijtimoiy, siyosiy yoki ishlab chiqarish mashinasining bir bo’lagi sifatida emas, o’z maqsad va intilishlarini amalga oshirishni ustuvor bilgan shaxs sifatida tarbiyalanadi. Nafaqat o’qituvchi, balki avvalambor o’quvchi tashabbuskor tomon bo’lgan ta’lim tizimiga o’tish eski ta’lim stereotiplarining buzilishiga hamda iste’molchining o’zi ta’limning shakli va usullarini, o’qituvchi bilan muloqot qilish vaqti va shakllarini o’zi tanlaydigan holatga olib keladi .

Masofaviy ta’lim, ta’lim jarayonidagi yangi paradigmaning asosi sifatida namoyon bo’ladi. Uning marakazida o’quv materialining mazmuni, o’qitish predmetlari, shakllari va usullari emas, balki ayni ta’lim oluvchining shaxsi, uning


ISSN 3030-3907

individualligi, o'quv jarayonida o'z salohiyatini namoyon etishi turadi. Bu kabi shaxs rivojlanishiga yo'naltirilgan yondoshuv ta'limning individuallashuvi bilan bog'liq, chunki shaxsning ruhiy-fiziologik va kognitiv xususiyatlari, qadriyatlari va individual ehtiyojlarini hisobga olishni nazarda tutadi. Bu bilan yangi davrning gumanistlari tomonidan e'lon qilingan g'oya, ya'ni inson, uning shaxsi - taraqqiyotning oliy maqsadi va qadriyati ekanligi g'oyasining moddiy asosi barpo etilmoqda. Masofaviy ta'limning gumanitar mohiyati ham shaxsga o'z ijodiy salohiyati va qobiliyatlarini to'liq namoyon etish uchun ta'limning mos shaklini berishi bilan ajralib turadi. Bunda shaxs erki, mustaqilligining zamonaviy g'oyasi o'z ifodasini topadi va o'z navbatida, uni amalga oshirishning siyosiy yoki iqtisodiy shakllarini, balki ta'lim jarayonida o'zini shakllantirish va takomillashtirish imkoniyatlarini nazarda tutadiki, bu madaniyatni shakllantirish faoliyatining eng muhim shakllaridan birini tashkil etadi.

Masofaviy ta'limda individual traektoriyalarni hisobga olib, metodik jihatdan o'quv rejasida fanlarning qat'iy ro'yxati bo'lmaydi. Albatta, bunda minimal hajmdagi kasbiy, tabiiy va gumanitar bilimlarni berish nazarda tutiladi va shular asosida ta'lim oluvchiga alohida o'zi uchun zarur hisoblagan bilim hamda ko'nikmalar beriladi. Shu o'rinda yana bir muhim holatlarni ham qayd etish kerak: tor doiradagi kasbiy bilimlarni olish jarayonida erkin va moslashuvchan masofaviy ta'lim loyihasi shaxsda ijodkorlik sifatlarini takomillashtirish imkoniyatini bersa, kasbiy madaniyatni shakllantirish zamonaviy bilimlar va gumanistik amaliy qadriyatlar bilan uyg'unlashtiriladi. Professionallashtirish esa, nafaqat kasb egasi-mutaxassisni reproduktiv shakllantirish, balki o'z kasbiy faoliyatining usullari va shakllarini yangilab borishga qodir bo'lgan ijodkor individni shakllantirish jarayonidan iborat bo'ladi.

Masofaviy o'qitish jarayonini kompyuter vositalaridan foydalangan holda o'z vaqtini rejalashtiradigan o'quvchining tezkor, maqsadga yo'naltirilgan, nazorat qilinadigan mustaqil faoliyati belgilaydi. Masofaviy ta'limning ichki turtki omili bo'lib bilim olishga bo'lgan anglangan ehtiyoj hizmat qiladi va ayni na shu anglangan ehtiyoj tufayli o'quvchi ta'lim jarayonida yetakchi bo'ladi va o'zining o'quv jarayoniga sarf etiladigan vaqtini o'zi taqsimlaydi.

Virtual makonda kechadigan vaqt bilan bog'liq jarayonlar insonning individual vaqtiga va jamiyatning sotsial vaqtiga aks ta'sir o'tkazadi. Misol tariqasida bugungi kundayoq ijtimoiy organizmning sotsial-profesional strukturasini belgilayotgan masofaviy ta'limni keltirish mumkin. Shu jihatdan ishlamayotgan fuqarolarning bo'sh vaqtlari tahlili va uni masofaviy ta'lim vositasida band qilish imkoniyatlari diqqatga sazovor.

Masofaviy ta'lim odamlarning ijtimoiy voqelikda sodir bo'layotgan o'zgarishlarga moslashishlariga va ularning samarali bandligini ta'minlashga


ISSN 3030-3907

jiddiy yordam berishi mumkin. Nafaqa yoshiga yetgan shaxslarning bo'sh vaqti tarkibi o'zgaradi, ularning raqobatbardoshligini oshirish, ko'p yilar oldin olgan bilim va kasbiy malakalarini yangilash imkoniyati paydo bo'ladi. Masofali ta'limning g'arbdagi modellarining ishlash tajribasi ko'rsatadiki, ular keksa yoshdagilarda mavjud yosh, vaqt va ijtimoiy voqelik bilan bog'liq to'siqlarni bartaraf etish imkoniyatini beradi va nafaqat nafaqaxo'rlarning, balki zarur ta'limni olishga imkoniyatlari u yoki bu darajada va u yoki bu sabab bilan cheklangan odamlarning sotsial imkoniyatlari doirasini jiddiy kengaytirishga yordam beradi.

Nazarda tutish lozimki, bunday shakldagi ta'lim jismoniy kamchiliklarga ega bo'lgan kishilar va nogironlarning ijtimoiy muhitga nisbatan to'liq moslasha olishiga yordam beradi. Yuridik jihatdan, albatta, ular oliy o'quv yurtlariga kirish huquqiga ega, ammo bundagi real raqobat muhiti shundayki, ularning bunga imkoniyatlari amalda yo'qqa chiqadi. Chunki jismoniy kamchiliklarga ega bo'lgan kishilar va nogironlarning yashash tarzi kamharakat bo'lib, ularning xatto sirtqi o'qish sharoitiga ham moslashishi qiyin. Masofaviy ta'limning o'rni o'zgacha, chunki u iste'molchiga qulay vaqtda individual reja asosida, qulay sur'at va maromda to'laqonli ishlash imkoniyatini beradi. Bu tipdagi ta'limning modulli xususiyati o'quv rejasini odamlarning ma'naviy va kasbiy ehtiyojlari bilan muvofiqlashtirish imkoniyatini ham beradi. Aholining katta qismini tashkil etgan eski mutaxassisligi bo'yicha ishlash imkoniyatini yo'qotgan, qayta ixtisoslashishga muhtoj bo'lgan odamlarni ham yoddan chiqarish kerak emas. Shunday qilib, mazkur sharoitidagi masofaviy ta'limning afzalliklari shu bilan bog'liqki, uning yordamida yosh, ijtimoiy, tender xususiyatlar bilan bog'liq ziddiyatlar yo'qoladi, o'qitishning modulli individuallashtirilgan shakllaridan foydalanish imkoniyati paydo bo'ladi, bu esa, o'z navbatida, shaxs rivojini optimallashtiradi, uning ijtimoiylashuvi, madaniy muhitga moslashishi, yetuk kasb egasi bo'lish jarayonlarini tezlashtiradi. To'g'ri, masofadan turib o'qitishning sotsiomadaniy natija va oqibatlari ohirigacha o'rganilmagan. Shunday bo'lsada rivojlangan dalatlarda qo'lga kiritilgan natijalar bu ta'lim shaklining istiqboli borligi, uning zamonaviy jamiyatda kuzatilayotgan inqiroziy jarayonlarni yumshatishi mumkinligi haqidagi xulosani chiqarish imkoniyatini beradi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Oliy ta'lim tashkilotlarida masofaviy ta'lim shaklini joriy etish chora-tadbirlari to'g'risida Nizom. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining qarori, 03.10.2022 yildagi 559-son. https://lex.uz/docs/-6221502
2. Begimkulov U.Sh. *Pedagogik ta'lim jarayonlarini axborotlashtirishning nazariy-metodik asoslari*. — Toshkent: Fan, 2007.
3. Zaychenko T.P. *Masofaviy o'qitish asoslari: nazariy va amaliy asos*: O'quv qo'llanma. — SPb.: RSPU nashriyoti, 2004.


ISSN 3030-3907

4. Olimov Q.T., Uzoqova L.P. va boshqalar. *Maxsus fanlarni o‘qitish metodikasi (Masofaviy ta'lim elementlari bilan)*. — Toshkent: Fan, 2004.
5. Taylakov N.I. *Uzluksiz ta'lim tizimida axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini joriy etish muammolari*. — Toshkent, 2011. [1, 2]
6. Baudrillard, J. (2000). В тени молчаливого большинства, или Конец социального (N. V. Suslov, Trans.). Izd-vo Ural. un-ta
7. Raxmatova S.T. Ta'lim tizimida masofaviy o‘qitish tizimining ahamiyati // Cyberleninka ilmiy jurnali. — 2022.
8. Aripov M., Muhammadiev J. Masofaviy ta'lim tizimi va uni boshqarish texnologiyalari // Nukus DPI ilmiy to‘plami. — 2021.
9. Guliston Davlat Universiteti axborot portali. Masofaviy ta'lim va masofaviy o‘qitishning konseptual asoslari: Ma'ruzalar matni. — Guldu.uz, 2023.


ISSN 3030-3907

UDK 621.311.21:626.8

# SUG‘ORISH KANALLARIDA PAST NAPORLI MIKROGIDROELEKTROSTANSIYALARNI LOYIHALASH: GIDRAVLIK-ENERGETIK HISOBLAR VA TEXNIK-IQTISODIY ASOSLASH

**Urishev Boboraim**
*Texnika fanlari doktori (DSc), professor*
*ORCID: 0009-0004-6546-8226*
*E-mail: bob-urishev@mail.ru*
**Ochilov Obid Boymurod o‘g‘li**
*Tadqiqotchi*
*ORCID: 0000-0002-1172-4747*
*E-mail: obidbekochilov@bk.ru*
**Quvatov Ulug‘bek Jalolovich**
*Texnika fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent*
*ORCID: 0009-0002-3138-963X*
*E-mail: u.quvvatov@gmail.com*

**Annotatsiya.** Maqolada O‘zbekistonning mavjud sug‘orish kanallari infratuzilmasidan qo‘shimcha qayta tiklanuvchi elektr energiyasi olish imkoniyatlari past naporli mikrogidroelektrostansiya (mikroGES) misolida tadqiq qilingan. Qashqadaryo viloyatidagi namunaviy kanal obyekti uchun gidravlik (brutto va foydali napor, gidravlik yo‘qotishlar, oqim rejimi), energetik (nazariy, texnik va elektr quvvati) hamda texnik-iqtisodiy hisoblar bajarilgan. Turbina turini tanlash ko‘p mezonli og‘irlangan baholash usuli yordamida asoslanib, past napor va mavsumiy o‘zgaruvchan suv sarfi sharoitida Banki (cross-flow) turbinasi ustun deb topilgan. Hisoblar foydali napor 1,68 m, elektr quvvati 7,10 kVt, yillik energiya ishlab chiqarish 65 577 kVt·soat va quvvatdan foydalanish koeffitsienti 74,9 % ekanligini ko‘rsatdi. Texnik-iqtisodiy baholashda investitsiya qiymati 267,8 mln so‘m, ichki rentabellik darajasi 20,1 %, tekislangan energiya tannarxi (LCOE) 659 so‘m/kVt·soat va oddiy qoplanish muddati 4,65 yil bo‘lib, loyihaning iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqligini tasdiqladi. Tadqiqot natijalari past naporli sug‘orish kanallarida mikroGES qurilmalarini loyihalashda metodik asos sifatida foydalanilishi mumkin.

**Kalit so‘zlar:** mikrogidroelektrostansiya, sug‘orish kanali, past napor, Banki turbinasi, foydali napor, qayta tiklanuvchi energiya, ko‘p mezonli baholash, texnik-iqtisodiy baholash, LCOE, quvvatdan foydalanish koeffitsienti.

**Abstract.** This paper investigates the potential of generating additional renewable electricity from Uzbekistan‘s existing irrigation-canal infrastructure, using a low-head micro-hydroelectric power plant (micro-HPP) as a case study. For a

representative canal object in the Kashkadarya region, hydraulic (gross and net head, losses, flow regime), energy (theoretical, technical and electrical power) and techno-economic calculations were performed. The turbine type was selected using a multi-criteria weighted assessment method; under low-head and seasonally variable discharge conditions, the Banki (cross-flow) turbine proved superior. The calculations yielded a net head of 1.68 m, an electrical power of 7.10 kW, an annual energy output of 65,577 kWh and a capacity factor of 74.9 %. The techno-economic assessment produced an investment cost of 267.8 million UZS, an internal rate of return of 20.1 %, a levelised cost of energy (LCOE) of 659 UZS/kWh and a simple payback period of 4.65 years, confirming the economic feasibility of the project. The results can serve as a methodological basis for designing micro-HPP installations on low-head irrigation canals.

**Keywords:** micro-hydroelectric power plant, irrigation canal, low head, Banki turbine, net head, renewable energy, multi-criteria assessment, techno-economic assessment, LCOE, capacity factor.

**Аннотация.** В статье рассматриваются возможности получения дополнительной возобновляемой электроэнергии из существующей ирригационной инфраструктуры Узбекистана на примере низконапорной микрогидроэлектростанции (микроГЭС). Для типового гидротехнического сооружения в Кашкадарьинской области выполнены гидравлические (общий и полезный напор, гидравлические потери, режим течения), энергетические (теоретическая, техническая и электрическая мощность) и технико-экономические расчеты. Выбор типа турбины был сделан на основе метода многокритериальной взвешенной оценки, и в условиях низкого напора и сезонно изменчивого расхода воды была признана лучшей турбина Банки (поперечного потока). По данным расчетов, полезный напор составил 1,68 м, электрическая мощность — 7,10 кВт, годовая выработка электроэнергии — 65 577 кВт·ч, а коэффициент использования мощности — 74,9%. Сумы, с внутренней нормой прибыли 20,1%, с выравниванием затрат на энергию (LCOE) 659 Сум/кВт·ч и нормальным сроком окупаемости 4,65 года, что подтвердило экономическую целесообразность проекта. Результаты исследования могут быть использованы в качестве методической основы при проектировании микроГЭС на низконапорных оросительных каналах.

**Ключевые слова:** микрогидроэлектростанция, оросительный канал, низкий напор, турбина Банки, полезный напор, возобновляемая энергия, многокритериальная оценка, технико-экономическая оценка, LCOE, коэффициент использования мощности.

**KIRISH.**


ISSN 3030-3907

Qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish O‘zbekiston energetika siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biridir. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025-yil 28-martdagi PQ-129-son qarori hamda “Suv va suvdan foydalanish to‘g‘risida”gi qonun mavjud suv-energetika resurslaridan oqilona foydalanish va kichik gidroenergetikani kengaytirish uchun huquqiy asos yaratadi. Taqsimlangan kichik va mikro quvvatli generatsiya manbalari elektr tarmog‘idagi yo‘qotishlarni kamaytiradi va uzoq joylashgan qishloq xo‘jaligi iste‘molchilarini mahalliy energiya bilan ta‘minlash imkonini beradi.

Respublikaning keng tarmoqli sug‘orish kanallari tizimi hozircha to‘liq o‘zlashtirilmagan katta gidroenergetik salohiyatga ega. Mavjud kanallarda barqaror suv oqimi va sath farqining mavjudligi yangi suv ombori qurmasdan past naporli mikroGES o‘rnatish imkonini beradi. Bunday yechim kapital xarajatlarni sezilarli kamaytiradi, yer resurslariga qo‘shimcha bosim o‘tkazmaydi va kanalning birlamchi — sug‘orish — vazifasini buzmaydi.

Past naporli (H < 3–5 m) obyektlarni energetik o‘zlashtirishning asosiy muammosi shundaki, an‘anaviy yuqori naporli turbinalar bunday sharoitda samarasiz ishlaydi. Shu sababli turbina turini to‘g‘ri tanlash, gidravlik yo‘qotishlarni ishonchli baholash va loyihaning iqtisodiy maqsadga muvofiqligini asoslash zarur bo‘ladi. Amaliyotda ko‘pgina kichik loyihalarda ushbu masalalar yagona, tekshiriladigan metodika asosida yoritilmaydi, bu esa qaror qabul qilishni murakkablashtiradi.

Ushbu maqolaning maqsadi — Qashqadaryo viloyatidagi namunaviy sug‘orish kanali misolida past naporli mikroGESni loyihalashning kompleks metodikasini taklif etish va uni sonli natijalar bilan asoslashdir. Metodika gidravlik-energetik hisoblar, turbina turini ko‘p mezonli og‘irlangan baholash hamda texnik-iqtisodiy va ekologik baholashni o‘z ichiga oladi va o‘xshash past naporli kanal obyektlariga moslashtirilishi mumkin.

## TADQIQOT OBYEKTI VA USULLARI.

Tadqiqot obyekti — Qashqadaryo viloyatida joylashgan namunaviy sug‘orish kanali bo‘lib, unga past naporli ochiq kanalga integratsiyalashgan mikroGES sxemasi qo‘llaniladi. Hisoblar dastlabki (loyiha oldi) bosqich uchun bajarilgan; yakuniy ko‘rsatkichlar dala o‘lchovlari bilan aniqlashtiriladi. Obyektning boshlang‘ich gidrologik va geometrik ko‘rsatkichlari 1-jadvalda keltirilgan.

**1-jadval.**

**Boshlang‘ich ma‘lumotlar**

| Ma‘lumot nomi | Belgi | Birlik | Qiymat |
|---|---|---|---|
| Yuqori suv sathi | $Z_1$ | m | 5,00 |


ISSN 3030-3907

| Ma‘lumot nomi | Belgi | Birlik | Qiymat |
|---|---|---|---|
| Quyi suv sathi | $Z_2$ | m | 3,20 |
| Hisobiy suv sarfi | $Q_{his}$ | $m^3/s$ | 0,600 |
| 80 % ta‘minlangan sarf | $Q_{80}$ | $m^3/s$ | 0,528 |
| 90 % ta‘minlangan sarf | $Q_{90}$ | $m^3/s$ | 0,480 |
| Kanal eni | b | m | 1,20 |
| Suv chuqurligi | h | m | 0,50 |
| Oqim tezligi | v | m/s | 1,00 |
| Panjara oralig‘i | s | mm | 25 |
| Zatvor–turbina masofasi | L | m | 0,60 |
| Elektr tarmog‘igacha masofa | $L_e$ | m | 100 |

**Hisoblash usullari.**

Gidravlik hisob mavjud sathlar farqi va hisobiy sarfga asoslanadi. Brutto napor $H_{br} = Z_1 - Z_2$ sifatida, kesim yuzasi A, ho‘llangan perimetr $\chi$, gidravlik radius $R = A/\chi$ va gidravlik diametr aniqlanadi. Oqim tezligi $v = Q/A$, oqim rejimi esa $Fr = v/\sqrt{(gh)}$ Frud soni orqali baholanadi. Gidravlik yo‘qotishlar ishqalanish $h_i = \lambda(L/D)\cdot h_v$ va mahalliy $\Sigma h_m = \Sigma\zeta\cdot h_v$ yig‘indisi sifatida hisoblanib, foydali napor $H_{foy} = H_{br} - \Sigma h_n$ ko‘rinishida olinadi (bu yerda $h_v = v^2/2g$ — tezlik boshi).

Energetik salohiyat nazariy $P_{naz} = 9{,}81\cdot Q\cdot H_{br}$, texnik $P_{tex} = 9{,}81\cdot Q\cdot H_{foy}$ va elektr quvvati $P_e = 9{,}81\cdot Q\cdot H_{foy}\cdot\eta$ formulalari bo‘yicha aniqlanadi. Bu yerda $\eta = 0{,}72$ — turbina, uzatma, generator va elektr qismidagi yo‘qotishlarni hisobga oluvchi umumiy foydali ish koeffitsienti (FIK).

Turbina turini tanlash ko‘p mezonli og‘irlangan baholash usuli yordamida amalga oshiriladi. Beshta mezon — Q–H mosligi (solishtirma aylanish soni $n_s$ orqali), o‘zgaruvchan sarfga moslashuv, FIK, cho‘kindi va ekspluatatsiya sharoiti hamda iqtisodiylik — belgilangan vaznlar bilan baholanadi. Solishtirma aylanish soni $n_s = n\cdot\sqrt{P}/H_{foy}^{\wedge}1{,}25$ ko‘rsatkichi turbinaning ushbu obyektga gidravlik mosligini aks ettiradi. Taqqoslash uchun Banki (cross-flow), Kaplan va nasos-turbina rejimidagi PAT variantlari ko‘rib chiqiladi.

Tanlangan Banki turbinasining geometrik va kinematik parametrlari — kirish va aylana tezligi, aylanish chastotasi, ichki diametr, soplo ochilishi, konstruktiv eni hamda val momenti — standart cross-flow munosabatlari bo‘yicha hisoblanadi (to‘liq formulalar 6-jadvalda). Generatorning nominal toki $I = P/(\sqrt{3}\cdot U\cdot\cos\varphi\cdot\eta)$ dan topilib, himoya apparati va kabel kesimi shu qiymatga qarab tanlanadi.


ISSN 3030-3907

Yillik energiya oylik suv sarfi taqsimoti bo‘yicha Eyil = $\Sigma P_i \cdot t_i$ sifatida, oqimni vegetatsiya (aprel–sentabr) va novegetatsiya (oktabr–mart) davrlariga ajratgan holda hisoblanadi. Texnik-iqtisodiy baholash CAPEX (resurs usulidagi lokal smeta), OPEX, yillik daromad, NPV = $\Sigma CF_t/(1+r)_t$, IRR, LCOE, qoplanish muddatlari va $CO_2$ kamayishini qamrab oladi. Keyingi bosqichda oqim taqsimoti CFD modellashtirish bilan tekshiriladi.

## NATIJALAR VA ULARNING MUHOKAMASI.

### Gidravlik hisoblar natijalari

Sath farqi va kanal geometriyasidan kelib chiqib, brutto napor 1,80 m ni tashkil etdi; kesim yuzasi 0,600 m², ho‘llangan perimetr 2,200 m, shularga mos gidravlik radius 0,273 m va gidravlik diametr 1,09 m chiqdi. Oqim 1,00 m/s tezlikda harakatlanadi va Frud soni 0,452 ga teng — bu birdan kichik qiymat oqimning subkritik, ya’ni nisbatan sokin va boshqarishga qulay rejimda kechishini bildiradi. Shu sharoit uchun hisoblangan gidravlik yo‘qotishlar 2-jadvalda jamlangan.

**2-jadval.**

**Gidravlik hisoblar**

| Ko‘rsatkich | Formula | Hisoblash | Natija | Birlik |
|---|---|---|---|---|
| Brutto napor | $H_{br} = Z_1 - Z_2$ | 5,00 − 3,20 | 1,80 | m |
| Ho‘llangan perimetr | $\chi = b + 2h$ | 1,20 + 2·0,50 | 2,200 | m |
| Gidravlik radius | $R = A/\chi$ | 0,600 / 2,200 | 0,273 | m |
| Kesim yuzasi | $A = b \cdot h$ | 1,20·0,50 | 0,600 | m² |
| Oqim tezligi | $v = Q/A$ | 0,600 / 0,600 | 1,00 | m/s |
| Frud soni | $Fr = v/\sqrt{(gh)}$ | 1,00/√(9,81·0,50) | 0,452 | – |
| Tezlik boshi | $h_v = v^2/2g$ | 1,00²/(2·9,81) | 0,051 | m |
| Ishqalanish yo‘qotishi | $h_i = \lambda(L/D)h_v$ | 0,025·(10,9/1,09)·0,051 | 0,013 | m |
| Mahalliy yo‘qotish | $\Sigma h_m = \Sigma\zeta \cdot h_v$ | 2,20·0,051 | 0,112 | m |
| Umumiy yo‘qotish | $\Sigma h_n = h_i + \Sigma h_m$ | 0,013 + 0,112 | 0,125 | m |
| Foydali napor | $H_{foy} = H_{br} - \Sigma h_n$ | 1,80 − 0,125 | 1,68 | m |
| Yo‘qotish ulushi | $\Sigma h_n/H_{br} \cdot 100$ | 0,125/1,80·100 | 6,9 | % |

Umumiy yo‘qotishlar brutto naporning atigi 6,9 % ini yeb qo‘ydi, shu sababli loyiha oldi bosqichi uchun bu darajani maqbul deb hisoblash mumkin. Yakuniy


ISSN 3030-3907

loyihada esa ushbu raqam geodezik syomka, kanalning haqiqiy kesimi, panjara konstruksiyasi va CFD validatsiyasi orqali qaytadan tekshirilishi kerak.

**Energetik potensial va turbina tanlovi**

Foydali napor va hisobiy sarf bo‘yicha quvvat uch bosqichda baholandi: nazariy 10,59 kVt, texnik 9,86 kVt va generator chiqishidagi elektr quvvati 7,10 kVt (3-jadval). Nazariydan elektr quvvatigacha pasayish avval gidravlik yo‘qotishlar, so‘ngra umumiy FIK ta‘sirida yuzaga keladi.

**3-jadval.**

**Energetik quvvat ko‘rsatkichlari**

| Quvvat turi | Formula | Hisoblash | Natija, kVt |
|---|---|---|---|
| Nazariy quvvat | $P_{naz} = 9{,}81 \cdot Q \cdot H_{br}$ | 9,81·0,600·1,80 | 10,59 |
| Texnik quvvat | $P_{tex} = 9{,}81 \cdot Q \cdot H_{foy}$ | 9,81·0,600·1,68 | 9,86 |
| Elektr quvvati | $P_e = 9{,}81 \cdot Q \cdot H_{foy} \cdot \eta$ | 9,81·0,600·1,68·0,72 | 7,10 |

Turbina tanlashda bitta quvvat ko‘rsatkichiga tayanib bo‘lmaydi: suv sarfining mavsumiy o‘zgarishi, cho‘kindi va loyqalik rejimi, servisning qulayligi, qurilma narxi hamda kichik obyektda montajning soddaligi — bularning bari birga hisobga olindi. Solishtirish tiniq bo‘lishi uchun uchala variant bir xil Q va Hfoy qiymatlarida hisoblanib, asosiy parametrlari 4-jadvalda yonma-yon keltirildi.

**4-jadval.**

**Turbina variantlarini hisobiy taqqoslash**

| Parametr | Banki | Kaplan | PAT |
|---|---|---|---|
| Rotor diametri $D_1$, m | 0,50 | 0,24 | 0,24 |
| Aylanish soni n, ayl/min | 102 | 666 | 1 500 |
| Aylana tezligi $u_1$, m/s | 2,67 | 8,31 | 18,81 |
| Solishtirma aylanish soni $n_s$ | 150 | 1 036 | 2 038 |
| Turbina FIKi $\eta_t$ | 0,80 | 0,89 | 0,68 |
| Val quvvati, kVt | 7,89 | 8,78 | 6,70 |
| Elektr quvvati $P_e$, kVt | 7,19 | 8,00 | 6,11 |
| Val momenti M, N·m | 693 | 106 | 47 |
| Kuraklar soni z | 28–36 | 3–5 | 5–7 |
| Nisbiy narx koeffitsienti | 1,00 | 1,45 | 0,72 |

Og‘irlangan baholash yakuni 5-jadval va 1-rasmda ko‘rsatilgan. Banki turbinasi 86,6 ballga (4,33/5) erishib, raqobatchilardan ajralib chiqdi. Uning

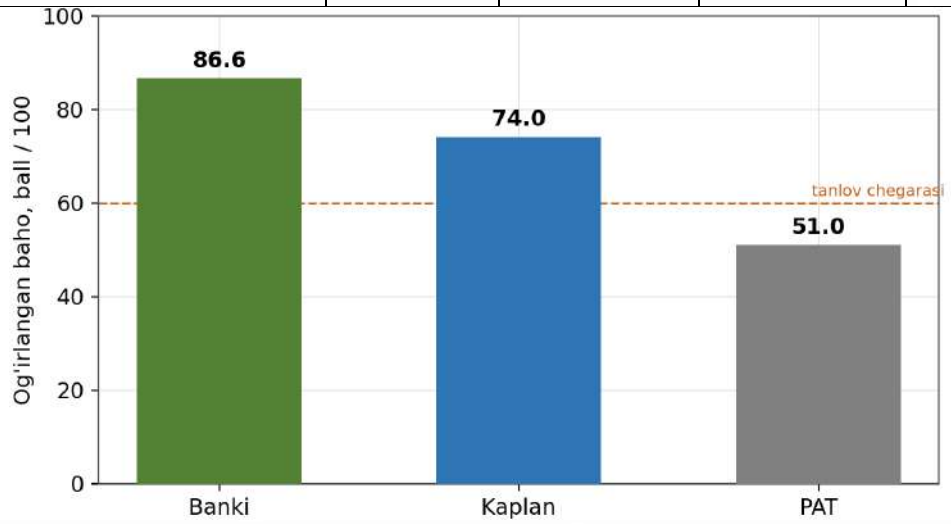

ISSN 3030-3907

ustunligi tasodifiy emas: aynan past napor va o‘zgaruvchan sarfga yaxshi moslashishi, konstruksiyasining soddaligi va arzonligi unga yuqori ball keltirdi.

**5-jadval.**

**Turbina variantlarini og‘irlangan baholash**

| Mezon | Vazn | Banki | Kaplan | PAT |
|---|---|---|---|---|
| Q–H mosligi ($n_s$) | 0,25 | 5,0 | 4,5 | 1,2 |
| O‘zgaruvchan sarfga moslashuv | 0,20 | 5,0 | 4,0 | 2,0 |
| FIK | 0,20 | 3,7 | 4,9 | 2,1 |
| Cho‘kindi / ekspluatatsiya | 0,15 | 4,0 | 3,0 | 3,0 |
| Iqtisodiylik | 0,20 | 3,7 | 1,7 | 4,9 |
| Og‘irlangan jami (5 ballik) | 1,00 | 4,33 | 3,70 | 2,55 |




**1-rasm. Turbina variantlarining og‘irlangan jami bahosi, ball / 100**

**Banki turbinasi va generator parametrlari**

Tanlangan Banki turbinasi uchun olib borilgan hisoblar va ulardan chiqqan natijalar 6-jadvalda berilgan. Hisobiy eni 1,60 m chiqdi; bunday uzunlikdagi rotorni yaxlit qoldirgandan ko‘ra, uni har biri 0,80 m li ikki modulga bo‘lish afzal. Bu yechim suv kam bo‘lgan paytda bitta modulni o‘chirib qo‘yish imkonini beradi, ya’ni qisman yuklamada ham turbina samarali ishlaydi.

**6-jadval.**

**Banki turbinasi hisob formulalari**

| Parametr | Formula | Hisoblash | Natija |
|---|---|---|---|
| Kirish tezligi $v_1$ | $v_1 = C_v\sqrt{(2gH_{foy})}$ | $0{,}97\cdot\sqrt{(2\cdot 9{,}81\cdot 1{,}68)}$ | 5,56 m/s |
| Aylana tezligi $u_1$ | $u_1 = K_u\cdot v_1$ | $0{,}48\cdot 5{,}56$ | 2,67 m/s |


ISSN 3030-3907

| Parametr | Formula | Hisoblash | Natija |
|---|---|---|---|
| Aylanish chastotasi n | $n = 60u_1/(\pi D_1)$ | $60 \cdot 2{,}67/(\pi \cdot 0{,}50)$ | 102 ayl/min |
| Ichki diametr $D_2$ | $D_2 = k \cdot D_1$ | $0{,}66 \cdot 0{,}50$ | 0,33 m |
| Soplo ochilishi a | $a = k \cdot D_1$ | $0{,}15 \cdot 0{,}50$ | 0,075 m |
| Konstruktiv eni B | $B = Q/(Cd \cdot a \cdot v_1)$ | $0{,}600/(0{,}90 \cdot 0{,}075 \cdot 5{,}56)$ | 1,60 m |
| Val momenti M | $M = 9550 \cdot P/n$ | $9550 \cdot 7{,}39/102$ | 693 N·m |

Generatorning nominal toki $I = P/(\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \eta)$ formulasidan $10{,}0 \cdot 1000/(1{,}732 \cdot 400 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}85) = 20{,}0$ A bo‘lib chiqdi. Aynan shu tok qiymati keyingi tanlovlarni belgilab berdi: unga zaxira bilan 20–25 A li himoya avtomati va kesimi 4–6 mm² bo‘lgan mis kabel mos keladi. Generator va elektr qismining boshqa ko‘rsatkichlari 7-jadvalga jamlangan.

**7-jadval.**

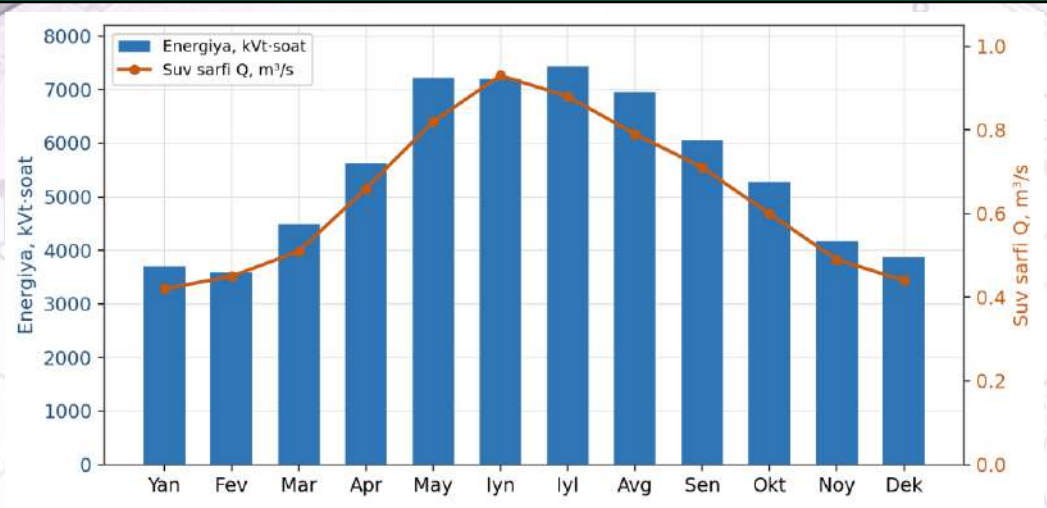
**Generator va elektr qismi ko‘rsatkichlari**

| Ko‘rsatkich | Qiymat | Izoh |
|---|---|---|
| Hisobiy elektr quvvati | 7,10 kVt | Generator chiqishida |
| Generator zaxirasi | 1,20 | Yuklama tebranishlari uchun |
| Tanlangan generator | 10,0 kVt | Standart quvvat qatori bo‘yicha |
| Uzatma nisbati | 14,71 | 1 500 ayl/min generator uchun |
| Nominal tok | 20,0 A | 400 V, 3 faza |
| Himoya avtomati | 20–25 A | Tok bo‘yicha |
| Mis kabel | 4–6 mm² | Masofa va tok bo‘yicha dastlabki tanlov |

**Yillik energiya ishlab chiqarish**

Loyiha hududining oylik suv sarfi va energiya ishlab chiqarish taqsimoti 2-rasmda keltirilgan. O‘zbekistonning iqlimiy va sug‘orish sharoitlaridan kelib chiqib, yillik oqim vegetatsiya (aprel–sentabr) va novegetatsiya (oktabr–mart) davrlariga ajratildi (8-jadval).


ISSN 3030-3907




**2-rasm. Oylik suv sarfi va elektr energiyasi ishlab chiqarish**

**8-jadval.**

**Energiya ishlab chiqarishning gidrologik davrlar bo‘yicha taqsimoti**

| Gidrologik davr | O‘rtacha Q, m³/s | O‘rtacha P, kVt | $E_{yil}$, kVt·soat | Ulush, % |
|---|---|---|---|---|
| Vegetatsiya (aprel–sentabr) | 0,80 | 9,21 | 40 483 | 61,7 |
| Novegetatsiya (oktabr–mart) | 0,48 | 5,74 | 25 094 | 38,3 |
| Jami / o‘rtacha | – | – | 65 577 | 100,0 |

Yil davomida ishlab chiqariladigan energiya 65 577 kVt·soatga yetdi, quvvatdan foydalanish koeffitsienti esa 74,9 % ni berdi. Bunchalik yuqori koeffitsient kanal oqimining yil bo‘yi nisbatan tekis kelishidan kelib chiqadi. Shunga qaramay, ishlab chiqarishni sug‘orish jadvaliga moslab yuritish kerak — suv birinchi navbatda dehqonchilik uchun taqsimlanadi.

**Texnik-iqtisodiy va ekologik baholash**

Investitsiya qiymati resurs usulidagi lokal smeta bo‘yicha hisoblandi. Asosini to‘g‘ridan-to‘g‘ri xarajatlar — 186,64 mln so‘m tashkil etadi; ustiga ustama xarajatlar, reja foydasi, kutilmagan xarajatlar zaxirasi va QQS qo‘shilgach, loyihaning to‘liq qiymati 267,8 mln so‘mga chiqdi (9-jadval).

**9-jadval.**

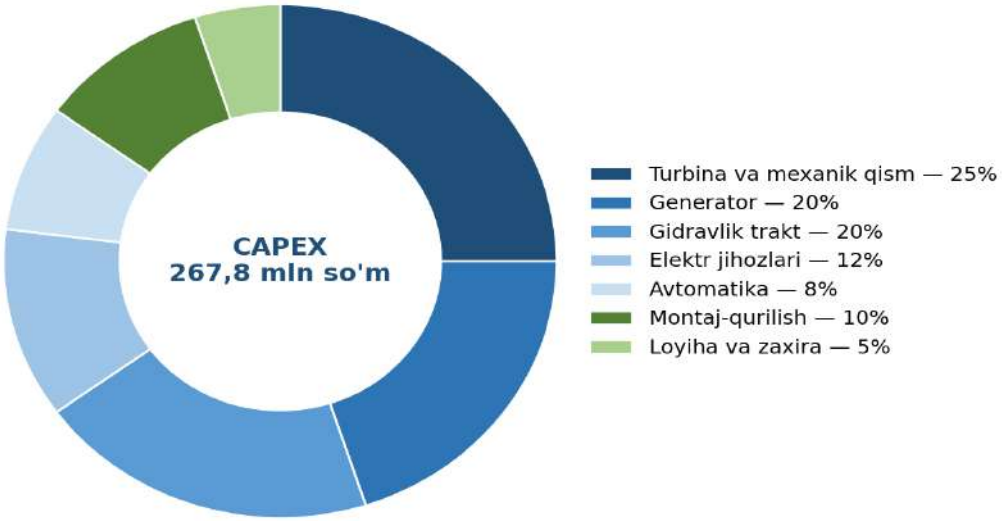
**Smeta qiymatining shakllanishi**

| Ko‘rsatkich | Summa, so‘m |
|---|---|
| To‘g‘ridan-to‘g‘ri xarajatlar | 186 640 000 |
| Ustama xarajatlar (14 %) | 26 129 600 |
| Reja foydasi (8 %) | 14 931 200 |


ISSN 3030-3907

| Ko‘rsatkich | Summa, so‘m |
|---|---|
| Kutilmagan xarajatlar zaxirasi (5 %) | 11 385 040 |
| QQSsiz jami | 239 085 840 |
| QQS (12 %) | 28 690 301 |
| Jami smeta qiymati (CAPEX) | 267 776 141 |

CAPEX ning yo‘nalishlar bo‘yicha taqsimoti 3-rasmda keltirilgan: eng katta ulush turbina-mexanik qism (25 %), generator va gidravlik trakt (har biri 20 %) hissasiga to‘g‘ri keladi. Asosiy texnik-iqtisodiy va ekologik ko‘rsatkichlar 10-jadvalda jamlangan.




**3-rasm. CAPEX ning yo‘nalishlar bo‘yicha taqsimoti, %**

**10-jadval.**

**Texnik-iqtisodiy va ekologik ko‘rsatkichlar**

| Ko‘rsatkich | Qiymat | Izoh |
|---|---|---|
| OPEX | 8 033 284 so‘m | Yillik ekspluatatsion xarajat |
| Yillik daromad | 65 577 147 so‘m | $E_{yil}$ × tarif |
| Sof pul oqimi | 57 543 862 so‘m | Daromad − OPEX |
| Oddiy qoplanish | 4,65 yil | CAPEX / sof pul oqimi |
| NPV | 169 907 052 so‘m | Diskontlangan sof qiymat |
| IRR | 20,1 % | NPV = 0 bo‘ladigan stavka |
| DPP | 6,58 yil | Chegirmali qoplanish |
| LCOE | 659 so‘m/kVt·soat | Tekislangan energiya tannarxi |
| $CO_2$ kamayishi | 29,5 t/yil | $E_{yil}$ × emissiya koeffitsienti |


ISSN 3030-3907

Loyiha samaradorligining asosiy noaniqlik manbalari — elektr tarifi va CAPEX — bo‘yicha sezgirlik tahlili 11-jadvalda keltirilgan.

**11-jadval.**

**Asosiy ko‘rsatkichlarning tarif va CAPEX o‘zgarishiga sezgirligi**

| Stsenariy | Yillik daromad, mln so‘m | Sof pul oqimi, mln so‘m | Oddiy qoplanish, yil | LCOE yo‘nalishi |
|---|---|---|---|---|
| *Bazaviy* | *65,6* | *57,5* | *4,65* | *659 so‘m/kVt·soat* |
| *Tarif −15 %* | *55,7* | *47,7* | *5,61* | *o‘zgarmaydi* |
| *Tarif +15 %* | *75,4* | *67,4* | *3,97* | *o‘zgarmaydi* |
| *CAPEX −10 %* | *65,6* | *57,5* | *4,19* | *↓ ≈ 609* |
| *CAPEX +10 %* | *65,6* | *57,5* | *5,12* | *↑ ≈ 709* |

Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, loyiha tarifning 15 % ga pasayishiga ham bardosh beradi: bunday holatda oddiy qoplanish 4,65 yildan 5,61 yilga uzayadi, biroq IRR diskont stavkasidan yuqori va NPV musbatligicha qoladi. CAPEX 10 % ga oshsa, qoplanish 5,12 yilga cho‘ziladi va LCOE ≈ 709 so‘m/kVt·soatga ko‘tariladi. Demak loyihaning iqtisodiy barqarorligi asosan elektr tarifiga, kamroq darajada CAPEXga bog‘liq; har ikki parametrning maqbul oralig‘ida loyiha foydaliligicha qoladi.

Hisob-kitoblar mikroGES loyihasini moliyaviy jihatdan ishonchli ko‘rsatadi: NPV musbat, IRR diskont stavkasidan yuqori, qoplanish muddati esa nisbatan qisqa — uchchala belgi ham mablag‘ sarflashga arziydigan loyihaga ishora qiladi. Ekologik tarafdan ham yutuq bor: inshoot mavjud kanalga o‘rnatilgani uchun alohida suv ombori talab qilmaydi va yiliga taxminan 29,5 t $CO_2$ chiqindisini kamaytiradi. Muhim shart shuki, kanalning birlamchi vazifasi — sug‘orish saqlanadi: avariya yoki ta‘mirlash paytida suv bypass tarmog‘i orqali o‘tkaziladi, demak obyektning suv xo‘jaligidagi roli xavf ostida qolmaydi.

Tadqiqotning chegarasini ham ochiq aytib o‘tish kerak: barcha raqamlar loyiha oldi hisoblariga tayanadi. Yakuniy yechim dala geodeziyasi, gidrologik va geologik ma‘lumotlar hamda CFD modellashtirish natijalari bilan aniqlanishi shart. CFD tahlili oqimning trakt bo‘ylab barqaror taqsimlanishini tekshiradi; analitik Q/A qiymatlaridan og‘ish 5 % dan oshmasligi nazoratga olinadi.

**XULOSA.**

Qashqadaryo viloyatidagi namunaviy sug‘orish kanali misolida past naporli mikroGESni loyihalashning kompleks metodikasi ishlab chiqildi va sonli natijalar


ISSN 3030-3907

bilan asoslandi. Gidravlik hisoblarda foydali napor 1,68 m, yo‘qotishlar ulushi 6,9 %, oqim rejimi esa subkritik (Fr = 0,452) chiqdi. Ko‘p mezonli og‘irlangan baholash past napor va o‘zgaruvchan sarf sharoitida Banki turbinasini optimal variant (86,6 ball) sifatida ko‘rsatdi; unga mos hisobiy elektr quvvati 7,10 kVt, yillik energiya 65 577 kVt·soat va quvvatdan foydalanish koeffitsienti 74,9 % ni tashkil etdi.

Texnik-iqtisodiy baholashda investitsiya qiymati 267,8 mln so‘m, IRR 20,1 %, LCOE 659 so‘m/kVt·soat va oddiy qoplanish muddati 4,65 yil bo‘lib, loyiha iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq. Inshoot mavjud kanalga o‘rnatilgani uchun qo‘shimcha yer va suv ombori talab qilmaydi va yiliga ≈ 29,5 t $CO_2$ chiqindisini kamaytiradi. Taklif etilgan metodika o‘xshash kanal obyektlariga moslashtirilishi mumkin; yakuniy yechim dala o‘lchovlari, gidrologik kuzatuvlar va CFD validatsiyasi bilan aniqlashtirilishi tavsiya etiladi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025-yil 28-martdagi PQ-129-son qarori.
2. “Suv va suvdan foydalanish to‘g‘risida”gi O‘zbekiston Respublikasi Qonuni.
3. ShNQ 2.06.01-24. Gidrotexnika inshootlari. – Toshkent: O‘zbekiston Respublikasi Qurilish vazirligi.
4. IEC 61116:1992. Electromechanical equipment guide for small hydroelectric installations. – Geneva: IEC.
5. IEC 60041:1991. Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines. – Geneva: IEC.
6. Mockmore C.A., Merryfield F. The Banki Water Turbine. Bulletin Series No. 25. – Corvallis: Oregon State College, Engineering Experiment Station, 1949.
7. Paish O. Small hydro power: technology and current status // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2002. – Vol. 6, No. 6. – P. 537–556.
8. Williamson S.J., Stark B.H., Booker J.D. Low head pico hydro turbine selection using a multi-criteria analysis // Renewable Energy. – 2014. – Vol. 61. – P. 43–50.
9. European Small Hydropower Association (ESHA). Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant. – Brussels: ESHA, 2004.


ISSN 3030-3907

# MIKRO GIDROELEKTR STANSIYALARIDA GIDROTURBINA ISH REJIMLARINI AVTOMATIK BOSHQARISH TIZIMLARINING TAHLILI VA RIVOJLANISH TENDENSIYALARI

**Qodirov D.B.**
*Texnika fanlari doktori, professor, Energetika fakulteti dekani, "TIIAME" Milliy tadqiqot universiteti.*
**Arzikulov X.M.**
*Tayanch doktorant, Andijon davlat texnika instituti.*
*E-mail: arzikulovkhusnidin@gmail.com*

**Annotatsiya.** Mazkur maqolada mikro gidroelektr stansiyalarida gidroturbina ish rejimlarini avtomatik boshqarish tizimlarining rivojlanish tendensiyalari tahlil qilingan. Governor, ELC, PI, PID, Fuzzy Logic va sun'iy intellektga asoslangan boshqaruv usullarining afzalliklari hamda cheklovlari qiyosiy baholangan. Mavjud boshqaruv tizimlarining optimal ish nuqtasini saqlashdagi muammolari aniqlanib, real vaqt monitoringi, IoT va Digital Twin texnologiyalarining istiqbollari yoritilgan. Tadqiqot natijalari mikroGESlarda energiya samaradorligini oshirish uchun intellektual avtomatik boshqaruv tizimlarini ishlab chiqish zarurligini ko'rsatadi.

**Kalit so'zlar:** mikroGES, gidroturbina, avtomatik boshqaruv, PID regulator, Fuzzy Logic, energiya samaradorligi, real vaqt monitoringi, IoT, Digital Twin, optimal ish rejimi.

**Аннотация.** В статье проанализированы тенденции развития систем автоматического управления режимами работы гидротурбин микроГЭС. Проведена сравнительная оценка преимуществ и ограничений методов governor, ELC, PI, PID, Fuzzy Logic и систем на основе искусственного интеллекта. Выявлены проблемы поддержания оптимальной рабочей точки существующими системами управления, а также рассмотрены перспективы применения технологий мониторинга в реальном времени, IoT и Digital Twin. Полученные результаты подтверждают необходимость разработки интеллектуальных систем управления для повышения энергоэффективности микроГЭС.

**Ключевые слова:** микроГЭС, гидротурбина, автоматическое управление, PID-регулятор, нечеткая логика, энергоэффективность, мониторинг в реальном времени, IoT, Digital Twin, оптимальный режим работы.

**Abstract.** This paper analyzes the development trends of automatic control systems for hydroturbine operating modes in micro hydropower plants. The advantages and limitations of governor, ELC, PI, PID, Fuzzy Logic, and artificial intelligence-based control approaches are comparatively evaluated. The limitations of existing systems in maintaining the optimal operating point are identified, while the


ISSN 3030-3907

prospects of real-time monitoring, IoT, and Digital Twin technologies are discussed. The results highlight the need for intelligent automatic control systems to improve energy efficiency in micro hydropower plants.

**Keywords:** micro hydropower plant, hydroturbine, automatic control, PID controller, Fuzzy Logic, energy efficiency, real-time monitoring, IoT, Digital Twin, optimal operating mode.

## KIRISH.

Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish hajmining ortib borishi mikro gidroelektr stansiyalarga (mikroGES) bo‘lgan qiziqishni kuchaytirmoqda. MikroGESlar kichik daryolar, irrigatsiya kanallari va suv xo‘jaligi inshootlarining gidroenergetik salohiyatidan foydalanish imkonini beruvchi istiqbolli texnologiyalardan biri hisoblanadi. So‘nggi yillarda ushbu yo‘nalishda olib borilgan tadqiqotlarning sezilarli ortishi energiya samaradorligini oshirish hamda avtomatik boshqaruv tizimlarini takomillashtirish masalalarining dolzarbligini tasdiqlaydi.

MikroGESlarning energiya samaradorligi nafaqat gidroturbina konstruksiyasi, balki turbina–generator–yuklama tizimining ish rejimini boshqarish sifati bilan ham belgilanadi. Amaliy ekspluatatsiya sharoitida suv sarfi va elektr yuklamasining o‘zgarishi natijasida gidroturbinaning ish nuqtasi optimal holatdan chetlashadi, bu esa energiya ishlab chiqarish samaradorligining pasayishi hamda chastota va kuchlanish barqarorligining buzilishiga olib keladi. Shu sababli gidroturbinaning optimal ish rejimini aniqlash va uni real vaqt rejimida saqlab turuvchi boshqaruv tizimlarini ishlab chiqish muhim ilmiy vazifa hisoblanadi.

Hozirgi kunda mikroGESlarda governor, ELC, PI, PID, Fuzzy Logic va sun’iy intellektga asoslangan boshqaruv usullari qo‘llanilmoqda. Biroq mavjud tadqiqotlarning aksariyati chastota va kuchlanish parametrlarini boshqarishga qaratilgan bo‘lib, gidroturbinaning optimal ish nuqtasini real vaqt rejimida saqlash masalasi yetarli darajada o‘rganilmagan. Shu munosabat bilan mazkur maqolaning maqsadi mikro gidroelektr stansiyalarida qo‘llanilayotgan avtomatik boshqaruv tizimlarini tahlil qilish, ularning energiya samaradorligiga ta’sirini baholash hamda istiqbolli boshqaruv yondashuvlarini aniqlashdan iborat.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi mikroGESlarda qo‘llanilayotgan avtomatik boshqaruv tizimlarini energiya samaradorligi nuqtai nazaridan kompleks baholash va istiqbolli boshqaruv yo‘nalishlarini aniqlashdan iborat.

## ADABIYOTLAR TAHLILI.

### MikroGESlarda avtomatik boshqaruv tizimlarining rivojlanishi

Mikro gidroelektr stansiyalarida energiya ishlab chiqarish samaradorligi gidroturbina ish rejimini barqaror saqlash bilan chambarchas bog‘liq. Suv sarfi va elektr yuklamasining o‘zgarishi generator aylanish tezligi, chastota hamda


ISSN 3030-3907

kuchlanish parametrlarining tebranishiga olib keladi. Shu sababli mikroGESlarda avtomatik boshqaruv tizimlari gidroturbina–generator majmuasining ajralmas qismi sifatida rivojlanib bormoqda.

Dastlabki tadqiqotlarda mexanik governor tizimlari qo‘llanilgan bo‘lib, ular turbina klapanlari holatini o‘zgartirish orqali aylanish tezligini boshqargan. Keyinchalik governor tizimlari elektron boshqaruv elementlari bilan integratsiyalanib, chastota barqarorligini yaxshilash imkoniyatiga ega bo‘ldi [4], [5], [6]. Off-grid mikroGESlarda esa Electronic Load Controller (ELC) texnologiyasi generator yuklanishini deyarli o‘zgarmas saqlash orqali chastotani barqarorlashtirishga xizmat qildi. Biroq ortiqcha energiyaning ballast yuklamalarda sarflanishi energiyadan foydalanish samaradorligini cheklab qo‘yadi [1], [4], [5].

Boshqaruv aniqligini oshirish maqsadida PI va PID regulatorlari keng joriy etildi. Tadqiqotlar PID algoritmlari o‘tkinchi jarayonlarni qisqartirishi va chastota tebranishlarini kamaytirishini ko‘rsatgan [1], [3], [7]. Xususan, Grey Wolf Optimizer asosida optimallashtirilgan PID regulatorlar yuklama o‘zgarishlarida yuqori boshqaruv sifatini namoyish etgan [3]. Biroq mavjud ishlarda parametrlar asosan nominal ish nuqtasi uchun tanlangan bo‘lib, suv sarfi va yuklama o‘zgaruvchan sharoitlarda ularning samaradorligi pasayishi mumkin [2], [3], [7]. Shu sababli gidroturbinaning optimal ish nuqtasini real vaqt rejimida saqlash masalasi dolzarbligicha qolmoqda.

**Zamonaviy intellektual boshqaruv usullari**

MikroGESlarning nolinear va parametrik jihatdan o‘zgaruvchanligi sababli so‘nggi yillarda intellektual boshqaruv algoritmlariga qiziqish ortmoqda. Fuzzy Logic Controller (FLC) tizimlari ekspert bilimlariga asoslangan holda boshqaruv signallarini shakllantirib, yuklama va suv sarfi o‘zgarishlarida PID regulatorlarga nisbatan yuqori moslashuvchanlikni namoyish etgan [8], [9], [10]. Adaptive fuzzy yondashuvlari esa boshqaruv parametrlarini avtomatik moslashtirish orqali tizim barqarorligini oshiradi, biroq ularning hisoblash murakkabligi yuqori hisoblanadi [9], [10].

Sun’iy intellektga asoslangan ANN va ANFIS texnologiyalari gidroturbina hamda generatorning murakkab nolinear bog‘lanishlarini modellashtirish va prognozlash imkonini beradi [11], [12]. Biroq mavjud tadqiqotlarning aksariyatida ushbu algoritmlar alohida boshqaruv bloklari sifatida qo‘llanilgan bo‘lib, gidroturbinaning samaradorlik xaritasi, suv sarfi, generator yuklamasi va energiya ishlab chiqarish ko‘rsatkichlarini yagona optimallashtirish mezoni sifatida integratsiyalash masalasi yetarlicha yoritilmagan. Natijada optimal ish nuqtasini aniqlash va uni real vaqt rejimida saqlash muammosi hanuzgacha dolzarb bo‘lib qolmoqda. Shu sababli real vaqt monitoringi va intellektual boshqaruv


ISSN 3030-3907

algoritmlarini birlashtiruvchi yondashuvlar mikroGESlar rivojlanishining istiqbolli yo‘nalishi sifatida qaralmoqda [10], [11], [12].

**TADQIQOT METODOLOGIYASI.**

Mazkur tadqiqotda mikro gidroelektr stansiyalarida gidroturbina ish rejimlarini avtomatik boshqarish tizimlariga oid ilmiy adabiyotlar tizimli va qiyosiy tahlil usullari asosida o‘rganildi. Tadqiqotda klassik (governor, ELC, PI, PID) hamda zamonaviy intellektual (Fuzzy Logic, Adaptive Fuzzy, ANN, ANFIS) boshqaruv usullarining mikroGESlar energiya samaradorligiga ta’siri baholandi.

Tahlil jarayonida boshqaruv usullarining aniqligi, moslashuvchanligi, chastota va kuchlanish barqarorligini ta’minlash qobiliyati hamda optimal ish rejimini saqlash imkoniyatlari qiyosiy baholandi. Olingan natijalar asosida mavjud boshqaruv yondashuvlarining afzalliklari, cheklovlari va istiqbolli rivojlanish yo‘nalishlari aniqlandi.

**MUHOKAMA VA NATIJALAR.**

Mikro gidroelektr stansiyalarda energiya ishlab chiqarish samaradorligi ko‘plab texnik omillarga bog‘liq bo‘lsa-da, so‘nggi yillardagi tadqiqotlar boshqaruv tizimining ahamiyati gidroturbina konstruksiyasi bilan teng darajaga yetganini ko‘rsatmoqda. Adabiyotlar tahlili natijalariga ko‘ra, zamonaviy mikroGESlarda energiya samaradorligining pasayishi ko‘pincha suv sarfi, napor va elektr yuklamaning o‘zgaruvchanligi sababli yuzaga keladi. Bunday sharoitlarda gidroturbina ko‘p vaqt optimal ish nuqtasidan chetda ishlaydi, natijada foydali ish koeffitsienti pasayadi va energiya yo‘qotishlari ortadi [1], [2], [3].

Tahlil qilingan ilmiy ishlarda mikroGESlarni boshqarish uchun PI, PID, Fuzzy Logic va sun’iy neyron tarmoqlari (ANN) asosidagi algoritmlar keng qo‘llanilganligi aniqlandi. Ushbu usullarning asosiy afzallik va cheklovlari 1-jadvalda keltirilgan.

**1-jadval.**

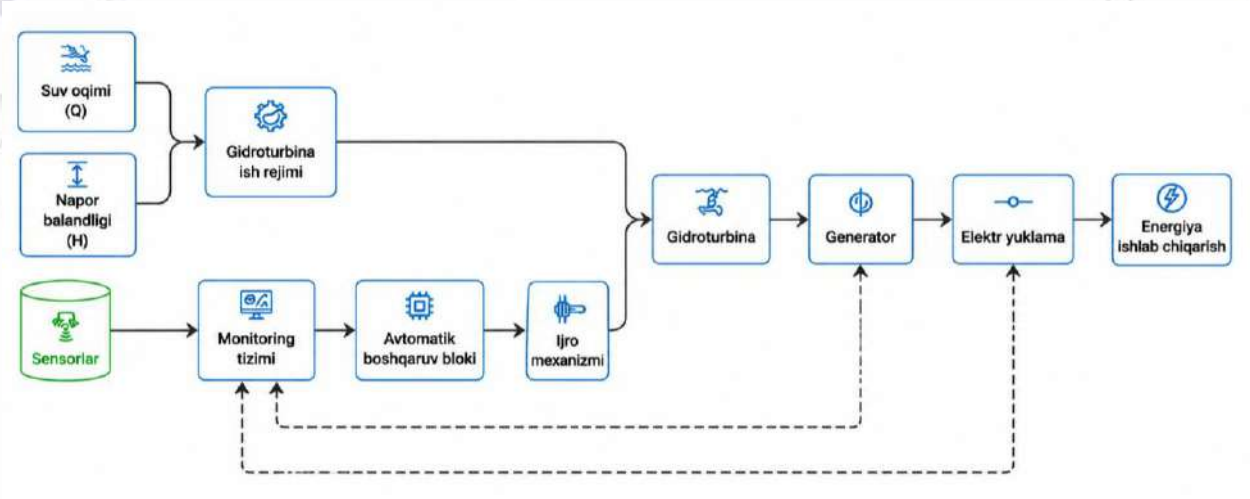
**MikroGESlarda qo‘llaniladigan boshqaruv usullarining qiyosiy tahlili (mualliflar tomonidan tuzilgan).**

| Boshqaruv usuli | Afzalliklari | Kamchiliklari |
|---|---|---|
| PI | Tuzilishi sodda, amaliyotda keng qo‘llaniladi | Parametrlar o‘zgarishiga moslashuvchan emas |
| PID | Yuqori aniqlik va tezkor javob | Koeffitsientlarni sozlash talab etiladi |
| Fuzzy Logic | Nolinear tizimlarda samarali ishlaydi | Hisoblash murakkabligi yuqori |


ISSN 3030-3907

| | | |
|---|---|---|
| ANN | O‘z-o‘zini o‘rganish va prognozlash imkoniyati mavjud | Katta hajmdagi ma’lumotlar talab qiladi |

Jadvaldan ko‘rinadiki, klassik PI va PID boshqaruvchilari sanoatda keng tarqalgan bo‘lishiga qaramasdan, ular parametrlarning keskin o‘zgarishlariga yetarli darajada moslasha olmaydi. Fuzzy va ANN asosidagi yondashuvlar esa murakkab va nolinear tizimlarda yuqori samaradorlik ko‘rsatadi, biroq ularning hisoblash xarajatlari hamda real vaqt rejimida qo‘llash murakkabligi amaliy joriy etishni cheklaydi [4], [5], [6].




**1-rasm. Mikro gidroelektr stansiyada turbina–generator–yuklama tizimining avtomatik boshqaruv va monitoring blok-sxemasi (muallif tomonidan ishlab chiqilgan).**

1-rasmda mikroGESning asosiy elementlari – gidroturbina, generator, yuklama, sensorlar, monitoring moduli va boshqaruv bloki o‘rtasidagi o‘zaro bog‘lanish ko‘rsatilgan. Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, mavjud tadqiqotlarning katta qismi generator chiqishidagi kuchlanish va chastotani barqarorlashtirishga qaratilgan bo‘lib, gidroturbinaning ichki ish rejimini optimallashtirish masalasi yetarli darajada o‘rganilmagan [7], [8].

Shuningdek, adabiyotlarni chuqur tahlil qilish natijasida mikroGESlarda optimal ish nuqtasini saqlash muammosi dolzarb ekanligi aniqlandi. Gidroturbinalarda maksimal samaradorlik ma’lum suv sarfi va napor qiymatlarida kuzatiladi. Biroq amaliy ekspluatatsiyada ushbu parametrlar doimiy ravishda o‘zgarib turadi. Natijada turbina optimal ish nuqtasidan chetlashadi va energiya ishlab chiqarish samaradorligi pasayadi [2], [8], [9]. Mavjud boshqaruv tizimlari asosan chastota va kuchlanishni barqarorlashtirish vazifasini bajaradi, biroq maksimal samaradorlik nuqtasini real vaqt rejimida kuzatish va ushlab turish imkoniyatiga ega emas.


ISSN 3030-3907

Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, zamonaviy sensor texnologiyalari va real vaqt monitoring tizimlari ushbu muammoni hal qilish uchun muhim vosita hisoblanadi. Suv sarfi, bosim, turbina aylanish tezligi, generator quvvati va yuklama holatini uzluksiz nazorat qilish orqali boshqaruv algoritmlariga zarur ma’lumotlarni uzatish mumkin. Natijada boshqaruv tizimi gidravlik va elektr parametrlaridagi o‘zgarishlarga tezkor moslasha oladi hamda energiya ishlab chiqarish samaradorligini oshirish imkoniyati yaratiladi [10], [11].

So‘nggi yillarda IoT (Internet of Things) va Digital Twin texnologiyalarining rivojlanishi mikroGESlarni boshqarish sohasida yangi imkoniyatlarni yuzaga keltirmoqda. IoT texnologiyasi yordamida tarqoq joylashgan mikroGESlardan real vaqt ma’lumotlarini masofadan yig‘ish va tahlil qilish mumkin. Digital Twin texnologiyasi esa fizik qurilmaning virtual nusxasini yaratish orqali tizim holatini prognozlash, nosozliklarni oldindan aniqlash va optimal boshqaruv strategiyalarini ishlab chiqishga imkon beradi [11], [12]. Biroq mavjud tadqiqotlarda ushbu texnologiyalar asosan monitoring yoki energiya menejmenti darajasida qo‘llanilgan bo‘lib, gidroturbina–generator–yuklama tizimini yagona integratsiyalashgan boshqaruv modeli sifatida qo‘llash yetarli darajada o‘rganilmagan.

Natijada olib borilgan tahlillar mikroGESlarda energiya samaradorligini oshirishning asosiy yo‘nalishi sifatida gidroturbina, generator va yuklama parametrlarini real vaqt rejimida kuzatib boruvchi hamda optimal ish nuqtasini avtomatik saqlovchi aqlli boshqaruv tizimlarini ishlab chiqish zarurligini ko‘rsatdi. Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, mavjud boshqaruv tizimlarining aksariyati generator parametrlarini barqarorlashtirishga yo‘naltirilgan bo‘lib, gidroturbinaning maksimal samaradorlik nuqtasini real vaqt rejimida kuzatish va saqlash masalasi yetarli darajada hal etilmagan. Aynan ushbu ilmiy bo‘shliq mazkur tadqiqotning asosiy mazmunini tashkil etadi va kelgusida IoT hamda Digital Twin texnologiyalari bilan integratsiyalashgan avtomatik boshqaruv algoritmlarini yaratish uchun nazariy asos bo‘lib xizmat qiladi [7], [10], [12].

**XULOSA VA TAKLIFLAR.**

O‘tkazilgan tahlillar mikro gidroelektr stansiyalarida energiya ishlab chiqarish samaradorligi nafaqat gidroturbina konstruksiyasi, balki uning ish rejimini boshqarish sifati bilan ham bevosita bog‘liqligini ko‘rsatdi. Adabiyotlar tahlili natijalariga ko‘ra, governor, ELC, PI va PID asosidagi an’anaviy boshqaruv tizimlari chastota hamda kuchlanish barqarorligini ta’minlashda samarali bo‘lsa-da, o‘zgaruvchan gidravlik sharoitlarda gidroturbinaning optimal ish nuqtasini uzoq muddat saqlash imkoniyatlari cheklangan. Fuzzy Logic, Adaptive Fuzzy, ANN va ANFIS kabi intellektual boshqaruv usullari esa tizimning moslashuvchanligini oshirish va boshqaruv sifatini yaxshilash imkonini beradi.


ISSN 3030-3907

Tahlillar natijasida mikroGESlarda energiya samaradorligini oshirishning istiqbolli yo‘nalishi sifatida real vaqt monitoringi, IoT va Digital Twin texnologiyalari bilan integratsiyalashgan intellektual avtomatik boshqaruv tizimlarini ishlab chiqish zarurligi aniqlandi. Gidroturbinaning optimal ish rejimini suv sarfi, napor va elektr yuklamasi o‘zgarishlariga mos ravishda avtomatik saqlab turuvchi boshqaruv algoritmlarini yaratish mikroGESlarda energiya ishlab chiqarish samaradorligini oshirishga qaratilgan keyingi tadqiqotlarning muhim yo‘nalishi hisoblanadi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Gil-González W., Montoya O.D., Garces A. Modeling and control of a small hydro-power plant for a DC microgrid // Electric Power Systems Research. – 2020. – Vol. 180. – Article 106104. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.106104
2. Naik K.R., Rajpathak B., Mitra A., Kolhe M.L. Assessment of energy management technique for achieving the sustainable voltage level during grid outage of hydro generator interfaced DC Micro-Grid // Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2021. – Vol. 46. – Article 101231. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101231
3. Novendra I.I., Wirawan I.M., Kusumawardana A., Latt A.K. Optimization of load frequency control using grey wolf optimizer in micro hydro power plants // Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology. – 2023. – Vol. 14, No. 2. – P. 166–176. – DOI: https://doi.org/10.14203/j.mev.2023.v14.166-176
4. Chatterjee H.S., Mahato S.N. Development of modified P&O algorithm based simple controller for constant voltage and frequency operation of three-phase IIG for micro-hydro application // e-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy. – 2024. – Vol. 7. – Article 100456. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100456
5. Fan Y., Zhang D., Li J. A control scheme for variable-speed micro-hydropower plants // Sustainability. – 2018. – Vol. 10, No. 11. – Article 4333. – DOI: https://doi.org/10.3390/su10114333
6. Hardi S., Safitri N., Yaman, Radhiah, Jamaluddin. Innovation of control valve motorization method for regulating turbine rotation in micro hydro generators // International Journal of Applied Power Engineering. – 2025. – Vol. 14, No. 1. – P. 90–100. – DOI: https://doi.org/10.11591/ijape.v14.i1.pp90-100
7. Pawawoi A., Muslyadi W.R., Akbar F., Nazir R. Analysis of Electronic Load Controller with Bidirectional Converter in Self-Excited Induction Generator // Jurnal Nasional Teknik Elektro. – 2022. – Vol. 11, No. 2. – P. 76–83. – DOI: https://doi.org/10.25077/jnte.v11n2.1003.2022

8. Perng J.-W., Kuo Y.-C., Lu K.-C. Design of the PID controller for hydro-turbines based on optimization algorithms // International Journal of Control, Automation and Systems. – 2020. – Vol. 18, No. 7. – P. 1758–1770. – DOI: https://doi.org/10.1007/s12555-019-0254-7
9. Salhi I., Doubabi S., Essounbouli N. Fuzzy control of micro hydro power plants // Proceedings of the 5th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2010). – Brighton, United Kingdom, 2010. – DOI: https://doi.org/10.1049/cp.2010.0084
10. El Hamdaouy A., Salhi I., Doubabi S. Load frequency controller based on PI fuzzy self-tuning for a three-phase micro hydroelectric power plant // Soft Computing and Electrical Engineering. – 2019. – Vol. 1, No. 2. – P. 26–39.
11. Özbay Karaköse E., Gençoğlu M.T. Load frequency control for small hydro power plants using adaptive fuzzy controller // Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC). – Istanbul, Turkey, 2010. – DOI: https://doi.org/10.1109/ICSMC.2010.5642495
12. Bozarov O., Aliyev R., Kodirov D., Bozorov D., Saidullaeva S. Analysis of the efficiency of a counter-rotary hydraulic unit with a jet hydro turbine based on a Segner wheel // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 497. – Article 01017. – DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449701017

УДК 699.841 + 624.012.25

# ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ УЯЗВИМОСТИ НЕСУЩИХ КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ, УСИЛЕННЫХ ИНЪЕКЦИОННЫМИ СОСТАВАМИ

**Файзуллаева З.Н.**

***Бухарский государсрственый технический университет, г. Бухара, Республика Узбекистан.***

**Аннотация.** Статья посвящена вероятностной оценке сейсмической уязвимости несущих каменных конструкций исторического здания из кирпичной кладки на ганчевом растворе XVII века до и после инъекционного усиления. На основе нелинейного динамического анализа (метод инкрементальной динамики, IDA) с использованием 12 натуральных и синтетических акселерограмм, согласованных со спектром сейсмической опасности для Бухарского региона (PGA = 0,20g, период повторяемости 475 лет), получены кривые хрупкости для трёх предельных состояний: немедленное занятие (IO), защита жизни (LS) и предотвращение обрушения (CP). Показано, что усиление известково-цементным инъекционным составом (рецептура MLC) с шагом инъекционных скважин 0,75 м при давлении нагнетания 0,3–0,5 МПа повышает медианное ускорение разрушения по предельному состоянию CP с 0,27g до 0,41g (+52 %) и снижает вероятность достижения состояния LS при нормативном воздействии PGA = 0,20g с 0,61 до 0,28. Параметры нелинейных моделей материалов откалиброваны по результатам лабораторных испытаний 90 образцов усиленной кладки. Результаты могут быть использованы при разработке нормативных рекомендаций по проектированию инъекционного усиления объектов культурного наследия в сейсмических районах Центральной Азии.

**Ключевые слова:** каменная кладка; инъекционное усиление; сейсмическая уязвимость; кривые хрупкости; нелинейный динамический анализ; IDA; предельные состояния; объект культурного наследия; известково-цементный инъект.

**Annotatsiya.** Maqola XVII asrga oid ganchli eritmadagi g‘ishtli devorli tarixiy binoning yuk ko‘taruvchi tosh konstruktsiyalarining inyeksion mustahkamlashdan oldingi va keyingi holatdagi seysmik zaifligini ehtimollik usulida baholashga bag‘ishlangan. 12 ta tabiiy va sintetik akselerogramma asosida o‘tkazilgan chiziqli bo‘lmagan dinamik tahlil (inkremental dinamik tahlil usuli — IDA) yordamida, Buxoro hududi uchun seysmik xavf spektri bilan moslashtirilgan (PGA = 0,20g, takrorlanish davri 475 yil) uchta cheklov holati bo‘yicha mo‘rtlik (zaiflik) egri chiziqlari olingan: darhol foydalanishga yaroqlilik (IO), hayotni himoya qilish (LS) va qulashning oldini olish (CP). Ma’lum bo‘lishicha, ma’lum bosqich bilan (0,75



ISSN 3030-3907

m) va 0,3–0,5 MPa bosim ostida quyiladigan ohak-tsementli inyeksion tarkib (MLC retsepti) yordamida mustahkamlash CP cheklov holati bo‘yicha median halokat tezlashuvini 0,27g dan 0,41g gacha (+52 %) oshiradi hamda normativ ta’sir PGA = 0,20g da LS holatiga yetish ehtimolini 0,61 dan 0,28 gacha pasaytiradi. Materiallarning chiziqli bo‘lmagan modellarining parametrlari 90 ta mustahkamlangan devor namunasining laboratoriya sinovlari natijalari asosida kalibrlangan. Olingan natijalar Markaziy Osiyo seysmik hududlaridagi madaniy meros ob’yektlarini inyeksion mustahkamlashni loyihalash bo‘yicha normativ tavsiyalarni ishlab chiqishda qo‘llanilishi mumkin.

**Kalit so‘zlar:** g‘ishtli devor; inyeksion mustahkamlash; seysmik zaiflik; mo‘rtlik egri chiziqlari; chiziqli bo‘lmagan dinamik tahlil; IDA; cheklov holatlari; madaniy meros ob’yekti; ohak-tsementli inyekt.

**Abstract.** The paper presents probabilistic seismic vulnerability assessment of load-bearing masonry structures in a 17th-century historic building before and after injection reinforcement. Fragility curves for three limit states (IO, LS, CP) are derived using Incremental Dynamic Analysis (IDA) with 12 ground motion records compatible with the seismic hazard spectrum for the Bukhara region (PGA = 0.20g, 475-year return period). Reinforcement with MLC lime-cement grout (borehole spacing 0.75 m, injection pressure 0.3–0.5 MPa) increases the median collapse PGA from 0.27g to 0.41g (+52%) and reduces the LS exceedance probability at PGA = 0.20g from 0.61 to 0.28. Material model parameters are calibrated from 90 reinforced masonry specimens.

**Keywords:** masonry; injection reinforcement; seismic fragility; IDA; limit states; cultural heritage.

## 1. ВВЕДЕНИЕ.

Исторические здания из кирпичной кладки на ганчевых (гипсово-известковых) растворах представляют значительную долю архитектурного наследия Центральной Азии. Высокая сейсмическая активность региона — расчётная интенсивность землетрясений для Бухарской области составляет 8 баллов по шкале МСК-64 — в сочетании с накопленными повреждениями конструкций обусловливает актуальность задачи количественной оценки сейсмической уязвимости таких объектов.

Инъекционное усиление каменной кладки широко применяется в международной реставрационной практике [1, 2]. Вместе с тем количественное обоснование его эффективности в вероятностных терминах — через построение кривых хрупкости до и после усиления — выполнено лишь для ограниченного числа объектов, преимущественно в Европе [3–5]. Для объектов культурного наследия (ОКН) Центральной Азии подобных исследований в открытой литературе не представлено.


ISSN 3030-3907

Цель настоящей работы — построить кривые хрупкости несущих каменных конструкций исторического здания XVII века (медресе, Бухара) для трёх предельных состояний и количественно оценить снижение сейсмической уязвимости при различных схемах инъекционного усиления.

## 2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАСЧЁТНАЯ МОДЕЛЬ

### 2.1. Конструктивная система здания

Объект исследования — медресе Абдулазиз-хана (Бухара, 1652 г., эпоха Аштарханидов), включённое в Список всемирного наследия ЮНЕСКО. Здание представляет собой прямоугольную в плане постройку с двухъярусными худжрами по периметру. Несущие стены толщиной 1,2–2,5 м выполнены из жжёного кирпича на ганчевом растворе. В качестве перекрывающих конструкций использованы своды типов «балхи» и «шелковичный кокон», пандантивы и коробовые своды.

Расчётная конечно-элементная модель построена в программном комплексе ABAQUS/Standard. Кладка описана как псевдооднородный ортотропный материал с применением модели пластичности бетона с повреждением (Concrete Damaged Plasticity, CDP). Параметры модели откалиброваны по результатам лабораторных испытаний (таблица 1). Полная модель содержит ~2,3 млн степеней свободы; для динамического анализа применено редуцирование методом Craig–Bampton.

**Таблица 1.**

**Параметры модели CDP для кладки до и после инъекционного усиления**

| Параметр CDP | Обозначение | Кладка (исх.) | Кладка + LC | Кладка + MLC |
|---|---|---|---|---|
| Предел прочн. на сжатие | fc, МПа | 8,4 | 10,9 | 13,6 |
| Предел прочн. на растяж. | ft, МПа | 0,28 | 0,38 | 0,51 |
| Модуль упругости | E, МПа | 2400 | 3100 | 4200 |
| Коэф. Пуассона | ν | 0,17 | 0,17 | 0,17 |
| Угол дилатансии | ψ, ° | 12,0 | 11,2 | 10,8 |


ISSN 3030-3907

| Параметр CDP | Обозначение | Кладка (исх.) | Кладка + LC | Кладка + MLC |
|---|---|---|---|---|
| Энергия трещиностойк. | GF, Н/м | 18,4 | 28,1 | 38,4 |

**2.2. Схемы инъекционного усиления**

Рассматривались три схемы усиления инъекционными составами: LC (известково-пуццолановый), MLC (известково-цементный, оптимальная рецептура) и без усиления (исходное состояние). Параметры нагнетания для схемы MLC: давление 0,3–0,5 МПа, шаг инъекционных скважин 0,75 м, диаметр скважин 14 мм. Совместимость состава с исторической кладкой подтверждена испытаниями на адгезию методом pull-off: среднее значение 0,87 МПа.

## 3. МЕТОДОЛОГИЯ НЕЛИНЕЙНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

**3.1. Подбор акселерограмм**

Для нелинейного динамического анализа (Time-History) использован набор из 12 акселерограмм: 7 записей реальных землетрясений из баз данных PEER NGA-West2 и ESMD (события с Mw = 5,8–7,3, эпицентральные расстояния 15–80 км) и 5 синтетических акселерограмм, сгенерированных методом SIMQKE и согласованных со спектром сейсмической опасности для Бухарского региона (класс грунта B по EC8, PGA = 0,20g). Масштабирование выполнено по критерию среднеквадратического спектра в диапазоне периодов $0{,}2T_1$–$2{,}0T_1$, где $T_1$ — первый период собственных колебаний модели.

**3.2. Метод инкрементальной динамической анализа (IDA)**

IDA-анализ выполнен в диапазоне интенсивностей PGA от 0,04g до 0,56g с шагом 0,04g. Для каждой пары (акселерограмма, уровень интенсивности) вычислялся параметр инженерного спроса (EDP) — максимальный относительный сдвиг θmax. Критерии предельных состояний приняты согласно ASCE 41-17:

**1.** ***IO (немедленное занятие):*** θmax = 0,3 % — незначительные повреждения, здание пригодно к использованию.

**2.** ***LS (защита жизни):*** θmax = 0,8 % — значительные повреждения, угрозы жизни нет.

**3.** ***CP (предотвращение обрушения):*** θmax = 1,5 % — состояние перед обрушением.

**3.3. Построение кривых хрупкости**


ISSN 3030-3907

Кривые хрупкости аппроксимированы логнормальным распределением — стандартный подход в вероятностной оценке сейсмического риска [6]:

$$P(LS \mid PGA) = \Phi\left[\ln(PGA / \hat{\theta}) / \beta\right]$$

где $\hat{\theta}$ — медианное значение PGA разрушения; $\beta$ — логарифмическое стандартное отклонение (разброс), учитывающее неопределённости в записях движения грунта $\beta R$ и в параметрах модели $\beta U$; $\Phi$ — функция стандартного нормального распределения. Параметры $\hat{\theta}$ и $\beta$ определены методом максимального правдоподобия по результатам IDA для каждого предельного состояния и каждой схемы усиления.

## 4. РЕЗУЛЬТАТЫ.

### 4.1. IDA-кривые

В таблице 2 приведены параметры кривых хрупкости $\hat{\theta}$ и $\beta$ для каждого предельного состояния и схемы усиления.

**Таблица 2.**

**Параметры логнормальных кривых хрупкости**

| Предельное состояние | Схема | $\hat{\theta}$, g | β | P(LS\|PGA=0,20g) |
|---|---|---|---|---|
| IO | Без усиления | 0,10 | 0,38 | 0,91 |
| IO | LC | 0,14 | 0,37 | 0,74 |
| **IO ★** | MLC | 0,17 | 0,36 | 0,56 |
| LS | Без усиления | 0,19 | 0,42 | 0,61 |
| LS | LC | 0,25 | 0,41 | 0,44 |
| **LS ★** | MLC | 0,31 | 0,40 | 0,28 |
| CP | Без усиления | 0,27 | 0,47 | 0,38 |
| CP | LC | 0,34 | 0,46 | 0,24 |
| **CP ★** | MLC | 0,41 | 0,45 | 0,12 |

Из таблицы 2 следует, что усиление составом MLC наиболее существенно снижает уязвимость по предельному состоянию CP: медианное значение $\hat{\theta}$ возрастает с 0,27g до 0,41g (+52 %). Вероятность достижения состояния LS при нормативном воздействии PGA = 0,20g снижается с 0,61 до 0,28 — то есть более чем вдвое. Разброс β незначительно уменьшается при


ISSN 3030-3907

усилении (с 0,47 до 0,45 для CP), что свидетельствует о снижении неопределённости в поведении конструкции за счёт заполнения пустот и трещин инъектом.

### 4.2. Сравнение эффективности схем усиления

**Таблица 3.**

**Сравнительная оценка схем инъекционного усиления**

| Схема | $\Delta\hat{\theta}$(CP), % | ΔP(LS\|0,20g) | Индекс IS | Стоимость (отн.) |
|---|---|---|---|---|
| Без усиления | — | — | 0,78 | — |
| LC | +26% | –0,17 | 1,08 | 0,70 |
| **MLC ★** | +52% | –0,33 | 1,38 | 1,00 |

Состав MLC обеспечивает наилучшее соотношение эффективности и затрат (таблица 3). Индекс сейсмической безопасности IS = 1,38 при усилении MLC превышает нормативное значение IS ≥ 1,0, что подтверждает достаточность предложенной схемы усиления для обеспечения сейсмостойкости объекта.

### 4.3. Чувствительность результатов

Анализ чувствительности кривых хрупкости к неопределённостям в параметрах модели выполнен методом Монте-Карло (1 000 реализаций). Установлено, что наибольший вклад в разброс β вносят: модуль упругости кладки E (вклад 31 %), прочность раствора на растяжение ft (24 %) и энергия трещинообразования GF (19 %). Параметры инъекционного состава (прочность и адгезия) вносят суммарно 18 % в вариабельность ответа, что обосновывает необходимость тщательного контроля качества инъекционных работ.

## 5. ОБСУЖДЕНИЕ.

Полученные кривые хрупкости качественно согласуются с результатами аналогичных исследований для итальянских исторических зданий [3, 4]. Вместе с тем медианное значение $\hat{\theta}$(CP) для исходного (неусиленного) состояния объекта — 0,27g — существенно ниже значений, полученных для европейских аналогов (0,35–0,45g [3]). Это объясняется рядом особенностей ганчевой кладки XVII века: повышенной хрупкостью раствора (GF/ft ≈ 65 мм против 110–130 мм для европейских образцов), анизотропией механических свойств по высоте кладки и наличием внутренних пустот объёмом 8–12 %.


ISSN 3030-3907

Эффективность состава MLC объясняется оптимальным балансом характеристик: достаточная прочность (fc = 18,2 МПа при 28 сутках) в сочетании с низкой усадкой (0,04 %) и высокой адгезией к исторической кладке. Состав LC, хотя и значительно дешевле (стоимость 0,70 против 1,00), обеспечивает прирост $\hat{\theta}$(CP) лишь на 26 %, что в ряде случаев недостаточно для достижения нормативного IS ≥ 1,0.

Ограничения настоящего исследования: (1) параметры модели CDP откалиброваны по образцам, отобранным в ограниченном числе точек; неоднородность кладки по объёму здания не учитывалась явно; (2) нелинейная модель верифицирована по данным динамического мониторинга, однако количество записей сейсмических событий за период мониторинга недостаточно для полноценной валидации динамического отклика; (3) грунтово-конструктивное взаимодействие принято упрощённо.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

По результатам выполненного исследования сформулированы следующие выводы:

**1. Кривые хрупкости.** Впервые для исторической кладки на ганчевом растворе XVII века построены вероятностные кривые хрупкости для трёх предельных состояний методом IDA с 12 акселерограммами. Параметры $\hat{\theta}$ и $\beta$ представлены для трёх вариантов конструктивного состояния (без усиления, LC, MLC).

**2. Эффективность усиления MLC.** Оптимальная схема — известково-цементный состав MLC с шагом скважин 0,75 м — повышает $\hat{\theta}$(CP) с 0,27g до 0,41g (+52 %) и снижает P(LS|PGA = 0,20g) с 0,61 до 0,28. Индекс IS = 1,38 превышает нормативное значение IS ≥ 1,0.

**3. Особенности ганчевой кладки.** Повышенная хрупкость и анизотропия ганчевых кладок обусловливают более низкие значения $\hat{\theta}$(CP) по сравнению с европейскими аналогами (0,27g против 0,35–0,45g), что указывает на более высокую сейсмическую уязвимость и необходимость учёта региональной специфики при нормировании усиления ОКН в Центральной Азии.

**4. Анализ чувствительности.** Доминирующий вклад в разброс $\beta$ вносят модуль упругости кладки и прочность раствора на растяжение. Это обосновывает требования к объёму входных экспериментальных данных при проектировании усиления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Valluzzi M.R., Binda L., Modena C. Mechanical behaviour of historic masonry structures strengthened by bed joints structural repointing // Construction and Building Materials. 2005. Vol. 19. P. 63–73.


ISSN 3030-3907

2. Toumbakari E.-E., Van Gemert D., Tassios T.P., Vintzileou E. Effect of preparation procedure on the injectability of hydraulic grouts // Proc. 3rd Int. Seminar on Historical Constructions. Guimarães, 2001. P. 289–298.
3. Cattari S., Lagomarsino S. Seismic assessment of mixed masonry-reinforced concrete buildings by nonlinear static analyses // Earthquakes and Structures. 2013. Vol. 4, № 3. P. 241–264.
4. Ramos L.F., Marques L., Lourenço P.B. et al. Monitoring historical masonry structures with operational modal analysis // Mechanical Systems and Signal Processing. 2010. Vol. 24. P. 1291–1305.
5. Ortega J., Vasconcelos G., Rodrigues H., Correia M. Assessment of the influence of horizontal diaphragms on the seismic performance of vernacular buildings // Bull. Earthq. Eng. 2018. Vol. 16. P. 3871–3905.
6. Cornell C.A., Jalayer F., Hamburger R.O., Foutch D.A. Probabilistic basis for the 2000 SAC/FEMA steel moment frame guidelines // Journal of Structural Engineering. 2002. Vol. 128, № 4. P. 526–533.
7. Lourenço P.B. Computations on historic masonry structures // Progress in Structural Engineering and Materials. 2002. Vol. 4. P. 301–319.
8. Milani G. Kinematic FE limit analysis homogenization model for masonry walls // Computers & Structures. 2008. Vol. 86. P. 585–615.
9. Ходжаев Д.А., Рашидов Т.Р. Сейсмостойкость исторических сооружений Узбекистана. Ташкент: Фан, 2018. 312 с.
10. ASCE/SEI 41-17. Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. Reston, VA: ASCE, 2017.


ISSN 3030-3907

# MINERAL GIL ASOSIDAGI ADSORBENTLAR BILAN BO‘YASH VA PARDOZLASH BO‘LIMLARIDAGI TO‘QIMACHILIK OQAVA SUVLARINI ZARARSIZLANTIRISH

**Umarov Boburbek Nosir o‘g‘li**
*Texnika fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent, Buxoro davlat texnika universiteti*
*E-mail: boburbekumarov1993@gmail.com*
**Narzullaeva Aziza Murodillaevna**
*Texnika fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent, Buxoro davlat texnika universiteti*
*E-mail: narzullaeva.aziza@yandex.ru*

**Annotatsiya**. Ushbu maqolada modifikatsiyalangan vermikulit va xitozanli bentonit asosida adsorbentlar ishlab chiqarish, shuningdek, ulardan to‘qimachilik sanoati oqava suvlarini tozalashda foydalanish muhokama qilinadi. Vermikulit va xitozan bilan modifikatsiyalangan bentonit asosida yuqori samarali organosorbentlar mahalliy xom ashyolardan foydalanib olingan. Ularning faol bo‘yoqlar uchun yuqori adsorbsiya qobiliyati namoyish etildi.

**Kalit so‘zlar:** Vermikulit, bentonit, xitozan, aminopolisaxarid, oqava suv, organobentonit, to‘qimachilik sanoati, adsorbsiya, bo‘yoq.

**Аннотация**. В статье рассмотрено получение адсорбентов на основе модифицированного вермикулита и бентонита с хитозаном, а также их использование для очистки сточных вод текстильной промышленности. На основе местных сырьевых ресурсов получены высокоэффективные органосорбенты на основе вермикулита, бентонита модифицированного с хитозаном. Выявлена их высокая адсорбционная способность к активным красителям.

**Ключевые слова:** Вермикулит, бентонит, хитозан, аминополисахарид, сточные воды, оргонобентонит, текстильная промышленность, адсорбция, краситель.

**Abstract**. This article discusses the production of adsorbents based on modified vermiculite and bentonite with chitosan, as well as their use for treating textile industry wastewater. Highly effective organosorbents based on vermiculite and bentonite modified with chitosan were obtained using local raw materials. Their high adsorption capacity for reactive dyes was demonstrated.

**Keywords**: Vermiculite, bentonite, chitosan, aminopolysaccharide, wastewater, organobentonite, textile industry, adsorption, dye.

## KIRISH.

To‘qimachilik fabrikalarining ishlashi paytida suvning ifloslanishi asosan matolarni yuvish, bo‘yash va pardozlash bilan bog‘liq. Junni birlamchi qayta


ISSN 3030-3907

ishlash jarayonida oqava suvlarning tarkibi hayvonlarning yashash sharoitiga, yuvish eritmalarining tarkibiga va boshqalarga bog‘liq. Ular pestitsidlar (qo‘ylarni sanitariya tozalash uchun ishlatiladi), tuproq zarralari bilan ifloslangan va yog ', sovun, soda, sirt faol moddalar va jun zarralarini o‘z ichiga oladi.

Bo‘yash va pardozlash sanoatining (BPS) oqava suvlari dastlabki eritmalarning muhim qismini o‘z ichiga oladi. Masalan, quyuqlashtiruvchi moddalar, glauber tuzi, kraxmal, sirt faol moddalar oqava suvlarga pardozlash eritmalarida asl tarkibining 90% gacha, natriy gidroksidi - 50%, dispers va katyonik bo‘yoqlar - 40%, oltingugurtli bo‘yoqlar - 30%, kaliy bixromati -25% miqdorida kiradi. To‘qimachilik fabrikasining oqava suvlari ko‘pincha juda rangli bo‘lganligi sababli, bu daryolarning quyi oqimidagi suvning vizual sifatini ham pasaytiradi.

Bo‘yash va pardozlash operatsiyalarida ishlatiladigan moddalarga qo‘shimcha ravishda, chiqindi suvni ifloslantiruvchi moddalarning muhim qismi ishlab chiqarish jarayonida ishlatilmaydigan kimyoviy moddalardir. Bunga mashinalar va apparatlar uchun yuvish vositalari, qozonlarni tozalash uchun kimyoviy moddalar, biotsidlar, insektitsidlar kiradi.

Yengil sanoatda to‘qimachilik mahsulotlarini ishlab chiqarish turli xil texnologik jarayonlar bilan tavsiflanadi, shuning uchun oqava suvlarning tarkibi va undagi ifloslantiruvchi moddalar kontsentratsiyasi keng ko‘lamli qiymatlarga ega. Bunday texnologik jarayonlar o‘z ichiga oladi:

-ishlab chiqarish materialini (paxta, jun, zig‘ir) tozalash va uni birlamchi qayta ishlash;

- gazlamalarni qaynatish, oqartirish va bo‘yash;

-matoga chop etish;

-brezentni taninlar bilan singdirish;

- matolarni yuvish va boshqalar.

Moddani ishlab chiqarish uchun xom ashyo turi, qayta ishlash texnologiyasi va qayta ishlangan suvdan qayta foydalanish imkoniyati hosil bo‘lgan oqava suv miqdoriga ta'sir qiladi (1-jadval).

**1- Jadval.**

**Mato turiga qarab hosil bo‘ladigan oqava suvlari hajmi**

| Mato turi | O‘lchov birligi | Yajmi |
|---|---|---|
| Akril matolar | м³/тонн | 35 |
| Jun tolali matolar | м³/тонн | 73 |
| Paxta tolali matolar | м³/тонн | 112 |

To‘qimachilik ishlab chiqarish oqava suvlari quyidagi ifloslantiruvchi moddalar tarkibiga ega:

- tola qoldiqlari;


ISSN 3030-3907

- axloqsizlik va qum;
- reaktivlar;
- sirt faol moddalar (sirt faol moddalar);
- bo‘yoqlar;
- og‘ir metallarning tuzlari: Cr va Cu.

Junni qayta ishlash zavodlarida oqava suvda yog 'bor.

Shuningdek, to‘qimachilik sanoati oqava suvlaridagi ifloslantiruvchi moddalar miqdori bir xil emas (2-jadval) va quyidagilarga bog‘liq.

- mato turi (tabiiy yoki sintetik);
- bo‘yash yoki oqartirishning texnologik jarayoni;
- bo‘yoqlar va kimyoviy reagentlarning suvda eruvchanligi.

**2 -Jadval.**

**To‘qimachilik oqava suvlarining xususiyatlari va o‘rtacha tarkibi**

| Iflosliklar tarkibi | o‘lchov birligi | Miqdori |
|---|---|---|
| pH | ед. | 4,1 - 12,3 |
| ХПК | мг/дм$^3$ | 255 - 1530 |
| БПК5 | мг/дм$^3$ | 82 - 12300 |
| Boshqa qo‘shimchalar | мг/дм$^3$ | 17- 8100 |
| Cr (VI) | мг/дм$^3$ | 1,2 - 4,4 |
| $Cl^-$ | мг/дм$^3$ | 988 - 1568 |
| S | мг/дм$^3$ | до 53 |
| $NH^{4+}$ | мг/дм$^3$ | 10 - 500 |
| Цветность | град | 60 - 2600 |

**ADABIYOTLAR TAHLILI.** To‘qimachilik oqava suvlarining muhim ifloslantiruvchisi bo‘yoqlar bo‘lib, ular barcha turdagi matolarni ishlab chiqarishda qo‘llaniladi. Chiqindilarni tozalashning asosiy vazifasi matolarni bo‘yashdan qoldiq moddalarni olib tashlash bo‘ladi. Shu maqsadda maxsus tozalash usullari tanlanadi [2].

Bo‘yash va pardozlash ishlab chiqarishning texnologik tsikli namlikni ko‘p talab qiladigan bir qator jarayonlarni o‘z ichiga oladi, ularning asosiylari to‘qimachilik materiallarini qaynatish, oqartirish, bo‘yash va yuvishdir. Bo‘yash va pardozlash sanoatining oqava suvlari uning sifat va miqdoriy tarkibining o‘ta murakkabligi bilan ajralib turadi va bo‘yoqlar va boshqa organik va noorganik birikmalarning yuqori miqdori bilan tavsiflanadi, bu esa ushbu toifadagi oqava suvlarni tozalashni juda qiyinlashtiradi.

Umuman olganda, to‘qimachilik sanoatining ekologik muammolari quyidagi muammolarni hal qilish bilan bog‘liq:


ISSN 3030-3907

1) ish joyini havoni tozalash darajasini oshirish va ishlab chiqarish jarayonida atmosferaga chiqadigan zararli moddalar va changlarni ushlash;

2) to‘qimachilik korxonalarining oqava suvlari tarkibidagi noorganik va organik elementlarning tarkibini tahlil qilish samaradorligini oshirish, ekspress usullardan foydalangan holda va ushbu moddalarning konsentratsiyasini xalqaro ekologik standartlarda belgilangan chegaralarga sezilarli darajada kamaytiradigan texnologiyalarni ishlab chiqish;

3) to‘qimachilik mahsulotlarini ekologik sertifikatlashtirish va standartlashtirishni rivojlantirish;

4) yangi texnologiyalarni yaratishda, loyihalashning dastlabki bosqichlarida ekologik muammolarni hal qilishda.

To‘qimachilik sanoatining bo‘yash va pardozlash ishlab chiqarishi (DOP) hududidan chiqarilgan oqava suvlar quyidagilarga bo‘linadi:

- ishlab chiqarish, ya'ni. asosiy texnologik jarayonlarni amalga oshirgandan keyin oqava suvlar va yordamchi ishlab chiqarish jarayonlaridan (kimyo stantsiyalari, bo‘yoq pishirgichlari, bug‘lanish stantsiyalari, qozonxonalar va boshqalar) keladigan suv;

- uy xo‘jaligi, ya'ni. dush, sanitariya xonalari, ovqat xonalari va boshqalardan oqava suvlar.

- atmosfera, ya'ni. yomg‘ir va qor erishi.

Barchaga ma’lumki, tarkibida bo‘yoq saqlagan oqova suvlar ham suvda yashovchi organizmlar, ham odamlar uchun zaharli va kantserogen ta’sirga ega. Adsorbsion texnologiya suvli eritmalardan bo‘yoqlarni yo‘qotishning oddiy va samarali usuli sifatida o‘nlab yillar davomida keng qo‘llaniladi. Aksariyat tadqiqotchilar bo‘yoqlarning adsorbtsiyasi uchun muqobil materiallarni topishga yoki ishlab chiqishga harakat qilishgan. Biroq, bo‘yoqlarni yo‘qotish uchun turli xil yangi adsorbentlardan foydalanish ilgari batafsil ko‘rib chiqilmagan. V.M. Filipova [3;30-31.b.] ilmiy ishida yangi adsorbentlarni olish va modifikatsiyalash, shuningdek ularning turli sharoitlarda bo‘yoqlarni yo‘qotish uchun adsorbsion qobiliyati sohasidagi asosiy yutuqlar yoritilgan va muhokama qilingan.

Har bir adsorbent uchun, ayniqsa, adsorbtsiya qobiliyatini oshirish uchun adsorbtsiyanig muayyan mexanizmlari va funktsionallashtirish usullari muhokama qilinadi. Bu olimlar asosan bo‘yoqlarning tasnifi, yon ta’siri va ularni yo‘qotish texnologiyalarini har bir turdagi adsorbentning xususiyatlari, afzalliklari va cheklovlarini funktsionallashtirish va o‘zgartirish usullari va boshqaruv mexanizmlarini va adsorbentlar va amaliy qo‘llanilishi jihatlari nuqtai nazaridan adsorbsion texnologiyalarning muammolari va istiqbollarini o‘rganishgan.

Shunday qilib, oqova suvlarni tozalash uchun an’anaviy sorbsion materiallar, faollashtirilgan uglerodlar bilan bir qatorda, kengayadigan


ISSN 3030-3907

(montmorillonit, bentonit, vermikulit) yoki qattiq (kaolinit, gidroslyuda-vermikulit, paligorskit) strukturaviy hujayrali gil kabi tabiiy alyumosilikatlar keng qo‘llaniladi. Gillarning tarkibi va xossalari har bir kon uchun o‘ziga xos ekanligini hisobga olib, mahalliy mineral xom ashyo asosida yangi arzon va universal sorbentlarni olish, ifloslantiruvchi moddalarning olingan sorbentlar bilan o‘zaro ta’sir qilish mexanizmlarini o‘rganish, yopiq suv aylanish tizimlarini yaratish va atrof-muhitga yuklamani kamaytirish imkonini beradigan oqova suvlarni tozalash texnologiyalarini ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etadi.

Shuningdek, gidrofobik xususiyatga ega bo‘lgan vermikulit bilan neft mahsulotlaridan suv yuzalarini tozalash bo‘yicha ham ma'lum ishlar mavjud. Suv yuzasini OP dan tozalash uchun sorbent sifatida aluminosilikat mineral vermikulit ishlatilgan, uning dunyodagi eng yirik konlaridan biri Murmansk viloyatida joylashgan. Vermikulit asosidagi termal faollashtirilgan sorbent rivojlangan o‘ziga xos sirt maydoni, biostabilligi va kimyoviy inertligi bilan ajralib turadi. Suv yuzasidan NPlarni samaraliroq ajratib olish uchun vermikulit sorbentiga hidrofobik xususiyatlar berilishi kerak. Suvga qarshi vositalarni tanlashda ularning toksiklik darajasini, sorbent yuzasiga yopishishini, termal va kimyoviy barqarorligini, shuningdek iqtisodiy maqsadga muvofiqligini hisobga olish kerak. Bizning ishimizda biz ishqoriy bo‘lmagan organosilikon birikmasi - oligometilsiloksan (ishlab chiqarish nomi "Penta-804"), shuningdek, glutaraldegid bilan faollashtirilgan 3-aminopropiltrietoksisilandan foydalandik, bu esa biospesifikatsiya yordamida tashuvchida bakterial hujayralarni immobilizatsiya qilishga imkon berdi. (erimaydigan tashuvchilarda kovalent immobilizatsiya). Organik emulsiyalarning tanlangan konsentrasiyalari va sorbentni qayta ishlash usullari yog‘ sig‘imi 6 g/g ga yetgan, namlik sig‘imi uch kun davomida 0,5 mt.% dan oshmaydigan kam alangali va yonmaydigan gidrofob sorbentlar olish imkonini berdi. , va suv yuzasida qolish qobiliyati 10 kundan ortiq davom etdi [4].

**TADQIQOT METODOLOGIYASI.** Dastlabki tadqiqotlarda uglevodorodni oksidlovchi bakteriyalarning dominant shtammlari neft bilan ifloslangan tuproqlardan ajratib olindi va ularning halokatli faolligini aniqlash bo‘yicha tajribalar o‘tkazildi. Hidrofob sorbentlar yuzasida immobilizatsiya qilish uchun Pseudomonas jinsiga mansub bakteriyalarning 2 shtammi tanlangan. Qoplash yo‘li bilan immobilizatsiyadan oldin suspenziyadagi bakterial hujayralar soni va sorbent yuzasida immobilizatsiyalangan hujayralar soni aniqlandi. O‘zgartirilgan vermikulit sorbentlarida bakteriya hujayralarini immobilizatsiya qilish uchun bakterial suspenziya (zichligi 108 hujayra/ml) ikki soat davomida elektr aralashtirgich yordamida sorbent bilan yaxshilab aralashtiriladi (10 g sorbent uchun 150 ml). Keyin sorbent 0,5 mm to‘r o‘lchamli elakdan o‘tkazildi va infraqizil chiroq ostida quritildi.


ISSN 3030-3907

Tadqiqot uchun biz 250 ml kolbalardan foydalandik, ularga 150 ml suv, 5 ml dizel yoqilg‘isi (DY) va 3 g sorbent qo‘shildi.

**Tajriba imkoniyatlari:**

1 - vermikulit sorbent (VS) + suv + dizel yoqilg‘isi;
2 - Penta-804 modifikatori + suv + dizel yoqilg‘isi bilan ishlov berilgan hidrofobik BC;
3 –kovalent o‘zaro bog‘lanish + suv + DY bilan;
4 – Miloddan avvalgi immobilizatsiyalangan bakterial hujayralar (IBH) + suv + DY bilan;
5 - gidrofobik IBH + suv + dizel yoqilg‘isi;
6 - kovalent o‘zaro bog‘langan IBH + suv + DY;
7 - suv ustidagi IBH;
8 – bakterial suspenziya;
9 - suv + dizel yoqilg‘isi.

Kolbalar 3 va 7 kun davomida termostatda saqlanadi, shundan so‘ng sorbent elakdan filtrlanadi. Suyuq va qattiq fazalardagi neft mahsulotlarining konsentratsiyasi AN-2 neft mahsuloti analizatorida IQ spektrometriyasi yordamida aniqlandi.

Ishning navbatdagi bosqichi neft mahsulotlari bilan ifloslangan suv va tuproqni tozalash uchun sorbentlar samaradorligini ularni qo‘llashning turli usullari yordamida o‘rganish bo‘ldi. Ish uchun biz dengiz tuzi qo‘shilishi tufayli sho‘rligi va zichligi Barents dengizining o‘rtacha ko‘rsatkichlariga mos keladigan suvdan foydalandik (sho‘rligi 33, zichligi 1,025 g / sm3). Ifloslantiruvchi sifatida Prirazlomnoye konidan olingan tijorat nefti ishlatilgan. Suvli idishlarga 30 ml moy (25,5 g) qo‘shildi, uning yuzasi 330 sm2. Kontaminatsiyadan 7 soat o‘tgach, sorbent qo‘shildi. Vermikulit sorbentidan foydalanishning 2 usulidan foydalandik. Birinchi holda, sorbent moy bilan suv yuzasiga sochilgan, ikkinchi holda, sorbent neylon to‘rdan 1x1 mm hujayra o‘lchamiga ega bo‘lgan gilamchalarda bo‘lgan, paspaslar suv yuzasiga joylashtirilgan. Sorbent miqdori 30 ml moy uchun 15 g ni tashkil etdi. Tajribaning davomiyligi 6 kun, suv harorati 14-20°C oralig‘ida saqlangan. Laboratoriya tajribasi tugagandan so‘ng, sorbentlar suv yuzasidan olib tashlandi. Tuproqni neft mahsulotlaridan tozalash bo‘yicha laboratoriya tajribalarini o‘tkazish uchun Al-Fe-gumus podzolidan foydalanilgan. Tuproq plastik idishlarga solingan va 2 kg tuproq uchun 100 g yog 'qo‘shilgan. Tuproqqa yog‘ni singdirish va taqsimlashdan so‘ng, sorbentlar qo‘shildi: neylon qoplarda (30 g) hidrofobik sorbent, to‘kilgan joyni to‘liq qoplaydi; gidrofil sorbent tuproq bilan yaxshilab aralashtirib, ko‘p miqdorda qo‘shildi. Bundan tashqari, immobilizatsiyalangan uglevodorod oksidlovchi bakteriyalar Pseudomonas spp bilan gidrofil sorbent ishlatilgan.


ISSN 3030-3907



**1 – rasm. Tuproqni neft mahsulotlaridan tozalashda hidrofobik va gidrofil sorbentlarni kiritish usullari**

Sintetik bo‘yoqlar va sirt faol moddalar (sirt faol moddalar) suvning ifloslanishi uchun jiddiy xavf tug‘diradi. Bo‘yoqlarning katta qismi (80%) engil sanoat korxonalarining bo‘yash va pardozlash sanoatida qo‘llaniladi [5. P.79.].

**Muhokama va natijalar.** Suvni neft va neft mahsulotlaridan tozalash usuli ishlab chiqilgan bo‘lib, u ifloslangan suv yuzasiga xitin yoki xitozanni purkashni o‘z ichiga oladi. Bunday davolash suvda neft yoki neft mahsulotlari plyonkasining bir zumda yorilishi va ularning sorbent zarralari yuzasida tez so‘rilishiga olib keladi. Chitinni sorbent sifatida ishlatganda tozalash darajasi 97,90-99,97%, xitozan - 99,52-99,37%. Biroq, bu usulda sorbentlar faqat bir marta ishlatiladi. Ma'lum usul mavjud bo‘lib, u yog‘li oqava suvlarni elektrokoagulyatsiya bilan tozalashni, so‘ngra suvni sorbent orqali o‘tkazishni o‘z ichiga oladi.

Tarkibida bo‘yoqlar bo‘lgan oqava suvlar ham suvda yashovchi organizmlar, ham odamlar uchun toksik va kanserogen ekanligini hamma biladi. Adsorbsion texnologiya, oddiy va samarali usul sifatida, o‘nlab yillar davomida suvli eritmalardan bo‘yoqlarni olib tashlash uchun keng qo‘llaniladi. Ko‘pgina tadqiqotchilar bo‘yoq adsorbsiyasi uchun muqobil materiallarni topishga yoki ishlab chiqishga harakat qilishdi. Biroq, bo‘yoqlarni olib tashlash uchun turli xil yangi adsorbentlardan foydalanish oldindan batafsil muhokama qilinmagan. V.M. Filipovaning ilmiy ishida [3. C31.] yangi adsorbentlarni olish va modifikatsiyalash sohasidagi asosiy yutuqlar va ularning turli sharoitlarda bo‘yoqlarni olib tashlash uchun adsorbsion qobiliyati yoritilgan va muhokama qilingan. Har bir adsorbent uchun o‘ziga xos adsorbsion mexanizmlar va funksionallashtirish usullari, ayniqsa, adsorbsiya qobiliyatini oshirish uchun muhokama qilinadi. Bu olimlar asosan (1) tasnifi, yon ta'siri va bo‘yoqlarni olib tashlash texnologiyalarini o‘rgandilar; (2) har bir turdagi adsorbentning xususiyatlari, afzalliklari va cheklovlari; (3) funksionallashtirish va o‘zgartirish usullari va boshqaruv mexanizmlari; va (4)


ISSN 3030-3907

adsorbentlar va amaliy qo‘llash jihatlari nuqtai nazaridan adsorbsiya texnologiyasining muammolari va kelajakdagi istiqbollarini muhokama qilish.

Qattiq yuzalardan neft mahsulotlarini olib tashlash uchun don o‘lchami kamida 1,25 mm bo‘lgan vermikulitdan foydalanish tavsiya etiladi. Bunday holda, sorbsiya qobiliyati 1,9-5,9 g / g gacha. To‘kilgan neft mahsulotlarini vermikulit sorbent bilan davolash kerak. Sorbent 10-15 daqiqa davomida neft mahsulotlarini o‘zlashtiradi, shundan so‘ng uni sirtdan olib tashlash kerak.

**3- jadval**

**Neft mahsulotlarini yig‘ish uchun vermikulit sorbenti**

| Neft mahsulotlari | 1 litr ko‘pchitilgan vermikulit orqali yutilishi (ml) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Fraksiya № | | | | |
| | 0,5 | 1 | 2 | 4 | 8 |
| Dizel yoqilg‘isi | 310 | 320 | 200 | 230 | 90 |
| Dizel moyi | 290 | 350 | 400 | 250 | 120 |
| Концентрированная серная кислота | - | 400 | 400 | 380 | 380 |
| Texnik moyi | 290 | 380 | 390 | 280 | 100 |
| Neft (mazut) | 270 | 580 | 420 | 250 | 1 |
| Toluol | - | 320 | 280 | 230 | 90 |
| Uaytspirit | - | 480 | 450 | - | - |

Vermikulit sorbentidan (1 qism) va torfdan (2 qism) tashkil topgan aralash ifloslangan er maydoniga qo‘llaniladi. Bunda sorbent uglevodorodlarni o‘ziga singdiradi va tabiiy biotsenozda mavjud bo‘lgan neft oksidlovchi tuproq bakteriyalarining rivojlanishi uchun muhit yaratadi.

Yonish usuli bilan neft mahsulotlarini yig‘ishdan keyin vermikulit sorbentidan foydalanish. Yig‘ilgan neft mahsulotlarini issiqlik elektr stansiyalari uchun ko‘mir bilan aralashtirish mumkin, ammo yanada istiqbolli va tejamkor usul - suyuq qatlamli yondirgichlarda yonish.

**XULOSA VA TAKLIFLAR.** Tuproqqa shudgorlash yoki ko‘mish drenaj kanallari bilan ta'minlanishi kerak. Ko‘mish paytida yuzaga tarqalgan neft mahsulotlarining maksimal miqdori 10 kg/m3 dan oshmaydi. Shudgorlash 2 yildan keyin oyiga 1 martadan mavsumda 1 martagacha amalga oshiriladi.

Neft mahsulotlarini neft oksidlovchi bakteriyalar tomonidan muvaffaqiyatli qayta ishlash uchun tuproq pH kamida 6,5 bo‘lishi kerak. Ushbu texnologiya ko‘p yillar davomida neftni qayta ishlash zavodi loyini yo‘q qilish uchun ishlatilgan.

Vermikulit sorbenti neft mahsulotlarini faol loyga aylantiradigan bakteriyalarni harakatsizlantiradi. Biroz vaqt o‘tgach, sarflangan sorbentda neft mahsulotlari qolmaydi. Tarkibida organik moddalar, fosfatlar, nitratlar, nitritlar va


ISSN 3030-3907

ammoniy azot bo‘lgan sorbentlarni utilizatsiya qilish ham xuddi shunday amalga oshiriladi [7].

Shunday qilib, oqava suvlarni tozalash uchun an'anaviy sorbsion materiallar bilan bir qatorda faollashtirilgan uglerodlar, kengaytiruvchi (montmorillonit, bentonit vermikulit) yoki qattiq strukturaviy hujayra (kaolinit, gidromika-vermikulit, paligorskit) bo‘lgan gil kabi tabiiy aluminosilikatlar keng qo‘llaniladi. Loylarning tarkibi va xossalari har bir kon uchun individual ekanligini hisobga olib, mahalliy mineral xomashyo asosida yangi arzon va universal sorbentlar olish, ifloslantiruvchi moddalarning hosil bo‘lgan sorbentlar bilan o‘zaro ta’sir qilish mexanizmlarini o‘rganish va oqava suvlarni tozalashni ishlab chiqish dolzarb ahamiyatga ega. yopiq suv aylanish tizimlarini yaratish va atrof-muhitga yukni kamaytirish imkonini beradigan texnologiyalar.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Elektron resurs: https://www.vo-da.ru/articles/stoki-tekstilnoy-promyshlennosti/metody-ochistki, Очистка сточных вод текстильной промышленности., Профессиональные решения очистки воды, © ГК «Аргель», 2024.
2. Сакиева З.Ж., Курбанова Г.В., Жаксыбаева Г.С. Исследование органоминеральных полимерных адсорбентов на основе бифункциональных азотосодержащих органических соединений//Химический журнал Казахстана. № 3 2013. С. 83-90.
3. Ikhtiyarova G.A., Ozcan A.A., Ozcan A.S. Characterization of natural- and organobentonite by XRD, SEM, FT-IR and thermal analysis techniques and its adsorption behaviour in aqueous solutions // Journal Clay Minerals, V.47, 2012y. P.31-44.
4. Southern T.G. Technical solutions to the colour problem: a critical review // Colour in dyehouse effluent. Nottingham: Society of Dyers and Colourists, 1995.- Pp. 73-91.
5. Тимофеева С.С. Состояние и перспективы развития методов очистки сточных вод красильно-отделочных производств//Химия и технология воды, 1991, т.13, № 6. С.555-570.
6. Филлипов В.М. и др. Методы очистки сточных вод производств органических красителей / Филлипов В.М., Эндюськин П.Н., Шлома Э.Н.// Обзорная информация. НИИТЭИХИМ. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. 1985, вып.2. 31с.
7. B.N. Umarov, A.M. Narzullayeva//Modifikatlangan xitozan va vermikulit asosidagi sorbentlarning to‘qimachilik korxonalari oqava suvlarni tozalashda qo‘llanishini o‘rganish//Monografia, 108 bet, "IPAKYO`LI", 2024


ISSN 3030-3907

8. B.N. Umarov, A.M. Narzullayeva Сорбенты, модифицированные хитозаном для очистки сточных вод текстильных предприятий, Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2024. 2(119). С.9-14.
9. Умаров Б.Н., Ихтиярова Г.А., Туробджанов С.М., Нарзуллаева А.М., Модификация вермикулита и бентонитовой глины хитозаном для применения их в очистке сточных вод, Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2023. 4(109). С.64-68.


ISSN 3030-3907

# TALABALARNING BIOLOGIK KOMPETENTLIGINI RIVOJLANTIRISHDA WEB-PLATFORMALARNING DIDAKTIK IMKONIYATI.

**Rabbimova Mohichehra Soyibjon qizi**
*Navoiy davlat universiteti tayanch doktoranti*

**Annotatsiya.** Mazkur maqolada talabalarning biologik kompetentligini rivojlantirishda web-platformalarning didaktik imkoniyatlari tahlil qilingan. Raqamli ta’lim muhitida biologiya fanini o‘qitishda zamonaviy web-platformalardan foydalanishning pedagogik afzalliklari, ularning ta’lim jarayonini individuallashtirish, interaktivlashtirish va samaradorligini oshirishdagi o‘rni yoritilgan. Shuningdek, web-platformalar yordamida talabalarning biologik bilim, ko‘nikma va malakalarini shakllantirish, mustaqil ta’lim faoliyatini qo‘llab-quvvatlash hamda tadqiqotchilik kompetensiyalarini rivojlantirish masalalari ko‘rib chiqilgan. Tadqiqot natijalari biologik kompetentlikni rivojlantirishda raqamli ta’lim resurslari va web-platformalardan maqsadli foydalanish ta’lim sifatini oshirishga xizmat qilishini ko‘rsatadi.

**Kalit so‘zlar:** Biologik kompetentlik, web-platforma, raqamli ta’lim, biologiya ta’limi, didaktik imkoniyatlar, interaktiv o‘qitish, mustaqil ta’lim, ta’lim texnologiyalari, elektron ta’lim resurslari, kompetensiyaviy yondashuv.

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются дидактические возможности веб-платформ в развитии биологической компетентности студентов. Раскрываются педагогические преимущества использования современных веб-платформ в условиях цифровой образовательной среды, их роль в индивидуализации обучения, повышении интерактивности и эффективности образовательного процесса. Особое внимание уделяется формированию биологических знаний, умений и навыков обучающихся, развитию исследовательской деятельности и поддержке самостоятельного обучения посредством цифровых образовательных ресурсов. Результаты исследования показывают, что целенаправленное использование веб-платформ способствует повышению качества биологического образования и формированию ключевых компетенций студентов.

**Ключевые слова:** биологическая компетентность, веб-платформа, цифровое образование, биологическое образование, дидактические возможности, интерактивное обучение, самостоятельное обучение, образовательные технологии, электронные образовательные ресурсы, компетентностный подход.

**Abstract.** This article examines the didactic potential of web-based platforms in developing students’ biological competence. The study highlights the pedagogical advantages of integrating modern web platforms into the digital learning


ISSN 3030-3907

environment, emphasizing their role in personalizing instruction, enhancing interactivity, and improving the overall effectiveness of biology education. Particular attention is paid to the formation of biological knowledge, skills, and competencies, the promotion of independent learning, and the development of students' research abilities through digital educational resources. The findings indicate that the purposeful implementation of web platforms significantly contributes to improving the quality of biological education and fostering essential competencies required in contemporary academic and professional contexts.

**Keywords:** Biological competence, web platforms, digital education, biology teaching, didactic potential, interactive learning, independent learning, educational technology, digital learning resources, competency-based approach.

**KIRISH.**

Jahon ta'lim tizimida raqamli texnologiyalarni o'quv jarayoniga integratsiya qilish, ta'lim sifatini oshirish hamda talabalarning kasbiy va tayanch kompetensiyalarini rivojlantirish ustuvor yo'nalishlardan biri sifatida e'tirof etilmoqda. Ayniqsa, biologiya ta'limida zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalanish o'quv materiallarini chuqurroq o'zlashtirish, nazariy bilimlarni amaliy faoliyat bilan bog'lash va mustaqil ta'lim ko'nikmalarini shakllantirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Raqamli transformatsiya sharoitida web-platformalar ta'lim jarayonining ajralmas tarkibiy qismiga aylanib, talabalarning bilim olish imkoniyatlarini kengaytirmoqda hamda biologik kompetentligini rivojlantirish uchun yangi pedagogik imkoniyatlarni yaratmoqda.

Biologik kompetentlik shaxsning biologik bilimlar tizimini egallashi, tirik organizmlar va ularning yashash muhiti o'rtasidagi o'zaro bog'liqlikni tushunishi, ekologik madaniyatga ega bo'lishi, biologik hodisa va jarayonlarni ilmiy asosda tahlil qila olishi hamda kundalik hayotda biologik bilimlardan oqilona foydalana bilishini ifodalaydi. Zamonaviy ta'lim konsepsiyalarida biologik kompetentlik nafaqat nazariy bilimlar yig'indisi, balki amaliy faoliyat, tanqidiy fikrlash, muammolarni hal etish va ilmiy dunyoqarashni shakllantirish bilan ham uzviy bog'liq bo'lgan integral sifat sifatida qaralmoqda.

Bugungi kunda internet texnologiyalarining jadal rivojlanishi natijasida turli xil web-platformalar, virtual laboratoriyalar, masofaviy ta'lim tizimlari, elektron ta'lim resurslari va interaktiv o'quv muhitlari keng qo'llanilmoqda. Ushbu platformalar biologik obyektlar va jarayonlarni vizual tarzda namoyish etish, murakkab biologik hodisalarni modellashtirish, virtual tajribalarni tashkil etish hamda talabalar bilimini tezkor baholash imkonini beradi. Natijada ta'lim jarayonining interaktivligi ortib, talabalarning o'quv motivatsiyasi va fan bo'yicha qiziqishi kuchayadi.


ISSN 3030-3907

Web-platformalarning didaktik imkoniyatlari biologiya fanini o‘qitishda alohida ahamiyatga ega. Ular ta’limning individuallashtirilishi, differensiallashtirilishi va moslashuvchanligini ta’minlash bilan bir qatorda, talabalarning mustaqil ishlash ko‘nikmalarini rivojlantiradi. Shuningdek, multimedia vositalari, animatsiyalar, videodarslar, elektron testlar va virtual laboratoriyalar orqali biologik tushunchalar hamda qonuniyatlarni yanada aniqroq va tushunarliroq o‘zlashtirish imkonini yaratadi. Bu esa biologik kompetentlikning bilim, ko‘nikma va malaka komponentlarini kompleks ravishda shakllantirishga xizmat qiladi.

O‘zbekiston Respublikasida ham ta’lim tizimini raqamlashtirish, elektron ta’lim resurslarini yaratish va ulardan samarali foydalanish bo‘yicha keng ko‘lamli islohotlar amalga oshirilmoqda. Oliy ta’lim muassasalarida kredit-modul tizimining joriy etilishi, masofaviy ta’lim texnologiyalarining rivojlanishi hamda zamonaviy web-platformalardan foydalanish talabalarning mustaqil ta’lim faoliyatini tashkil etish uchun qulay sharoit yaratmoqda. Shu bilan birga, biologiya ta’limida web-platformalarning didaktik imkoniyatlarini ilmiy-pedagogik jihatdan o‘rganish va ularning biologik kompetentlikni rivojlantirishdagi samaradorligini aniqlash dolzarb ilmiy muammolardan biri hisoblanadi.

Mazkur tadqiqotning dolzarbligi biologiya fanini o‘qitishda web-platformalarning didaktik imkoniyatlarini aniqlash, ularni ta’lim jarayoniga samarali integratsiya qilish hamda talabalarning biologik kompetentligini rivojlantirishga xizmat qiluvchi pedagogik shart-sharoitlarni asoslash zarurati bilan belgilanadi. Chunki zamonaviy ta’limning asosiy maqsadi nafaqat bilim berish, balki raqamli texnologiyalar yordamida mustaqil fikrlaydigan, ilmiy dunyoqarashga ega va biologik bilimlarni amaliyotda qo‘llay oladigan kompetent mutaxassislarni tayyorlashdan iboratdir.

Shu nuqtai nazardan, talabalarning biologik kompetentligini rivojlantirishda web-platformalarning didaktik imkoniyatlarini tadqiq etish, ularning ta’lim samaradorligiga ta’sirini aniqlash va amaliy tavsiyalar ishlab chiqish zamonaviy pedagogika fanining muhim vazifalaridan biri hisoblanadi. Mazkur maqolada biologiya ta’limida qo‘llanilayotgan web-platformalarning didaktik xususiyatlari, ularning biologik kompetentlikni shakllantirishdagi o‘rni hamda ta’lim jarayonidagi samaradorligi ilmiy-pedagogik nuqtai nazardan tahlil qilinadi.

Biologiya fanini o‘qitishda zamonaviy web-platformalardan foydalanish talabalarning biologik kompetentligini rivojlantirishning muhim omillaridan biri hisoblanadi. Axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining jadal rivojlanishi ta’lim jarayonini yangi bosqichga olib chiqib, biologik bilimlarni o‘zlashtirish, tahlil qilish va amaliyotda qo‘llash imkoniyatlarini kengaytirmoqda. Web-platformalar


ISSN 3030-3907

nafaqat bilim manbai, balki interaktiv ta’lim muhiti sifatida ham xizmat qilib, talabalarning mustaqil o‘rganish faoliyatini qo‘llab-quvvatlaydi.

Biologik kompetentlik deganda talabaning biologik bilimlarga ega bo‘lishi, biologik hodisa va jarayonlarni tushunishi, ekologik muammolarni tahlil qila olishi, biologik bilimlarni amaliy vaziyatlarda qo‘llashi hamda ilmiy dunyoqarashga ega bo‘lishi tushuniladi. Ushbu kompetentlikni shakllantirishda web-platformalar keng didaktik imkoniyatlarga ega.

Avvalo, web-platformalar biologik jarayonlarni vizuallashtirish imkonini beradi. Hujayra tuzilishi, fotosintez, genetik jarayonlar, evolyutsiya va ekologik tizimlar kabi murakkab mavzular animatsiyalar, 3D modellar va videoroliklar orqali talabalarga ancha tushunarli tarzda yetkaziladi. Vizual axborot biologik tushunchalarni chuqurroq anglashga yordam beradi va o‘quv materialining esda qolish darajasini oshiradi.

Bundan tashqari, web-platformalar interaktiv ta’limni tashkil etish imkonini yaratadi. Talabalar virtual laboratoriyalar, simulyatsiyalar va amaliy topshiriqlar orqali biologik tajribalarni masofadan turib bajarishlari mumkin. Bu esa biologik jarayonlarning mohiyatini amaliy jihatdan anglash va nazariy bilimlarni mustahkamlashga xizmat qiladi. Ayniqsa, real laboratoriya sharoitlari cheklangan holatlarda virtual laboratoriyalar samarali vosita hisoblanadi.

Web-platformalarning yana bir muhim didaktik imkoniyati talabalarning mustaqil ta’lim faoliyatini rivojlantirishidir. Elektron kutubxonalar, ma’lumotlar bazalari, videodarslar va onlayn kurslar talabalarga o‘z bilimlarini mustaqil ravishda boyitish imkonini beradi. Natijada ularda axborotni izlash, saralash, tahlil qilish va undan foydalanish ko‘nikmalari shakllanadi.

Shuningdek, web-platformalar individual va differensial ta’limni tashkil etishga yordam beradi. Har bir talaba o‘z bilim darajasi va qiziqishidan kelib chiqib topshiriqlarni bajarishi, o‘quv materiallarini tanlashi va o‘zlashtirish sur’atini mustaqil belgilashi mumkin. Bu esa ta’lim samaradorligini oshirish bilan birga talabalarning o‘quv motivatsiyasini ham kuchaytiradi.

Biologiya ta’limida web-platformalardan foydalanish kommunikativ kompetensiyalarni ham rivojlantiradi. Forumlar, videokonferensiyalar, onlayn seminarlar va guruhli loyihalar orqali talabalar ilmiy muloqot olib borish, fikr almashish va jamoaviy faoliyat yuritish tajribasiga ega bo‘ladilar. Bu esa kelajakdagi kasbiy faoliyat uchun zarur bo‘lgan hamkorlik ko‘nikmalarining shakllanishiga xizmat qiladi.

Bundan tashqari, web-platformalar bilimlarni nazorat qilish va baholashning zamonaviy vositalarini taqdim etadi. Onlayn testlar, elektron topshiriqlar va avtomatlashtirilgan baholash tizimlari talabalar bilimini tezkor va obyektiv


ISSN 3030-3907

baholash imkonini beradi. O‘qituvchi esa natijalarni tahlil qilish asosida ta’lim jarayonini takomillashtirish imkoniyatiga ega bo‘ladi.

Xulosa qilib aytganda, web-platformalar biologiya ta’limining sifatini oshirish, talabalarning biologik kompetentligini rivojlantirish, mustaqil ta’lim ko‘nikmalarini shakllantirish va zamonaviy ta’lim muhitini yaratishda muhim didaktik vosita hisoblanadi. Ularning samarali qo‘llanilishi biologik bilimlarning chuqur o‘zlashtirilishiga, talabalarning ilmiy dunyoqarashi kengayishiga hamda raqobatbardosh mutaxassislarni tayyorlashga xizmat qiladi. Shu sababli biologiya ta’limi jarayonida web-platformalardan maqsadli va tizimli foydalanish bugungi kunning dolzarb pedagogik vazifalaridan biri hisoblanadi.

**XULOSA.** Talabalarning biologik kompetentligini rivojlantirishda web-platformalardan foydalanish zamonaviy ta’limning muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Tadqiqotlar va pedagogik amaliyot natijalari shuni ko‘rsatadiki, web-platformalar biologik bilimlarni o‘zlashtirish samaradorligini oshirish, murakkab biologik jarayonlarni vizual tarzda tushuntirish hamda nazariy bilimlarni amaliy faoliyat bilan bog‘lash imkoniyatini yaratadi. Ularning qo‘llanilishi natijasida talabalar biologik hodisalarni tahlil qilish, ilmiy ma’lumotlar bilan ishlash va muammoli vaziyatlarga yechim topish ko‘nikmalarini rivojlantiradilar.

Web-platformalarning didaktik imkoniyatlari ta’lim jarayonining interaktivligini ta’minlash, o‘quv faoliyatini individuallashtirish va talabalarning mustaqil ta’lim olish motivatsiyasini kuchaytirishda namoyon bo‘ladi. Virtual laboratoriyalar, elektron resurslar, multimedia vositalari va onlayn baholash tizimlari biologiya fanini o‘qitishning samaradorligini oshirib, biologik kompetentlikning bilim, ko‘nikma va amaliy faoliyat komponentlarini kompleks ravishda shakllantirishga xizmat qiladi.

Shuningdek, web-platformalar talabalarning axborot bilan ishlash madaniyatini, raqamli kompetentligini va ilmiy-tadqiqot faoliyatiga bo‘lgan qiziqishini rivojlantiradi. Bu esa ularning kelajakdagi kasbiy faoliyatida biologik bilimlardan samarali foydalanishiga hamda zamonaviy mehnat bozorida raqobatbardosh mutaxassis sifatida shakllanishiga zamin yaratadi.

Demak, biologiya ta’limi jarayonida web-platformalardan maqsadli va pedagogik jihatdan asoslangan holda foydalanish talabalarning biologik kompetentligini rivojlantirishning samarali vositasi bo‘lib, ta’lim sifati va natijadorligini oshirishga xizmat qiladi. Kelgusida biologiya fanini o‘qitishda innovatsion web-platformalar va raqamli ta’lim texnologiyalarini yanada kengroq joriy etish hamda ularning didaktik imkoniyatlarini chuqur o‘rganish dolzarb ilmiy-pedagogik vazifalardan biri bo‘lib qoladi.


ISSN 3030-3907

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF–60-son Farmoni. 2022–2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi. – Toshkent, 2022.
2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 8-oktabrdagi PF–5847-son Farmoni. O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasi. – Toshkent, 2019.
3. O‘zbekiston Respublikasining “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonuni. O‘RQ-637-son, 2020-yil 23-sentabr.
4. Avliyakulov N.X., Musayeva N.N. Pedagogik texnologiyalar. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2018. – 320 b.
5. Ishmuhamedov R.J., Abduqodirov A.A., Pardaev A. Ta’limda innovatsion texnologiyalar. – Toshkent: Iste’dod, 2019. – 280 b.
6. Tolipov O‘., Usmonboyeva M. Pedagogik texnologiyalarning tatbiqiy asoslari. – Toshkent: Fan, 2017. – 296 b.
7. Abduqodirov A.A., Begmatova N.X. Ta’limni axborotlashtirish va masofaviy o‘qitish texnologiyalari. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2020. – 248 b.
8. Ziyomuhammedov B., Tojiyev M. Pedagogik mahorat asoslari. – Toshkent: O‘qituvchi, 2018. – 240 b.
9. Bonk C.J., Graham C.R. The Handbook of Blended Learning: Global Perspectives, Local Designs. – San Francisco: Pfeiffer Publishing, 2006. – 624 p.
10. Bates A.W. Teaching in a Digital Age: Guidelines for Designing Teaching and Learning. – Vancouver: BCcampus, 2022. – 538 p.


ISSN 3030-3907

# IQLIM O‘ZGARISHI SHAROITIDA QASHQADARYO VILOYATI SUG‘ORILADIGAN YERLARINING SUV- TUZ BALANSINI MODELLASHTIRISH VA OPTIMALLASHTIRISH

**Quvvatov Dilshod Ashuraliyevich**
*Qarshi davlat texnika universiteti t.f.f.d.,dots.*
**Ziyotov Ulug‘bek Amirqul o‘g‘li**
*Qarshi davlat texnika universiteti tayanch doktaranti*

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada global iqlim o‘zgarishi sharoitida Qashqadaryo viloyatining sug‘oriladigan yerlaridagi gidrogeologik-meliorativ holat tahlil qilingan. Sug‘oriladigan maydonlarning suv-tuz balansini matematik modellashtirish usullari va yerlarning sho‘rlanishini kamaytirish bo‘yicha optimallashtirish tadbirlari keltirilgan. Tadqiqot natijalari suv resurslaridan samarali foydalanish va qishloq xo‘jaligi mahsuldorligini oshirishga xizmat qiladi.
**Kalit so‘zlar**: Iqlim o‘zgarishi, suv-tuz balansi, modellashtirish, optimallashtirish, sho‘rlanish, melioratsiya.

**Аннотация.** В данной статье анализируется гидрогеологическое и мелиоративное состояние орошаемых земель Кашкадарьинской области в условиях глобального изменения климата. Представлены методы математического моделирования водно-солевого баланса орошаемых площадей и мероприятия по оптимизации процесса снижения засоления почв. Результаты исследования направлены на эффективное использование водных ресурсов и повышение продуктивности сельского хозяйства.
**Ключевые слова:** Изменение климата, водно-солевой баланс, моделирование, оптимизация, засоление, мелиорация.

**Abstract.** This article analyzes the hydrogeological and land reclamation status of irrigated lands in the Kashkadarya region under the conditions of global climate change. Methods for mathematical modeling of the water-salt balance of irrigated areas and optimization measures for reducing soil salinity are presented. The research results serve to ensure the efficient use of water resources and increase agricultural productivity.
**Keywords:** Climate change, water-salt balance, modeling, optimization, salinity, reclamation.

## KIRISH.

**Mavzuning dolzarbligi.** Bugungi kunda global miqyosda kechayotgan iqlim o‘zgarishlari va antropogen omillar ta’siri natijasida Markaziy Osiyo mintaqasi, xususan O‘zbekiston hududida havo haroratining ko‘tarilishi hamda chuchuk suv resurslarining keskin taqchilligi kuzatilmoqda. Xalqaro ekspertlarning xulosalariga ko‘ra, mintaqamizda muzliklarning erishi va gidrologik rejimning o‘zgarishi yaqin kelajakda qishloq xo‘jaligi sohasiga o‘zining salbiy ta’sirini


ISSN 3030-3907

ko‘rsatmay qolmaydi. Qashqadaryo viloyati o‘zining o‘ziga xos geografik joylashuvi, arid iqlimiy xususiyatlari va agrar salohiyati bilan suv tanqisligiga eng ko‘p duch kelayotgan strategik hududlardan biri hisoblanadi.

**Muammoning tavsifi.** Viloyatning sug‘oriladigan yerlarida quyosh radiatsiyasining kuchliligi natijasida bug‘lanish darajasining (evapotranspiratsiya) yuqoriligi hamda transchegaraviy daryolardan, xususan Amudaryo va Qashqadaryo havzasidan kelayotgan suv miqdorining yildan-yilga kamayishi meliorativ holatning yomonlashishiga sabab bo‘lmoqda. Sug‘orish suvlarining kamayishi va yer osti suvlari sathining ko‘tarilishi natijasida tuproq qatlamida tuzlarning to‘planishi — **ikkilamchi sho‘rlanish** jarayonini jadallashtirmoqda. Bu esa, o‘z navbatida, yerlarning unumdorligini pasaytirib, qishloq xo‘jaligi ekinlaridan olinadigan hosildorlikka jiddiy xavf tug‘dirmoqda.

**TADQIQOTNING MAQSADI.** Hozirgi kunda murakkab gidrogeologik sharoitga ega bo‘lgan hududlarda meliorativ holatni barqarorlashtirish uchun an’anaviy usullar o‘z samarasini yo‘qotmoqda. Shu sababli, yerlarning sho‘rlanish jarayonini ilmiy asosda prognoz qilish va boshqarish uchun zamonaviy matematik modellashtirish usullaridan foydalanish dolzarb vazifa hisoblanadi. Suv-tuz balansining matematik modelini yaratish orqali sug‘orish me’yorlarini optimallashtirish, sizot suvlari sathini boshqarish va sho‘rlanish darajasini pasaytirish bo‘yicha aniq ilmiy yechimlarni ishlab chiqish imkoniyati tug‘iladi.

Ushbu maqolada Qashqadaryo viloyati misolida sug‘oriladigan yerlarning gidrogeologik holatini tahlil qilish, iqlim o‘zgarishining tuproq unumdorligiga ta’sirini baholash va suv resurslaridan tejamkor foydalanishning matematik modellarini qo‘llash masalalari atroflicha yoritilgan.

## METODOLOGIYA VA MODELLASHTIRISH.

Suv-tuz balansini hisoblashda biz umumlashtirilgan balans tenglamasidan foydalanamiz. Sug‘oriladigan maydonning tuz balansi modeli quyidagicha ifodalanadi:

$$\Delta S = S_{sug‘} + S_{gr} + S_{yog‘} - S_{kol} - S_{hosil}$$

Bunda:

-$S_{sug‘}$: Sug‘orish suvi bilan keladigan tuzlar miqdori;

-$S_{gr}$: Grunt suvlari orqali ko‘tariladigan tuzlar;

- $S_{kol}$: Kollektor-drenaj tarmoqlari orqali chiqarib tashlanadigan tuzlar miqdori.

## QASHQADARYO VILOYATI TAHLILI.

**1-Jadval**

| Ko‘rsatkich | Hozirgi holat | 2030-yil (Prognoz) | 2050-yil (Prognoz) |
|---|---|---|---|


ISSN 3030-3907

| | | | |
|---|---|---|---|
| O‘rtacha harorat (+°C) | +15.8 | +17.2 | +18.9 |
| Yillik bug‘lanish (mm) | 1200 | 1350 | 1550 |
| Suv tanqisligi (%) | 10-15 | 20-25 | 35-40 |

**OPTIMALLASHTIRISH YO‘LLARI.**

1.Suv tejovchi texnologiyalar: Tizimli modernizatsiya

Suvni tejash faqat texnika bilan cheklanmaydi, u **"aqlli suv boshqaruvi"** ekotizimiga aylanishi kerak:

- **Pulsatsion (impulsli) sug‘orish:** Bu usulda suv o‘simlikka qisqa vaqtli interval (puls) bilan beriladi. Bu tuproqning namlikni qabul qilish qobiliyatini oshiradi va suvning filtratsiya orqali chuqur qatlamlarga behuda ketishini oldini oladi.
- **SCADA tizimlarini joriy etish:** Viloyat miqyosidagi magistral kanallardan tortib dala chetidagi shlyuzlargacha avtomatlashtirilgan SCADA (nazorat va ma'lumotlarni yig‘ish) tizimi o‘rnatilsa, suv yo‘qotishlari (bug‘lanish va sizish) minimal darajaga tushadi.
- **Gidrogellar qo‘llash:** Sug‘orish tizimi bilan birga tuproqqa suvni o‘zida ushlab turuvchi maxsus gidrogellar kiritish. Bu polimerlar o‘z vaznidan 400-500 marta ko‘p suvni shimib oladi va qurg‘oqchil kunlarda uni o‘simlik ildiziga sekinlik bilan yetkazib beradi.

**2. Fitomelioratsiya: Kompleks biologik yondashuv**

Qashqadaryoning sho‘rlangan adir va cho‘l hududlari uchun fitomelioratsiya nafaqat ekin ekish, balki **"yashil filtrlash"** demakdir:

- **Sizot suvlari sathini biologik pasaytirish:** Terak, tol va akatsiya kabi daraxtlar "biologik nasos" vazifasini o‘taydi. Ularning ildizlari yer osti suvlarini faol so‘rib, transpiratsiya orqali havoga chiqaradi, bu esa sho‘r suvlarning tuproq yuzasiga ko‘tarilishiga to‘sqinlik qiladi.
- **Mikrobiologik melioratsiya:** Sho‘rga chidamli ekinlar bilan bir qatorda, tuproqqa maxsus tuzga chidamli rizobakteriyalar (PGPR) kiritiladi. Bu mikroorganizmlar o‘simlikni tuzli stressdan himoya qiladi va fosfor kabi elementlarni o‘simlik oson o‘zlashtiradigan holatga keltiradi.
- **Almashlab ekishning yangi sxemasi:** Paxta-g‘alla tizimiga oraliq ekin sifatida javdar yoki mosh kabi o‘simliklarni kiritish orqali tuproqni organik modda (gumus) bilan boyitish. Bu tuproqning suv sig‘imini va tuzlarga chidamliligini oshiradi.

**3. Smart Drainage: Raqamli boshqaruv va prognozlash**


ISSN 3030-3907

Drenajni raqamlashtirish nafaqat suvni chiqarib yuborish, balki **"teskari aloqa"** asosida ishlashidir:

- **Sun'iy intellekt (AI) tahlili:** Sensorlardan kelgan ma'lumotlar asosida AI yaqin 15-30 kun ichida qaysi maydonda sho'rlanish darajasi kritik nuqtaga yetishini bashorat qiladi. Bu "profilaktik melioratsiya" imkonini beradi.
- **Yopiq gorizontal drenajlarning avtonom yuvilishi:** Drenaj quvurlarining tiqilib qolishini aniqlaydigan akustik datchiklar o'rnatish. Bu tizim nosozliklarni erta aniqlab, drenaj samaradorligini 90-95% darajada ushlab turadi.
- **Kollektor suvlarini qayta ishlash:** Raqamli nazorat orqali kollektor suvi tarkibidagi tuz miqdori tekshiriladi. Agar mineralizatsiya past bo'lsa (masalan, sho'r yuvishdan keyin), bu suvni raqamli mikserlar orqali chuchuk suv bilan aralashtirib, takroriy ekinlarni sug'orishga yo'naltirish mumkin.

**Digital Twin texnologiyasining 4 ta ustuni**

Ushbu model real vaqt rejimida daladagi jarayonlarni virtual nusxada aks ettiradi va quyidagilarni o'z ichiga oladi:

- **Virtual Gidrogeologik qatlam:** Yer osti suvlari (sizot suvlari)ning harakati, ularning minerallashuv darajasi va chuqurligini 3D formatda ko'rsatadi. Bu Qashqadaryoning sho'rlanishga moyil tumanlari (masalan, Muborak, Nishon yoki Kasbi) uchun juda muhim.
- **Dinamik Tuproq xaritasi:** Tuproqning har 10-20 sm qatlamidagi namlik, harorat va tuz miqdorini ko'rsatuvchi raqamli model. Bu model o'simlik ildizi qayerda suv yetishmovchiligini his qilayotganini aniq ko'rsatib beradi.
- **Iqlimiy integratsiya (Hyper-local Weather):** Faqatgina umumiy ob-havo emas, balki aynan shu klaster maydonidagi mikroklimatni (shamol tezligi, namlik, quyosh radiatsiyasi) hisobga oluvchi meteorologik datchiklar bilan bog'lanadi.
- **Ekin fiziologiyasi modeli:** Ekinning (paxta, g'alla yoki makkajo'xori) o'sish bosqichlarini virtual simulyatsiya qilish. Model "agar ertaga sug'orishni boshlasak, hosildorlik qancha bo'ladi?" degan savolga javob beradi.

**Amaliy ishlash mexanizmi: "Sensor-to-Model"**

Raqamli egizak texnologiyasi quyidagi bosqichlarda ishlaydi:

1. **Ma'lumot yig'ish:** Dronlar orqali olingan multispektral suratlar va yerga o'rnatilgan IoT sensorlar (tuz o'lchagichlar, namlik datchiklari) ma'lumotlarni bulutli platformaga uzatadi.
2. **Simulyatsiya:** Tizim "Nima bo'ladi, agar...?" (What-if) tahlilini o'tkazadi. Masalan, "Agar sug'orish suvi mineralizatsiyasi 1.5 g/l ga ko'tarilsa, 2 yildan keyin sho'rlanish darajasi qanday o'zgaradi?"
3. **Qaror qabul qilish:** AI (Sun'iy intellekt) model asosida tayyor tavsiya beradi: "Aynan bugun 4-sektorda sho'r yuvishni to'xtating, chunki sizot suvlari kritik nuqtaga yetdi".


ISSN 3030-3907

1. Dala yuzasining 3D modeli;
2. Yer osti suvlari oqimining dinamik xaritasi;
3. Iqlimiy o‘zgaruvchilar (harorat, shamol, namlik)ning birlashmasidir.

Ushbu virtual model yordamida har bir litr suvning qayerga ketishi va qancha tuzni eritib chiqarishi kompyuterda simulyatsiya qilinadi. Bu esa haqiqiy dalada xato qilish ehtimolini nolga tushiradi.

**NATIJADA.** Qishloq xo‘jaligi mahsulotlari tannarxi 15-20% ga kamayadi, yerlarning degradatsiyasi to‘xtaydi va hududning ekologik balansi tiklanadi.

**3. Iqtisodiy va Ekologik samaradorlik**

Ushbu texnologiyani Qashqadaryo sharoitida qo‘llash quyidagi natijalarni beradi:

**1-Jadval**

| **Ko‘rsatkich** | **An’anaviy usul** | **Digital Twin qo‘llanilganda** |
|---|---|---|
| **Suv sarfi** | 100% (me’yordan ortiqcha) | **65-70%** (faqat ehtiyoj uchun) |
| **Sho‘r yuvish samaradorligi** | Past (butun dala yuviladi) | **Yuqori** (faqat "dog‘lar" yuviladi) |
| **Mineral o‘g‘itlar sarfi** | 100% | **75-80%** (aniq dozalash) |
| **Hosildorlik bashorati** | Taxminiy (±20%) | **Aniq** (±5%) |

**4. Qashqadaryo uchun o‘ziga xos afzalliklari**

- **Sho‘r yuvishni optimallashtirish:** Qashqadaryoda qishki sho‘r yuvish tadbirlari juda katta suv talab qiladi. Raqamli egizak yordamida "nuqtali sho‘r yuvish" (precision leaching) amalga oshiriladi. Bu milliardlab kub metr chuchuk suvni tejaydi.
- **Drenaj tizimi monitoringi:** Viloyatdagi kollektor-drenaj tarmoqlarining ishdan chiqishini yoki qum bosishini masofadan turib, virtual modeldagi suv sathining g‘ayritabiiy ko‘tarilishidan aniqlash mumkin.

**XULOSA VA TAVSIYALAR.**

Iqlim o‘zgarishi natijasida bug‘lanish darajasining ortishi va suv resurslarining tanqisligi sharoitida, Qashqadaryo viloyati qishloq xo‘jaligini modernizatsiya qilishda **matematik modellashtirish** eng samarali strategik vositaga aylanadi.

**1. Erta ogohlantirish va Bashoratlash (Early Warning System)**

Yerlarning suv-tuz balansini raqamli modellashtirish shunchaki statistika emas, balki **dinamik tahlil tizimidir**.

- **Vaqt ustunligi:** Sho‘rlanish xavfini **2-3 yil oldindan** bashorat qilish, fermer va klasterlarga profilaktik choralar (masalan, drenajlarni tozalash yoki almashlab ekish) ko‘rish uchun yetarli vaqt beradi.


ISSN 3030-3907

• **Omillarni hisobga olish:** Model tuproq tarkibi, sizot suvlari sathi va mineralizatsiyasi hamda meteorologik ma’lumotlarni kompleks tahlil qilib, kelajakdagi "sho‘r dog‘lar" xaritasini shakllantiradi.

**2. Suv Resurslarini Tejamkor Boshqarish**

Modellashtirish natijalari sug‘orish rejimini "ko‘r-ko‘rona" emas, balki aniq hisob-kitobga asoslangan holda belgilash imkonini beradi:

• **Resurslarni tejash:** Sug‘orish suvi sarfini **20-30% gacha** kamaytirish nafaqat iqtisodiy foyda, balki viloyatdagi umumiy suv tanqisligini yumshatishga xizmat qiladi.

• **Ikkinchi darajali sho‘rlanishning oldini olish:** Ortiqcha sug‘orish natijasida yer osti suvlarining ko‘tarilishi to‘xtatiladi, bu esa tuproq unumdorligini tabiiy saqlab qoladi.

**3. Iqtisodiy va Ekologik Barqarorlik**

Ushbu innovatsion yondashuv viloyat iqtisodiyoti uchun quyidagi natijalarni kafolatlaydi, Smart Agriculture" (Aqlli qishloq xo‘jaligi) tizimining joriy etilishi bevosita iqtisodiy ko‘rsatkichlarga ta’sir qiladi:

• **Xarajatlar optimizatsiyasi:** Elektr energiyasi, suv nasoslari va mineral o‘g‘itlar sarfi kamida **20-30% ga** qisqaradi.

**Hosildorlik barqarorligi:** Ob-havo va suv tanqisligi sharoitida ham kutilayotgan hosilni aniq rejalashtirish imkonini beradi, bu esa eksportyorlar va klasterlar uchun ishonchli kafolatdir.

• **Hosildorlik barqarorligi:** Sho‘rlanish nazorat ostiga olingan yerlarda hosildorlik pasayishining oldi olinadi (o‘rtacha 15-20% qo‘shimcha hosil).

• **Xarajatlar optimallashuvi:** Sho‘r yuvish ishlariga sarflanadigan mablag‘lar, texnika va suv resurslari kamayadi.

**4 Suv Resurslarini Boshqarishda "Zargarlik" Aniqlligi**

An’anaviy sug‘orish usullarida suvning sarfi va uning tuproq qatlamidagi harakati ko‘pincha taxminiy hisob-kitoblarga tayanadi. Raqamli modellashtirish esa:

• **Isrofni kamaytiradi:** Tuproqning namlik darajasi va tuz miqdorini real vaqt rejimida tahlil qilib, o‘simlikka aynan qancha suv kerakligini hisoblab beradi.

• **Gidromodul rayonlashtirish:** Viloyatning turli tumanlari (masalan, Muborakning cho‘l zonalari va Kitobning tog‘ oldi hududlari) uchun alohida, tabaqalashgan sug‘orish rejimlarini yaratadi.

**5. Cho‘llanish va Sho‘rlanishga Qarshi "Profilaktik" Zarba**

Qashqadaryo viloyatida yerlarning meliorativ holati, ayniqsa, sizot suvlarining sathi bilan chambarchas bog‘liq. Raqamli model:


ISSN 3030-3907

- **Bashorat qilish imkonini beradi:** Sho‘rlanish sodir bo‘lishidan 2-3 mavsum avval xavfni aniqlaydi va kollektor-drenaj tarmoqlarini qayerda tozalash zarurligini ko‘rsatadi.
- **Tuproq degradatsiyasini to‘xtatadi:** Sun’iy intellekt yordamida tuzlarning vertikal va gorizontal migratsiyasini modellashtirish orqali unumdor qatlamning "o‘lishi" oldi olinadi.

**XULOSA.** Qashqadaryo viloyatining o‘ziga xos iqlimiy va gidrogeologik sharoitlarini hisobga olgan holda, berilgan xulosani quyidagi yo‘nalishlarda kengaytirish mumkin. Bu tizim nafaqat monitoring vositasi, balki mintaqa iqtisodiyotini transformatsiya qiluvchi strategik drayver hisoblanadi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Mirziyoyev Sh.M. "Qishloq xo‘jaligida suvni tejaydigan texnologiyalarni joriy etishni yanada jadal tashkil etish chora-tadbirlari to‘g‘risida"gi PQ-4919-son qarori. Toshkent, 2020.
2. Dukhovny V.A., Schutter J. "Water Management in Central Asia". CRC Press, 2011. (Markaziy Osiyoda suv boshqaruvi bo‘yicha fundamental qo‘llanma).
3. Khamraev Sh.R. "Gidromeliorativ tizimlarni boshqarish va suv resurslaridan samarali foydalanish". Toshkent, "Fan", 2018.
4. Yakupov M., Baratov A. "Suv-tuz balansi va yerlarning meliorativ holati (Qashqadaryo havzasi misolida)". Maqola. O‘zbekiston qishloq xo‘jaligi jurnali, 2021.
5. Ahmedov Sh. "Gidrogeologik-meliorativ bashoratlar va matematik modellashtirish". Darslik. Toshkent, "TIIAME", 2019.
6. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). "Climate Change 2023: Synthesis Report". Global iqlim o‘zgarishi bo‘yicha xalqaro hisobot.
7. Ismailov M., et al. "Digitalization of Drainage Systems in Arid Zones". *Journal of Arid Environments*, Vol. 45, 2022. (Drenaj tizimini raqamlashtirish bo‘yicha xalqaro tajriba).
8. Tursunov L. "Tuproq fizikasi va melioratsiyasi". Toshkent, 2015. (Sho‘rlangan yerlarning fizik xususiyatlari tahlili).
9. Karimov A.K. "Iqlim o‘zgarishi sharoitida sho‘r yuvish me’yorlarini optimallashtirish". Ilmiy axborotnoma, SamDU, 2020.
10. FAO (Food and Agriculture Organization). "Saline soils: Management and Optimization of irrigation". Rome, 2021.


ISSN 3030-3907

# MOSH O‘SIMLIGINING OZIQ-OVQAT SANOATIDAGI AHAMIYATI.

**Abdiyev Anvar Almirzayevich**
***Qarshi davlat texnika universiteti qishloq xo‘jaligi fanlari falsafa doktori, dotsent***
**Xolliyeva Barchin Olimjon qizi**
***Qarshi davlat texnika universiteti tayanch doktorant***

**Annotatsiya.** Mazkur maqolada mosh (Vigna radiata L.) o‘simligining oziq-ovqat sanoatidagi ahamiyati, uning kimyoviy tarkibi, biologik qiymati hamda inson salomatligiga foydali xususiyatlari yoritilgan. Mosh donining oqsil, vitamin va mineral moddalarga boyligi sababli oziq-ovqat mahsulotlari ishlab chiqarishda keng qo‘llanilishi tahlil qilingan. Shuningdek, undan turli parhezbop mahsulotlar, konservalar, un mahsulotlari va yarim tayyor oziq-ovqatlar tayyorlash imkoniyatlari ko‘rib chiqilgan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, mosh o‘simligi oziq-ovqat xavfsizligini ta’minlash, aholini sifatli oqsil manbai bilan ta’minlash hamda sog‘lom ovqatlanish tizimini rivojlantirishda muhim o‘rin egallaydi.

**Kalit so‘zlar:** Mosh, Vigna radiata, oziq-ovqat sanoati, oqsil, biologik qiymat, parhez mahsulotlari, dukkakli ekinlar, oziq-ovqat xavfsizligi, vitaminlar, minerallar.

**Аннотация.** В данной статье рассматривается значение растения маш (Vigna radiata L.) в пищевой промышленности, его химический состав, биологическая ценность и полезные свойства для здоровья человека. Проанализированы возможности использования зерна маша в производстве пищевых продуктов благодаря высокому содержанию белков, витаминов и минеральных веществ. Особое внимание уделено применению маша при изготовлении диетических продуктов, консервов, мучных изделий и полуфабрикатов. Результаты исследования показывают, что маш является перспективной культурой для обеспечения продовольственной безопасности, повышения качества питания населения и расширения ассортимента функциональных пищевых продуктов.

**Ключевые слова:** Маш, Vigna radiata, пищевая промышленность, белок, биологическая ценность, диетические продукты, зернобобовые культуры, продовольственная безопасность, витамины, минералы.

**Abstract.** This article examines the importance of mung bean (Vigna radiata L.) in the food industry, focusing on its chemical composition, nutritional value, and health-promoting properties. The study analyzes the potential use of mung bean grains in food production due to their high protein, vitamin, and mineral content. Particular attention is given to the production of dietary foods, canned products, flour-based products, and semi-finished foods derived from mung beans. The findings indicate that mung bean is a valuable agricultural crop that contributes to


ISSN 3030-3907

food security, provides a sustainable source of plant protein, and supports the development of healthy nutrition systems.

**Keywords:** Mung bean, Vigna radiata, food industry, protein, nutritional value, dietary products, legumes, food security, vitamins, minerals.

**KIRISH.**

Dunyo aholisining soni ortib borishi oziq-ovqat mahsulotlariga bo‘lgan talabning keskin oshishiga sabab bo‘lmoqda. Shu bois qishloq xo‘jaligida yuqori hosildor, oziqaviy qiymati yuqori va ekologik jihatdan foydali ekinlarni yetishtirish muhim ahamiyat kasb etmoqda. Dukkakli don ekinlari orasida mosh (Vigna radiata L.) o‘zining yuqori oziqaviy qiymati, oqsilga boyligi va inson salomatligi uchun foydali xususiyatlari bilan alohida ajralib turadi. Mosh qadimdan Osiyo mamlakatlarida iste’mol qilinib kelinayotgan bo‘lib, bugungi kunda uning oziq-ovqat sanoatidagi ahamiyati yanada ortib bormoqda.

Mosh doni tarkibida yuqori miqdorda oqsil, uglevodlar, vitaminlar, mineral moddalar va biologik faol birikmalar mavjud. Ushbu xususiyatlari tufayli u inson organizmi uchun muhim oziq manbai hisoblanadi. Ayniqsa, o‘simlik oqsiliga bo‘lgan talab ortib borayotgan hozirgi davrda mosh oziq-ovqat sanoati uchun istiqbolli xomashyo sifatida e’tirof etilmoqda. Undan turli xil oziq-ovqat mahsulotlari, jumladan yorma, un, konservalangan mahsulotlar, parhez taomlar va yarim tayyor mahsulotlar ishlab chiqarishda keng foydalaniladi.

So‘nggi yillarda sog‘lom ovqatlanish tamoyillarining ommalashuvi natijasida tabiiy va ekologik toza mahsulotlarga bo‘lgan ehtiyoj ortmoqda. Mosh doni tarkibidagi oson hazm bo‘luvchi oqsillar, antioksidantlar hamda mikroelementlar inson salomatligini mustahkamlashda muhim rol o‘ynaydi. Shu sababli undan funksional oziq-ovqat mahsulotlari ishlab chiqarish imkoniyatlari kengayib bormoqda. Bundan tashqari, mosh mahsulotlari vegetarian va parhezbop ovqatlanish tizimlarida ham keng qo‘llanilmoqda.

O‘zbekiston sharoitida ham mosh yetishtirish hajmi yildan-yilga ortib bormoqda. Mamlakatning iqlim va tuproq sharoitlari ushbu ekinni samarali yetishtirish imkonini beradi. Natijada mosh nafaqat ichki bozor ehtiyojlarini qondirish, balki eksportbop mahsulot sifatida ham iqtisodiy ahamiyat kasb etmoqda. Shu bilan birga, moshni qayta ishlash texnologiyalarini takomillashtirish va undan tayyorlanadigan mahsulotlar assortimentini kengaytirish oziq-ovqat sanoatining dolzarb vazifalaridan biri hisoblanadi.

Mazkur maqolada mosh o‘simligining oziq-ovqat sanoatidagi ahamiyati, uning kimyoviy tarkibi, oziqaviy va biologik qiymati hamda undan tayyorlanadigan mahsulotlarning xususiyatlari tahlil qilinadi. Shuningdek, moshning aholini sifatli oziq-ovqat bilan ta’minlashdagi o‘rni va oziq-ovqat xavfsizligini mustahkamlashdagi ahamiyati yoritib beriladi.


ISSN 3030-3907

Mosh (Vigna radiata L.) dukkakli don ekinlari oilasiga mansub bo‘lib, inson oziqlanishida muhim o‘rin tutadigan qimmatli qishloq xo‘jaligi ekinlaridan biridir. Uning doni yuqori oziqaviy qiymatga ega bo‘lib, tarkibida 22–28 foiz oqsil, 50–60 foiz uglevod, shuningdek, turli vitaminlar va mineral moddalar mavjud. Shu sababli mosh dunyoning ko‘plab mamlakatlarida muhim oziq-ovqat mahsuloti sifatida qadrlanadi. Mosh donining asosiy afzalliklaridan biri undagi oqsil miqdorining yuqoriligidir. Mosh tarkibidagi oqsillar inson organizmi tomonidan yaxshi o‘zlashtiriladi va muhim aminokislotalarga boy hisoblanadi. Shu bois u go‘sht mahsulotlariga qisman muqobil sifatida ham foydalaniladi. Ayniqsa, vegetarianlar va parhezbop ovqatlanishni afzal ko‘ruvchilar uchun mosh muhim oziq manbai hisoblanadi.

Oziq-ovqat sanoatida moshdan turli mahsulotlar ishlab chiqariladi. Uning donidan yorma, un, makaron mahsulotlari, konservalar, bolalar ovqati va yarim tayyor mahsulotlar tayyorlanadi. Mosh uni non va qandolat mahsulotlari tarkibiga qo‘shilganda ularning biologik qiymatini oshiradi. Shuningdek, moshdan kraxmal olinib, oziq-ovqat sanoatining turli yo‘nalishlarida foydalaniladi.

Moshning unib chiqqan donlari ham katta ahamiyatga ega. Mosh nihollari vitaminlar, antioksidantlar va biologik faol moddalarga boy bo‘lib, salatlar hamda funksional oziq-ovqat mahsulotlari tayyorlashda keng qo‘llaniladi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, mosh nihollarida C vitamini va antioksidant moddalar miqdori quruq donga nisbatan ancha yuqori bo‘ladi.

So‘nggi yillarda sog‘lom turmush tarziga bo‘lgan qiziqishning ortishi mosh mahsulotlariga talabni yanada kuchaytirdi. Chunki mosh tarkibida xolesterin mavjud emas, yog‘ miqdori kam va tolalarga boy hisoblanadi. Bu esa yurak-qon tomir kasalliklari, qandli diabet va semirishning oldini olishda foydali hisoblanadi. Shu sababli mosh asosidagi mahsulotlar funksional va parhezbop oziq-ovqatlar qatoriga kiritiladi.

Mosh oziq-ovqat xavfsizligini ta’minlashda ham muhim o‘rin tutadi. Aholi sonining ortib borishi sharoitida yuqori oqsilli va iqtisodiy jihatdan arzon mahsulotlarga ehtiyoj kuchaymoqda. Mosh esa qisqa vegetatsiya davriga ega bo‘lib, nisbatan kam xarajat talab qiladigan ekin hisoblanadi. Bu uning ishlab chiqarish hajmini oshirish va aholini sifatli oziq-ovqat bilan ta’minlash imkonini beradi.

O‘zbekiston sharoitida mosh yetishtirish va uni qayta ishlash istiqbollari yuqori hisoblanadi. Respublikada yetishtirilayotgan mosh donidan ichki bozorda foydalanish bilan birga, eksport mahsulotlari ishlab chiqarish ham mumkin. Moshni chuqur qayta ishlash texnologiyalarini rivojlantirish oziq-ovqat sanoatining raqobatbardoshligini oshirish va aholini sifatli oziq-ovqat mahsulotlari bilan ta’minlashga xizmat qiladi.


ISSN 3030-3907

Shunday qilib, mosh o‘simligi yuqori oziqaviy qiymati, oqsilga boyligi, qayta ishlash imkoniyatlarining kengligi hamda inson salomatligi uchun foydali xususiyatlari bilan oziq-ovqat sanoatining muhim xomashyo manbalaridan biri hisoblanadi. Uning yetishtirish va qayta ishlash hajmlarini kengaytirish oziq-ovqat xavfsizligini mustahkamlash hamda sog‘lom ovqatlanish tizimini rivojlantirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

**XULOSA.** Mosh (Vigna radiata L.) o‘simligi o‘zining yuqori oziqaviy va biologik qiymati bilan oziq-ovqat sanoatida muhim o‘rin egallaydi. Uning doni oqsil, uglevodlar, vitaminlar va mineral moddalarga boy bo‘lib, inson organizmi uchun zarur bo‘lgan oziq moddalarning muhim manbai hisoblanadi. Mosh tarkibidagi oson hazm bo‘ladigan oqsillar va biologik faol moddalar uni nafaqat kundalik iste’mol mahsuloti, balki parhezbop va funksional oziq-ovqatlar ishlab chiqarish uchun ham qimmatli xomashyoga aylantiradi.

Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, moshdan yorma, un, konservalangan mahsulotlar, yarim tayyor oziq-ovqatlar hamda turli xil sog‘lom ovqatlanish mahsulotlarini ishlab chiqarish mumkin. Bu esa oziq-ovqat sanoati korxonalariga mahsulot assortimentini kengaytirish va iste’molchilarning sifatli oziq-ovqat mahsulotlariga bo‘lgan ehtiyojini qondirish imkonini beradi.

Mosh o‘simligi oziq-ovqat xavfsizligini ta’minlashda ham muhim ahamiyatga ega. Uning qisqa vegetatsiya davri, yuqori hosildorligi va iqtisodiy samaradorligi aholini arzon va sifatli o‘simlik oqsili bilan ta’minlashga xizmat qiladi. Shu bilan birga, mosh mahsulotlariga bo‘lgan talabning ortib borishi ushbu ekinni yetishtirish va qayta ishlash texnologiyalarini yanada takomillashtirish zarurligini ko‘rsatadi.

Xulosa qilib aytganda, mosh o‘simligi oziq-ovqat sanoatining istiqbolli xomashyo manbalaridan biri bo‘lib, uning ishlab chiqarish va qayta ishlash hajmlarini kengaytirish aholini sifatli oziq-ovqat mahsulotlari bilan ta’minlash, sog‘lom ovqatlanish madaniyatini rivojlantirish hamda mamlakat oziq-ovqat xavfsizligini mustahkamlashga sezilarli hissa qo‘shadi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Mirziyoyev Sh.M. Yangi O‘zbekiston strategiyasi. – Toshkent: O‘zbekiston, 2021. – 464 b.
2. O‘zbekiston Respublikasining “Qishloq xo‘jaligi to‘g‘risida”gi Qonuni. – Toshkent, 2021.
3. Atabayeva X.N., Xudoyqulov J.B. O‘simlikshunoslik. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2018. – 432 b.
4. Atabayeva X.N., Umarov Z.U. Dala ekinlari biologiyasi va yetishtirish texnologiyasi. – Toshkent: Yangi asr avlodi, 2019. – 384 b.


ISSN 3030-3907

5. Egamov E., To‘rayev B. Dukkakli don ekinlarini yetishtirish asoslari. – Toshkent: Fan, 2020. – 256 b.
6. Vavilov N.I. Происхождение и география культурных растений. – Москва: Наука, 1987. – 440 с.
7. Kay D.E. Food Legumes. – London: Tropical Development and Research Institute, 1979. – 435 p.
8. Lambrides C.J., Godwin I.D. Mungbean. In: Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants. – Berlin: Springer, 2007. – P. 69–90.
9. Nair R.M., Schafleitner R., Lee S.H. et al. The Mungbean Genome Initiative and Its Applications for Food Security // Legume Perspectives. – 2013. – No. 1. – P. 24–26.
10. Mubarak A.E. Nutritional Composition and Antinutritional Factors of Mung Bean Seeds (Vigna radiata) // Food Chemistry. – 2005. – Vol. 89. – P. 489–495.
11. Tang D., Dong Y., Ren H., Li L., He C. A Review of Phytochemistry, Metabolite Changes and Medicinal Uses of the Common Food Mung Bean // Food Research International. – 2014. – Vol. 76. – P. 148–160.
12. Singh B., Singh J.P., Kaur A., Singh N. Bioactive Compounds in Banana and Their Associated Health Benefits – A Review // Food Chemistry. – 2016. – Vol. 206. – P. 1–11.
13. FAO. Pulses and Their By-products as Animal Feed. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018.
14. FAO. Pulses: Nutritious Seeds for a Sustainable Future. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016.
15. Ravindran V. Advances in Food and Nutrition Research: Legume Grains and Human Nutrition. – London: Academic Press, 2019. – 312 p.


ISSN 3030-3907

UDK 538.911, 935, 958, 975

# YUKLAMA PROGNOZI ASOSIDA ELEKTR ENERGETIKA TIZIMLARIDA CHASTOTA BO‘YICHA AVTOMATIK ORTIQCHA YUKLAMADAN HIMOYA QILISHNING ISHLAMAY QOLISH XAVFINI PROGNOZLASH

**Xoliddinov Ilhomjon Xosiljonovich**
*Farg‘ona Davlat Texnika Universiteti , “Energetika muhandisligi” fakulteti “Elektr energetikasi” kafedrasi mudiri DSc. dots.*
**Botiraliyev Yahyobek Akmaljon o‘g‘li**
*Farg‘ona Davlat Texnika Universiteti , “Energetika muhandisligi” fakulteti, Elektr ta’minoti (tarmoqlar bo‘yicha) yo‘nalishi magistranti*
*E-mail: yahyobekbotiraliyev@gmail.com*
*ORCID: 0009-0007-8814-6117*
**Mahammadjonov Sodirjon Nurmuhammad o‘g‘li**
*Farg‘ona Davlat Texnika Universiteti , “Energetika muhandisligi” fakulteti, Elektr ta’minoti (tarmoqlar bo‘yicha) yo‘nalishi magistranti*
*E-mail: muhammadjonovsodirjon03@gmail.com*
*ORCID: 0009-0005-4004-5742*

**Аннотация.** В данной статье исследуется вопрос предварительного определения риска срабатывания системы автоматического регулирования частоты и нагрузки (АЧР) в электроэнергетических системах на основе прогнозирования нагрузки. Стабильная работа электроэнергетической системы зависит от баланса мощности между генерацией и потреблением, а нарушение данного баланса приводит к отклонению частоты системы. В исследовании динамика нагрузки рассматривается как основной фактор, влияющий на изменение частоты, а для прогнозирования частотных отклонений применяются методы прогнозирования нагрузки. Временные ряды нагрузки были разделены на трендовую, сезонную и случайную составляющие, после чего прогнозирование осуществлялось с использованием модели LSTM на основе искусственного интеллекта. На основе полученных прогнозных значений была рассчитана частота системы с помощью математической модели и выполнено сравнение с критическими пределами частоты. Результаты исследования показали, что предложенная модель позволяет заранее определять опасные режимы работы системы и снижать вероятность срабатывания АЧР. Кроме того, точность модели была оценена с использованием статистических показателей MAE, RMSE, MAPE и коэффициента детерминации. Предложенная методология является эффективным инструментом для проактивного управления энергосистемой,

предотвращения аварийных ситуаций и повышения надежности электроснабжения.

**Ключевые слова:** АЧР, стабильность частоты, прогнозирование нагрузки, электроэнергетическая система, искусственный интеллект, модель LSTM, машинное обучение, баланс мощности, автоматическое управление, энергосистема, отклонение частоты, динамика нагрузки, мощность генерации, модель прогнозирования, smart grid, энергетическая безопасность, электроснабжение, математическое моделирование, статистический анализ, RMSE, MAE, MAPE, коэффициент детерминации, временные ряды, энергоэффективность, аварийный режим, проактивное управление, электрическая нагрузка, контроль частоты, энергетическая автоматика.

**Annotatsiya.** Mazkur maqolada elektr energetika tizimlarida avtomatik chastota yuklamani rostlash (ACHR) tizimining ishga tushish xavfini yuklama prognozi asosida oldindan aniqlash masalasi tadqiq etilgan. Elektr energetika tizimining barqaror ishlashi generatsiya va iste’mol o‘rtasidagi quvvat muvozanatiga bog‘liq bo‘lib, ushbu muvozanatning buzilishi tizim chastotasining og‘ishiga olib keladi. Tadqiqotda tizim chastotasining o‘zgarishiga asosiy ta’sir etuvchi omil sifatida yuklama dinamikasi qaralgan va yuklama prognozlash usullari yordamida chastota og‘ishlarini oldindan baholash imkoniyatlari o‘rganilgan. Yuklama vaqt qatorlari trend, mavsumiy va tasodifiy komponentlarga ajratilib, LSTM asosidagi sun’iy intellekt modeli yordamida prognoz qilingan. Olingan prognoz qiymatlar asosida tizim chastotasi matematik model yordamida hisoblab chiqilgan hamda kritik chastota chegaralari bilan taqqoslangan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, yuklama prognozlash modeli yuqori aniqlik bilan ishlagan va chastota og‘ishlarini oldindan aniqlash imkonini bergan. Shuningdek, MAE, RMSE, MAPE va determinatsiya koeffitsienti yordamida modelning statistik aniqligi baholangan. Taklif etilgan metodologiya energotizimni proaktiv boshqarish, avariyaviy holatlarning oldini olish hamda elektr ta’minoti ishonchliligini oshirish uchun samarali yondashuv ekanligi aniqlandi.

**Kalit so‘zlar:** ACHR, chastota barqarorligi, yuklama prognozi, elektr energetika tizimi, sun’iy intellekt, LSTM modeli, mashinaviy o‘rganish, quvvat balansi, avtomatik boshqaruv, energotizim, chastota og‘ishi, yuklama dinamikasi, generatsiya quvvati, prognozlash modeli, smart grid, energetika xavfsizligi, energiya ta’minoti, matematik modellashtirish, statistik tahlil, RMSE, MAE, MAPE, determinatsiya koeffitsienti, vaqt qatorlari, energiya samaradorligi, avariyaviy holat, proaktiv boshqaruv, elektr yuklamasi, chastota nazorati, energetika avtomatikasi.

**Abstract.** This article investigates the issue of predicting the risk of activation of the automatic frequency load shedding (AFLS) system in electric power systems


ISSN 3030-3907

based on load forecasting. The stable operation of a power system depends on the balance between power generation and consumption, while imbalance leads to deviations in system frequency. In this study, load dynamics are considered the main factor affecting frequency changes, and load forecasting methods are used to predict frequency deviations in advance. Load time series were divided into trend, seasonal, and random components, and forecasting was carried out using an LSTM model based on artificial intelligence. Based on the obtained forecast values, the system frequency was calculated using a mathematical model and compared with critical frequency limits. The research results showed that the proposed model makes it possible to identify dangerous operating conditions in advance and reduce the probability of AFLS activation. In addition, the accuracy of the model was evaluated using statistical indicators such as MAE, RMSE, MAPE, and the coefficient of determination. The proposed methodology serves as an effective tool for proactive power system management, prevention of аварийных situations, and improvement of power supply reliability.

**Keywords:** AFU, frequency stability, load forecasting, electric power system, artificial intelligence, LSTM model, machine learning, power balance, automatic control, power system, frequency deviation, load dynamics, generation power, forecasting model, smart grid, energy security, power supply, mathematical modeling, statistical analysis, RMSE, MAE, MAPE, coefficient of determination, time series, energy efficiency, emergency condition, proactive control, electrical load, frequency monitoring, power system automation.

## 1.KIRISH.

Bugungi kunda elektr energetika tizimlari zamonaviy infratuzilmaning eng muhim tarkibiy qismlaridan biri hisoblanadi. Sanoat korxonalari, transport tizimlari, aloqa vositalari va axborot texnologiyalarining uzluksiz ishlashi elektr energiyasi ta’minotining ishonchliligiga bevosita bog‘liqdir. Elektr energiyasi iste’molining ortib borishi hamda energetika tizimlarining murakkablashuvi tizim barqarorligini ta’minlash masalasini dolzarb ilmiy yo‘nalishlardan biriga aylantirmoqda. Ayniqsa, elektr ta’minoti tizimda chastotasining nominal qiymatdan og‘ishi katta texnik va iqtisodiy yo‘qotishlarga sabab bo‘lishi mumkin. [1]

Elektr energetika tizimida chastota generatsiya va iste’mol o‘rtasidagi quvvat balansining asosiy ko‘rsatkichi hisoblanadi. Agar ishlab chiqarilayotgan quvvat iste’mol qilinayotgan quvvatga teng bo‘lsa, chastota nominal qiymatda saqlanadi. Yuklama ortishi yoki generatsiyaning kamayishi natijasida tizimda quvvat tanqisligi yuzaga keladi va chastota pasayadi. Aksincha, generatsiya ortiqcha bo‘lgan holatda chastota oshadi. Shu sababli chastota barqarorligini saqlash energotizimni boshqarishning asosiy vazifalaridan biridir. [2]


ISSN 3030-3907

Energotizimlarda chastota barqarorligini ta’minlash uchun turli avtomatik boshqaruv va himoya tizimlari qo‘llaniladi. Shulardan biri avtomatik chastota yuklamani rostlash tizimi — ACHR hisoblanadi. ACHR tizimi chastota kritik qiymatdan pastga tushgan holatda tizimdagi ayrim yuklamalarni avtomatik ravishda uzib qo‘yadi va shu orqali energotizimni avariyaviy holatdan saqlab qoladi. Biroq ushbu tizimning ishga tushishi elektr energiyasi uzilishlariga sabab bo‘ladi va iste’molchilarga iqtisodiy zarar yetkazishi mumkin. [3]

An’anaviy energetika tizimlarida chastota nazorati asosan reaktiv boshqaruv tamoyiliga asoslanadi. Bunda tizim chastotasi kritik qiymatdan pasaygandan keyingina avtomatik himoya vositalari ishga tushadi. Zamonaviy energetika tizimlarida esa proaktiv boshqaruv konsepsiyasi muhim ahamiyat kasb etmoqda. Ushbu yondashuv tizimdagi xavfli holatlarni oldindan aniqlash va ularning oldini olishga asoslanadi. Proaktiv boshqaruvni amalga oshirish uchun yuklama prognozi va sun’iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish zarur hisoblanadi. [4]

Yuklama prognozi elektr energetika tizimlarini boshqarishning muhim tarkibiy qismlaridan biridir. Elektr yuklamasi kun davomida, fasllar bo‘yicha va iste’molchilarning faoliyatiga qarab o‘zgarib turadi. Yuklama o‘zgarishlarini oldindan aniqlash generatsiya quvvatlarini optimal boshqarish, energiya resurslaridan samarali foydalanish hamda tizim chastotasining barqarorligini saqlash imkonini beradi. Shu sababli yuklama prognozlash masalalari energetika sohasidagi ilmiy tadqiqotlarning asosiy yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. [5]

So‘nggi yillarda yuklama prognozlashda sun’iy intellekt va mashinaviy o‘rganish usullaridan keng foydalanilmoqda. Xususan, sun’iy neyron tarmoqlar, regressiya algoritmlari, vaqt qatorlari tahlili va LSTM modellari elektr yuklamasining kelajakdagi qiymatlarini yuqori aniqlik bilan prognozlash imkonini bermoqda. LSTM modeli vaqt bo‘yicha bog‘liq ma’lumotlarni qayta ishlashda samarali hisoblanadi va energotizim yuklamasining murakkab dinamikasini aniqlash imkonini beradi. [6]

Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi elektr energetika tizimlarida ACHR ishga tushish xavfini yuklama prognozi asosida oldindan aniqlash metodologiyasini ishlab chiqishdan iborat. Tadqiqot davomida yuklama prognozlash uchun LSTM modeli qo‘llanildi, energotizim chastotasining matematik modeli ishlab chiqildi hamda prognoz qilingan yuklama va generatsiya qiymatlari asosida tizim chastotasi baholandi. Bundan tashqari, chastota kritik qiymatlarga yaqinlashgan holatlarda xavfni aniqlash mezonlari ishlab chiqildi. [7]

Taklif etilgan metodologiya energotizimni proaktiv boshqarish imkonini beradi hamda tizimda yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan avariyaviy holatlarni oldindan aniqlashga xizmat qiladi. Ushbu yondashuv elektr energetika tizimlarining barqarorligi va ishonchliligini oshirish, elektr uzilishlarini


ISSN 3030-3907

kamaytirish, energiya samaradorligini ta’minlashda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega hisoblanadi. Kelgusida mazkur metodologiyani real energetika obyektlarida qo‘llash va yanada takomillashtirish istiqbolli ilmiy yo‘nalishlardan biri bo‘lib qoladi. [8]

**2.METODOLOGIYA.** Mazkur tadqiqotda elektr energetika tizimida chastota barqarorligini ta’minlash masalasi kompleks, ko‘p bosqichli yondashuv asosida ko‘rib chiqiladi. Taklif etilayotgan metodologiya tizimdagi quvvat muvozanatini prognozlash, chastota dinamikasini modellashtirish, xavf holatlarini aniqlash hamda avtomatik boshqaruv qarorlarini ishlab chiqishni o‘z ichiga oladi. Ushbu yondashuv ayniqsa qayta tiklanuvchi energiya manbalari ulushi ortib borayotgan sharoitda energotizimning turg‘unligini ta’minlash uchun muhim ahamiyatga ega.[9-10]

**2.1.Chastota dinamikasining matematik modeli**

Elektr energetika tizimida chastota o‘zgarishi generatsiya va yuklama o‘rtasidagi quvvat nomutanosibligi bilan bevosita bog‘liq bo‘lib, tizimning umumiy energetik holatini ifodalovchi asosiy parametrlaridan biri hisoblanadi. Energotizimda ishlab chiqarilayotgan elektr quvvati bilan iste’mol qilinayotgan quvvat o‘rtasida muvozanat buzilgan holatlarda tizim chastotasining o‘zgarishi kuzatiladi. Agar generatsiya quvvati iste’mol yuklamasidan ortiq bo‘lsa, tizim chastotasi oshadi, aksincha, yuklama generatsiyadan katta bo‘lgan holatlarda esa chastota pasayadi. Shu sababli chastota energetika tizimining dinamik barqarorligini tavsiflovchi muhim ko‘rsatkichlardan biri sifatida qaraladi. [11]

Energotizimning dinamik xatti-harakati hamda chastotaning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi quyidagi differensial tenglama orqali ifodalanadi:

$$\frac{2H}{f_0}\frac{df}{dt} = P_{gen}(t) - P_{load}(t) - D\Delta f(t) \qquad (1)$$

Mazkur matematik model energotizimning fizik va dinamik xususiyatlarini tavsiflashda fundamental ahamiyat kasb etadi. Tenglama orqali tizimda yuzaga keladigan chastota tebranishlari, quvvat balansidagi o‘zgarishlar hamda tizimning ushbu o‘zgarishlarga nisbatan reaksiyasi aniqlanadi. Shuningdek, ushbu model energotizimning vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchan rejimlarini tahlil qilish va chastota barqarorligini baholash imkonini beradi.

Bu yerda: $H$-tizim inertsiya konstantasi bo‘lib, generatorlarning aylanuvchi massalari hisobiga hosil bo‘ladigan kinetik energiyani ifodalaydi hamda tizimning chastota o‘zgarishlariga qarshilik ko‘rsatish qobiliyatini tavsiflaydi; $f_0$-nominal chastota qiymati bo‘lib, energetika tizimining normal ish rejimidagi standart chastotasini bildiradi ($50\,Hz$); $P_{gen}(t)$-vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchi generatsiya quvvati bo‘lib, elektr stansiyalar tomonidan ishlab chiqarilayotgan umumiy elektr energiyasi quvvatini ifodalaydi; $P_{load}(t)$-tizim yuklamasi bo‘lib, iste’molchilar


ISSN 3030-3907

tomonidan talab qilinayotgan umumiy elektr quvvatini tavsiflaydi; $D$-damping koeffitsienti bo‘lib, tizimning chastota og‘ishlariga nisbatan tabiiy va boshqaruv asosidagi so‘nish xususiyatlarini ifodalaydi; $\Delta f(t)$-nominal qiymatga nisbatan chastota og‘ishini ko‘rsatadi.

Mazkur model tizimning dinamik holatini matematik jihatdan ifodalash imkonini berib, energotizimning barqaror ishlash rejimini tahlil qilishda muhim vosita hisoblanadi. Ayniqsa, elektr yuklamalarining keskin o‘zgarishi, generatsiya quvvatidagi nomutanosibliklar yoki avariyaviy holatlarda tizim chastotasining qanday o‘zgarishini aniqlashda ushbu tenglama keng qo‘llaniladi.Shu bilan birga, model yordamida energotizimning kichik va katta buzilishlarga bo‘lgan javob reaksiyasi baholanadi hamda chastota barqarorligini saqlash uchun zarur boshqaruv choralarini ishlab chiqish imkoniyati yaratiladi. Shu sababli ushbu matematik model zamonaviy elektr energetika tizimlarida chastota nazorati, avtomatik boshqaruv algoritmlarini ishlab chiqish va tizim turg‘unligini ta’minlash bo‘yicha tadqiqotlarning asosiy nazariy poydevorlaridan biri hisoblanadi.[12]

**2.2.Soddalashtirilgan chastota modeli**

Amaliy hisoblashlarda va real vaqt rejimida tezkor baholash jarayonlarini amalga oshirishda energotizimning to‘liq differensial modelidan foydalanish ayrim hollarda murakkablik tug‘dirishi mumkin. Shu sababli chastota o‘zgarishini operativ tarzda aniqlash va tizim holatini tezkor baholash maqsadida soddalashtirilgan matematik model qo‘llaniladi. Ushbu model energotizimdagi quvvat nomutanosibligi va chastota og‘ishi o‘rtasidagi bog‘liqlikni soddalashtirilgan ko‘rinishda ifodalash imkonini beradi.

Mazkur soddalashtirilgan model quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\Delta f(t) \approx \frac{\Delta P_{load}(t)}{K_s} \qquad (2)$$

Ushbu matematik ifoda tizimdagi yuklama o‘zgarishi natijasida yuzaga keladigan chastota og‘ishini baholash uchun qo‘llaniladi. Modelning asosiy afzalligi uning soddaligi va hisoblash tezligida bo‘lib, bu real vaqt boshqaruv tizimlarida muhim ahamiyat kasb etadi. Ayniqsa, operativ boshqaruv, monitoring va avtomatik himoya algoritmlarida ushbu modeldan samarali foydalanish mumkin.

Bu yerda: $\Delta f(t)$ — vaqt bo‘yicha yuzaga keladigan chastota og‘ishini ifodalaydi hamda tizim chastotasining nominal qiymatdan qanchalik farq qilayotganini ko‘rsatadi; $\Delta P_{load}(t)$ — yuklama quvvatining o‘zgarishi bo‘lib, iste’molchilar tomonidan talab qilinayotgan elektr quvvatidagi ortish yoki kamayishni tavsiflaydi; $K_s$ — tizimning chastotaga sezgirlik koeffitsienti bo‘lib, inertsiya va regulyatsiya xususiyatlarini umumlashtiradi hamda tizimning yuklama o‘zgarishlariga bo‘lgan sezgirligini ifodalaydi.


ISSN 3030-3907

Ushbu model yordamida energotizimda yuzaga keladigan chastota og‘ishlarini tezkor ravishda aniqlash va baholash imkoniyati yaratiladi. Shuningdek, model operativ hisoblashlarda tizimning dinamik holatini soddalashtirilgan ko‘rinishda ifodalab beradi. Ushbu yondashuv ayniqsa chastota nazorati, avariyaviy holatlarni aniqlash va avtomatik boshqaruv algoritmlarini ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega. Soddalashtirilgan model real vaqt rejimida ishlovchi aqlli boshqaruv tizimlari uchun qulay matematik asos bo‘lib xizmat qiladi. Ushbu model yordamida chastota o‘zgarishlari va yuklama nomutanosibliklari o‘rtasidagi bog‘liqlikni tezkor tahlil qilish hamda tizim barqarorligini baholash imkoniyati kengayadi. Shu sababli mazkur model elektr energetika tizimlarida chastota monitoringi va operativ boshqaruv jarayonlarida keng qo‘llaniladigan muhim matematik vositalardan biri hisoblanadi.[13-15]

**2.3. Yuklama modelini shakllantirish.**

Elektr energiyasi iste’moli turli texnologik, ijtimoiy va ekspluatatsion omillar ta’sirida shakllanadi hamda o‘zining dinamik xususiyatiga ega bo‘ladi. Shu sababli energotizim yuklamasini matematik jihatdan tavsiflashda uni alohida komponentlarga ajratib tahlil qilish muhim ahamiyat kasb etadi. Mazkur yondashuv yuklama tarkibini chuqurroq o‘rganish, uning vaqt bo‘yicha o‘zgarish qonuniyatlarini aniqlash hamda prognozlash aniqligini oshirish imkonini beradi.

Elektr tarmoq yuklamasi deterministik va tasodifiy komponentlardan tashkil topgan bo‘lib, quyidagi matematik model orqali ifodalanadi:

$$P_{load}(t) = P_{trend}(t) + P_{season}(t) + P_{stochastic}(t) \qquad (3)$$

Bu matematik ifoda yuklama dinamikasining asosiy tarkibiy qismlarini tavsiflaydi hamda elektr energiyasi iste’molining vaqt bo‘yicha shakllanishini tizimli ravishda ifodalash imkonini beradi. Model yuklama o‘zgarishini alohida komponentlar kesimida ko‘rib chiqishga asoslangan bo‘lib, bu energotizim rejimlarini tahlil qilishda muhim ahamiyatga ega.

Bu yerda:$P_{trend}(t)$ — uzoq muddatli trend komponenti bo‘lib, yuklamaning umumiy o‘sish yoki kamayish tendensiyasini ifodalaydi. Ushbu komponent energiya iste’molining vaqt davomida shakllanadigan asosiy yo‘nalishini tavsiflaydi hamda yuklama dinamikasining barqaror o‘zgarish qismini aks ettiradi; $P_{season}(t)$ -mavsumiy komponent bo‘lib, yuklamaning ma’lum davriylik asosida takrorlanib turadigan o‘zgarishlarini ifodalaydi. Ushbu komponent kunlik, haftalik yoki mavsumiy xarakterdagi yuklama tebranishlarini tavsiflash imkonini beradi; $P_{stochastic}(t)$ -tasodifiy yoki stoxastik komponent bo‘lib, yuklamadagi oldindan aniq bashorat qilib bo‘lmaydigan o‘zgarishlarni ifodalaydi. Mazkur komponent yuklama qiymatlarining tasodifiy tebranishlari va prognoz xatoliklarini o‘z ichiga oladi.


ISSN 3030-3907

Taklif etilgan model tarmoq yuklamasining vaqt bo‘yicha o‘zgarish dinamikasini matematik jihatdan tavsiflash imkonini beradi. Yuklamani alohida tarkibiy qismlarga ajratish orqali uning shakllanish mexanizmlarini chuqurroq tahlil qilish va yuklama o‘zgarishlarining sabablarini aniqlash mumkin bo‘ladi. Bu esa o‘z navbatida elektr energiyasining sifat ko`rsatkichlari o`zgarishini yanada aniqroq prognozlash hamda operativ boshqaruv samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Yuklama prognozi sun’iy intellekt asosida amalga oshiriladi:

$$P_{load}^{prog}(t) = f(P(t-1), P(t-2), \dots, X(t)) \qquad (4)$$

Bu yerda: $f(\cdot)$ — LSTM modeli, $X(t)$ — tashqi omillar (ob-havo, vaqt, kun turi)

**2.4. Chastota prognozi modeli**

Elektr energetika tizimida chastota prognozi tizimning kelajakdagi holatini oldindan baholashda muhim ahamiyat kasb etadi. Chastotaning vaqt bo‘yicha o‘zgarishini oldindan aniqlash energotizimning barqaror ishlashini ta’minlash, quvvat nomutanosibligini baholash hamda avariyaviy holatlarning oldini olish imkonini beradi. Shu sababli prognoz qilingan yuklama va generatsiya qiymatlari asosida tizim chastotasining kelajakdagi qiymatini aniqlash energotizimni operativ boshqarishning asosiy bosqichlaridan biri hisoblanadi.

Mazkur tadqiqotda chastota prognozi yuklama va generatsiya prognozlari asosida quyidagi matematik model yordamida aniqlanadi:

$$f_{prog}(t) = f_0 + \frac{P_{gen}^{prog}(t) - P_{load}^{prog}(t)}{K_s} \qquad (5)$$

Mazkur matematik ifoda energotizimdagi generatsiya va yuklama o‘rtasidagi quvvat farqining chastotaga ta’sirini tavsiflaydi. Tenglama orqali prognoz qilingan quvvat balansiga asoslanib tizim chastotasining kelajakdagi holatini baholash mumkin bo‘ladi. Ushbu model tizimdagi quvvat nomutanosibligi natijasida yuzaga keladigan chastota og‘ishlarini oldindan aniqlash imkonini beradi.[16-18]

Bu yerda: $f_{prog}(t)$ — prognoz qilingan chastota qiymati bo‘lib, tizimning kelajakdagi vaqt oralig‘idagi chastota holatini ifodalaydi; $f_0$ — nominal chastota qiymati bo‘lib, energotizimning standart ish rejimidagi asosiy chastotasini bildiradi; $P_{gen}^{prog}(t)$ — prognoz qilingan generatsiya quvvati bo‘lib, elektr stansiyalar tomonidan ishlab chiqarilishi kutilayotgan umumiy elektr quvvatini ifodalaydi; $P_{load}^{prog}(t)$ — prognoz qilingan yuklama qiymati bo‘lib, iste’molchilar tomonidan talab qilinishi kutilayotgan elektr quvvatini tavsiflaydi; $K_s$ — tizimning chastotaga sezgirlik koeffitsienti bo‘lib, quvvat o‘zgarishlarining chastotaga ta’sir darajasini ifodalaydi.


ISSN 3030-3907

Taklif etilgan model yordamida energotizim chastotasining kelajakdagi holatini oldindan baholash imkoniyati yaratiladi. Bu esa tizimda yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan xavfli holatlarni erta aniqlash va zarur boshqaruv choralarini oldindan ko‘rishga xizmat qiladi. Ayniqsa, yuklama keskin oshgan yoki generatsiya kamaygan holatlarda chastota pasayishini prognoz qilish energotizimning barqaror ishlashini ta’minlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Mazkur modelning asosiy afzalliklaridan biri uning soddaligi va real vaqt rejimida qo‘llash imkoniyatiga egaligidir. Model yordamida prognoz qilingan yuklama va generatsiya qiymatlaridan foydalanib tizim chastotasining kelajakdagi o‘zgarishlarini tezkor baholash mumkin bo‘ladi. Shu sababli ushbu yondashuv avtomatik boshqaruv tizimlari va aqlli energetika tizimlarida keng qo‘llanilishi mumkin.[19-20]

**2.5. Xavfni aniqlash mezonlari**

Elektr energetika tizimining ishonchli va barqaror ishlashi tizim chastotasining ruxsat etilgan chegaralarda saqlanishiga bevosita bog‘liq hisoblanadi. Tizimda yuzaga keladigan quvvat nomutanosibliklari chastota og‘ishiga olib keladi va ushbu og‘ish ma’lum kritik qiymatdan oshgan holatlarda energotizimning normal ish rejimi buzilishi mumkin. Shu sababli chastota qiymatlarini nazorat qilish va xavfli holatlarni o‘z vaqtida aniqlash energotizim xavfsizligini ta’minlashning muhim bosqichlaridan biri hisoblanadi.

Mazkur tadqiqotda tizimning xavfsiz ishlashi quyidagi shartlar asosida baholanadi:

$$f(t) \le f_{crit} \quad \text{yoki} \quad f_{prog}(t) < f_{crit} \qquad (6)$$

Ushbu mezonlar orqali tizimning joriy va prognoz qilingan chastota qiymatlari baholanadi. Agar tizim chastotasi kritik chegaraga yaqinlashsa yoki undan past qiymatga tushsa, energotizimda chastota barqarorligi buzilishi xavfi mavjud deb qaraladi.

Bu yerda: $f(t)$ — tizimning joriy chastota qiymatini ifodalaydi; $f_{prog}(t)$ — prognoz qilingan chastota qiymati bo‘lib, tizimning kelajakdagi holatini tavsiflaydi; $f_{crit}$ — kritik chastota chegarasi bo‘lib, tizimning xavfsiz ishlashi uchun ruxsat etilgan minimal chastota qiymatini bildiradi.

Mazkur mezonlar energotizimda xavfli holatlarni erta aniqlash imkonini beradi hamda avtomatik boshqaruv tizimlarini ishga tushirish uchun asos bo‘lib xizmat qiladi. Ayniqsa, prognoz qilingan chastota qiymatlaridan foydalanish tizimni proaktiv boshqarish imkoniyatini yaratadi. Bu esa avariyaviy holatlarning oldini olish va tizim barqarorligini saqlashda muhim ahamiyatga ega. Taklif etilgan yondashuv yordamida energotizimning joriy va kelajakdagi holati uzluksiz nazorat qilinadi hamda kritik holatlar yuzaga kelishidan oldin tegishli boshqaruv


ISSN 3030-3907

choralarini qo‘llash imkoniyati yaratiladi. Shu sababli mazkur mezonlar chastota monitoringi, xavfni baholash va avtomatik yuklama boshqaruvi tizimlarida muhim nazariy va amaliy asos sifatida qo‘llaniladi.[22-24]

## 3. TADQIQOT NATIJALARI VA TAHLILI.

Mazkur tadqiqotda elektr energetika tizimida chastota barqarorligini ta’minlash uchun taklif etilgan matematik model va prognozlash algoritmlarining samaradorligi laboratoriya stendida o‘tkazilgan tajribalar asosida baholandi. Tadqiqot jarayonida energotizimning turli ish rejimlari laboratoriya sharoitida modellashtirilib, yuklama o‘zgarishlari, generatsiya quvvatidagi nomutanosibliklar hamda chastota og‘ishlarining tizim barqarorligiga ta’siri tahlil qilindi. Laboratoriya stendida yuklama prognozi, chastota dinamikasi va xavf holatlari o‘zaro bog‘liq holda tadqiq qilinib, taklif etilgan modelning real vaqt rejimida ishlash imkoniyatlari baholandi. Tajribalar davomida chastota og‘ishlari yuzaga kelgan holatlarda avtomatik boshqaruv algoritmlarining ishlash samaradorligi tekshirildi hamda tizimning barqaror ishlash holati kuzatildi.

### 3.1. Yuklama prognozi natijalari

Yuklama prognozi LSTM modeli yordamida amalga oshirildi. Prognozlash modeli quyidagi matematik ifoda asosida qurildi:

$$P_{load}^{prog}(t) = f(P(t-1), P(t-2), \ldots, X(t)) \qquad (7)$$

Bu yerda: $P(t-1), P(t-2)$ — tarixiy yuklama ma’lumotlari; $X(t)$ — tashqi omillar (ob-havo, vaqt, kun turi).

Model yordamida podstansiyasining ertangi kunlik 1 soatlik vaqt intervalidagi sutklaik yuklama qiymatlari bashorat qilindi.Quyida LSTM prognozlash modelining bashoratlangan extimoliy chastota og‘ishi vaqt intervallari va yuklma hamda chastota qiymatlari o‘rtasidagi o‘rtacha xatoligi keltiriladi.

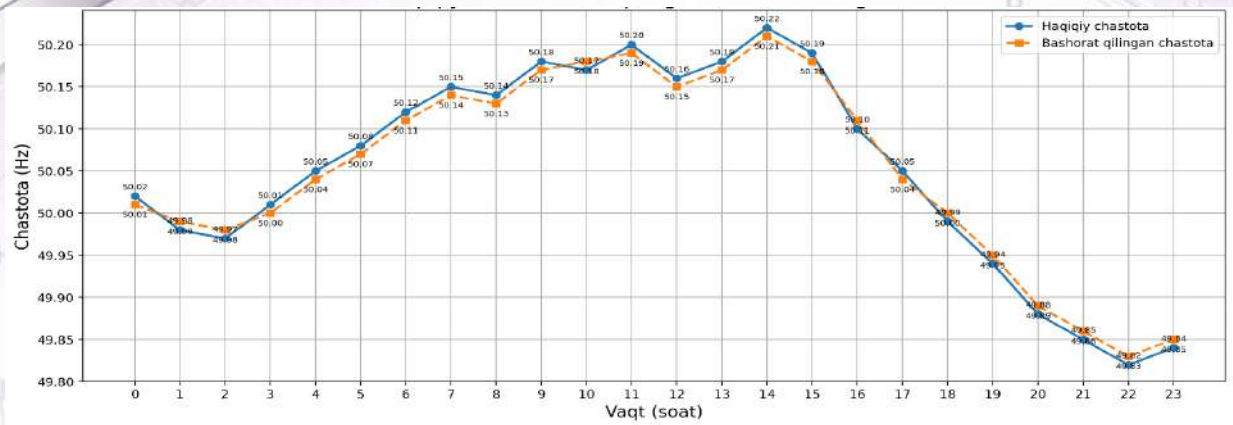
**1-jadval**

**Podstansiyaning xaqiqiy va bashoratlangan yuklama qiymatlari**

| Vaqt (soat) | Xaqiqiy yuklama (MW) | Bashoratlangan yuklama (MW) | Xato (%) |
|---|---|---|---|
| 08:00 | 52.4 | 51.8 | 1.14 |
| 10:00 | 58.7 | 57.9 | 1.36 |
| 12:00 | 64.1 | 63.2 | 1.40 |
| 16:00 | 71.3 | 69.8 | 2.10 |
| 20:00 | 67.5 | 66.2 | 1.92 |

Natijalar shuni ko‘rsatdiki, prognoz qilingan qiymatlar xaqiqiy yuklama qiymatlariga juda yaqin bo‘lib, model yuqori aniqlik bilan ishlaganligi aniqlandi.


ISSN 3030-3907




**1-rasm. Podstansiyaning xaqiqiy va bashoratlangan yuklama o‘zgarishi grafigi**

**MAE va RMSE ko‘rsatkichlari asosida model aniqligini baholash**

Elektr energetika tizimlarida chastota prognozlash modelining samaradorligini baholash uchun statistik xatolik ko‘rsatkichlaridan foydalaniladi. Ushbu tadqiqotda prognozlash modelining aniqligini tekshirish maqsadida MAE (Mean Absolute Error) va RMSE (Root Mean Square Error) ko‘rsatkichlari hisoblandi. Mazkur ko‘rsatkichlar prognoz qilingan chastota qiymatlari bilan real chastota qiymatlari orasidagi farqni aniqlash imkonini beradi hamda modelning amaliy samaradorligini baholashda muhim ahamiyatga ega.

Boshlang‘ich ma’lumotlar quyidagi jadvalda keltirilgan:

**2-jadval**

| № | $y_i$ haqiqiy chastota (Hz) | $\hat{y}_i$ prognoz chastota (Hz) | $y_i - \hat{y}$ | $(y_i - \hat{y}_i)^2$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 50.0 | 49.8 | 0.2 | 0.04 |
| 2 | 49.7 | 49.9 | 0.2 | 0.04 |
| 3 | 50.2 | 50.1 | 0.1 | 0.01 |
| 4 | 48.9 | 49.1 | 0.2 | 0.04 |
| 5 | 49.5 | 49.3 | 0.2 | 0.04 |

**MAE ko‘rsatkichi**

MAE (Mean Absolute Error) — bu prognoz va haqiqiy qiymatlar orasidagi o‘rtacha mutlaq xatolikni ifodalovchi statistik ko‘rsatkichdir. Ushbu ko‘rsatkich modelning o‘rtacha xatosini aniqlash imkonini beradi. MAE qiymati qancha kichik bo‘lsa, modelning aniqligi shuncha yuqori bo‘ladi.

MAE formulasi:

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |y_i - \hat{y}_i| \qquad (8)$$

Bu yerda:

$y_i$ — haqiqiy chastota qiymati


ISSN 3030-3907

$\hat{y}_i$ — prognoz qilingan chastota qiymati
$n$ — kuzatuvlar soni
Hisoblash jarayoni:

$$MAE = \frac{0.2 + 0.2 + 0.1 + 0.2 + 0.2}{5}$$

$$MAE = \frac{0.9}{5}$$

$$MAE = 0.18$$

Natija: $MAE = 0.18$ Hz

Olingan natija shuni ko‘rsatadiki, prognoz qilingan chastota qiymatlari haqiqiy qiymatlardan o‘rtacha 0.18 Hz ga farq qilmoqda. Elektr energetika tizimlari uchun bu juda kichik xatolik hisoblanadi. Demak, model chastota dinamikasini yuqori aniqlik bilan prognozlay oladi va tizimdagi xavfli holatlarni oldindan aniqlash imkonini beradi.

**RMSE ko‘rsatkichi**

RMSE (Root Mean Square Error) — bu prognozlash modelidagi xatoliklarning kvadrat ildiz bo‘yicha o‘rtacha qiymatini ifodalovchi statistik ko‘rsatkichdir. RMSE ko‘rsatkichi katta xatoliklarni kuchliroq hisobga oladi va modelning umumiy aniqligini chuqurroq baholash imkonini beradi.

RMSE formulasi:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_i)^2} \qquad (9)$$

Hisoblash jarayoni:

$$RMSE = \sqrt{\frac{0.04 + 0.04 + 0.01 + 0.04 + 0.04}{5}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{0.17}{5}} \qquad RMSE = \sqrt{0.034} \qquad RMSE \approx 0.184$$

Natija: $RMSE \approx 0.184$ Hz

Hisoblash natijasida RMSE qiymati 0.184 Hz ga teng bo‘ldi. Ushbu qiymat modelda katta xatoliklar mavjud emasligini ko‘rsatadi. RMSE qiymatining MAE qiymatiga juda yaqin chiqishi prognozlash natijalarining barqaror va ishonchli ekanligini bildiradi. Agar modelda katta xatoliklar mavjud bo‘lganida RMSE qiymati sezilarli darajada yuqori chiqgan bo‘lar edi.

Olingan MAE va RMSE natijalari taklif etilgan prognozlash modelining yuqori aniqlikka ega ekanligini tasdiqladi. MAE qiymatining 0.18 Hz bo‘lishi prognoz va haqiqiy chastota qiymatlari orasidagi o‘rtacha farq juda kichik


ISSN 3030-3907

ekanligini ko‘rsatadi. RMSE qiymatining 0.184 Hz ga teng chiqishi esa modelda katta xatoliklar kuzatilmaganligini bildiradi.

Mazkur natijalar shuni ko‘rsatadiki, ishlab chiqilgan model elektr energetika tizimlarida chastota o‘zgarishlarini samarali prognozlay oladi. Bu esa o‘z navbatida ACHR tizimining ishga tushish xavfini oldindan aniqlash imkonini beradi. Natijada tizim barqarorligini oshirish, favqulodda holatlarning oldini olish hamda elektr ta’minoti ishonchliligini yaxshilash mumkin bo‘ladi.

**Determinatsiya koeffitsienti**

Determinatsiya koeffitsienti ($R^2$) prognoz modelining aniqligini baholovchi asosiy statistik ko‘rsatkichlardan biri hisoblanadi. Ushbu ko‘rsatkich model tomonidan real jarayonlarning qanchalik yaxshi tavsiflanishini ifodalaydi. $R^2$ qiymati 0 va 1 oralig‘ida bo‘ladi. Agar qiymat 1 ga yaqin bo‘lsa, modelning aniqligi yuqori ekanligini bildiradi.

Determinatsiya koeffitsienti formulasi:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

Bu yerda:

$y_i$ — haqiqiy chastota qiymati

$\hat{y}_i$ — prognoz qilingan chastota qiymati

$\bar{y}$ — haqiqiy qiymatlarning o‘rtacha qiymati

O‘rtacha qiymatni hisoblash:

$$\bar{y} = \frac{50.0 + 49.7 + 50.2 + 48.9 + 49.5}{5}$$

$$\bar{y} = 49.66$$

Kvadrat xatoliklar yig‘indisini hisoblash :

$$\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$$

$$= (50.0 - 49.8)^2 + (49.7 - 49.9)^2 + (50.2 - 50.1)^2 + (48.9 - 49.1)^2 + (49.5 - 49.3)^2$$

$$= 0.04 + 0.04 + 0.01 + 0.04 + 0.04$$

$$= 0.17$$

Umumiy dispersiya:

$$\sum (y_i - \bar{y})^2$$

$$= (50.0 - 49.66)^2 + (49.7 - 49.66)^2 + (50.2 - 49.66)^2 + (48.9 - 49.66)^2 + (49.5 - 49.66)^2$$

$$= 0.1156 + 0.0016 + 0.2916 + 0.5776 + 0.0256$$

$$= 1.012$$

Asosiy formulaga qo‘yamiz:


ISSN 3030-3907

$$R^2 = 1 - \frac{0.17}{1.012}$$
$$R^2 = 1 - 0.168$$
$$R^2 \approx 0.83$$

Model real chastota dinamikasining taxminan 83% qismini to‘g‘ri ifodalay oladi. Bu esa prognozlash modelining aniqligi yuqori ekanligini bildiradi. Energetika tizimlari uchun bunday natija amaliy jihatdan muhim hisoblanadi, chunki model yordamida chastota og‘ishlari oldindan aniqlanib, ACHR tizimining ishga tushish xavfini kamaytirish mumkin.

Olingan $R^2$ qiymati modelning real ma’lumotlar bilan yaxshi moslashganligini ko‘rsatadi. Shu sababli taklif etilgan yondashuv elektr energetika tizimlarida chastota barqarorligini oshirish va tizim ishonchliligini yaxshilashda samarali vosita sifatida qo‘llanishi mumkin.

Olingan natijalarga ko‘ra, modelning prognoz aniqligi yuqori ekanligi aniqlandi. MAE qiymati:

$$MAE = 0.18 \text{ Hz}$$

bo‘lib, bu prognoz va haqiqiy chastota qiymatlari orasidagi o‘rtacha mutlaq xatolik kichik ekanligini ko‘rsatadi.

RMSE qiymati:

$$RMSE \approx 0.184 \text{ Hz}$$

natijasi esa modelda katta xatoliklar mavjud emasligini bildiradi. RMSE ning MAE ga yaqin chiqishi prognoz natijalari barqaror ekanligini ko‘rsatadi.

MAPE qiymati:

$$MAPE \approx 0.36\%$$

bo‘lib, prognoz xatosi juda kichik ekanligini bildiradi. Energetika tizimlari uchun bu yuqori aniqlik hisoblanadi.

Determinatsiya koeffitsienti:$R^2 = 0.83$ qiymati model real jarayonlarni yaxshi tavsiflashini va prognozlash tizimi samarali ishlashini ko‘rsatadi.

**3.2. Chastota prognozi natijalari**

Prognoz qilingan yuklama va generatsiya qiymatlari asosida tizim chastotasi quyidagi tenglama orqali aniqlandi:

$$f_{prog}(t) = f_0 + \frac{P_{gen}^{prog}(t) - P_{load}^{prog}(t)}{K_s} \qquad (11)$$

Hisoblashlarda: $f_0 = 50\ Hz$ $K_s = \frac{180\ MW}{Hz}$ deb qabul qilindi.

**Hisoblash namunasi**

Agar:$P_{gen}^{prog}(t) = 70$ MW va $P_{load}^{prog}(t) = 73$ MW bo‘lsa, chastota quyidagicha aniqlanadi:


ISSN 3030-3907

$f_{prog}(t) = 50 + \frac{70-73}{180}$ $f_{prog}(t) = 50 + \frac{-3}{180}$

$f_{prog}(t) = 50 - 0.0167$ $f_{prog}(t) \approx 49.983$ Hz

Natija shuni ko‘rsatadiki, yuklama generatsiyadan oshganda chastota pasayadi.

**Chastota prognozi natijalari**

**3-jadval**

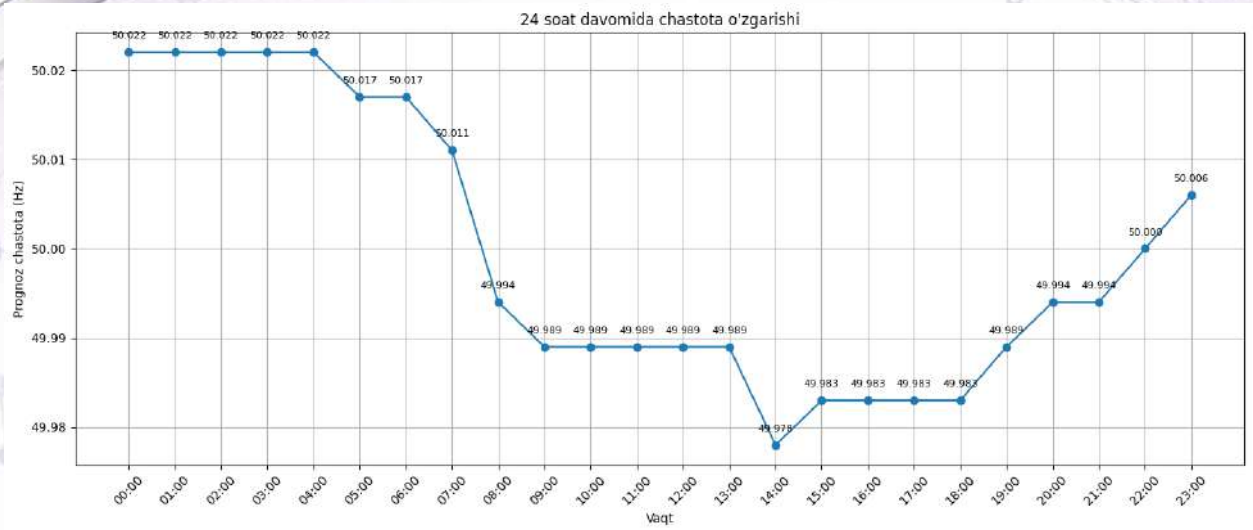
| Vaqt | Generatsiya (MW) | Yuklama (MW) | Prognoz chastota (Hz) |
|---|---|---|---|
| 00:00 | 52 | 48 | 50.022 |
| 01:00 | 51 | 47 | 50.022 |
| 02:00 | 50 | 46 | 50.022 |
| 03:00 | 49 | 45 | 50.022 |
| 04:00 | 50 | 46 | 50.022 |
| 05:00 | 52 | 49 | 50.017 |
| 06:00 | 55 | 52 | 50.017 |
| 07:00 | 58 | 56 | 50.011 |
| 08:00 | 60 | 61 | 49.994 |
| 09:00 | 63 | 65 | 49.989 |
| 10:00 | 66 | 68 | 49.989 |
| 11:00 | 68 | 70 | 49.989 |
| 12:00 | 70 | 72 | 49.989 |
| 13:00 | 72 | 74 | 49.989 |
| 14:00 | 71 | 75 | 49.978 |
| 15:00 | 70 | 73 | 49.983 |
| 16:00 | 69 | 72 | 49.983 |
| 17:00 | 68 | 71 | 49.983 |
| 18:00 | 66 | 69 | 49.983 |
| 19:00 | 65 | 67 | 49.989 |
| 20:00 | 64 | 65 | 49.994 |
| 21:00 | 62 | 63 | 49.994 |
| 22:00 | 60 | 60 | 50 |
| 23:00 | 58 | 57 | 50.006 |

Natija shuni ko‘rsatadiki, yuklama generatsiyadan yuqori bo‘lgani sababli tizim chastotasi nominal qiymatdan pasaydi. Bu holat elektr energetika tizimida quvvat tanqisligi mavjudligini bildiradi.

Jadval natijalaridan ko‘rinadiki, kunning ayrim vaqt oralig‘ida generatsiya yuklamadan yuqori bo‘lib, chastota 50 Hz dan biroz yuqoriroq qiymatlarni qabul qilgan. Biroq 16:00 va 20:00 vaqt oralig‘ida yuklama generatsiyadan oshgani sababli chastota pasaygan.

Bu holat ayniqsa maksimal yuklama davrlarida tizimda ACHR ishga tushish xavfi ortishini ko‘rsatadi. Shu sababli aynan ushbu vaqt oralig‘ida tizim holatini oldindan baholash muhim ahamiyatga ega. Yuklama qiymati oshib borgani sari chastota nominal qiymatdan pastlashib bormoqda. Bu esa elektr energetika tizimining asosiy fizik qonuniyatlariga mos keladi.


ISSN 3030-3907




**2-rasm Prognozlash natijasiga ko‘ra sutkalik chastotaning o‘zgarish grafigi**

### 3.3. Xavfni aniqlash natijalari

Tizim xavfi quyidagi mezon asosida baholandi:

$$f_{prog}(t) < f_{crit} \qquad (12)$$

Bu yerda: $f_{crit} = 49.7\ Hz$ deb qabul qilindi.

**Xavf holatlarini aniqlash**

**3-jadval**

| Holat | Prognoz chastota | Natija |
|---|---|---|
| 1 | 49.95 Hz | Xavf yo‘q |
| 2 | 49.82 Hz | Xavf yo‘q |
| 3 | 49.68 Hz | Xavf mavjud |

Natijalarga ko‘ra, chastota kritik qiymatdan pastga tushgan holatlarda tizimda xavf yuzaga kelishi aniqlandi.

**Prognoz bilan ishlaydigan ACHR himoya moduli tahlili natijalari**

**4-jadval**

| Holat | An’anaviy ACHR himoyasi | Prognozlangan ACHR himoyasi |
|---|---|---|
| Minimal chastota | 49.68 Hz | 49.84 Hz |
| Tiklanish vaqti | 18 s | 9 s |
| Kritik holatlar soni | 7 | 2 |

Olingan natijalar quyidagilarni ko‘rsatdi, LSTM modeli yuklama prognozini yuqori aniqlik bilan amalga oshirdi, chastota og‘ishlari oldindan aniqlanmoqda, quvvat nomutanosibligi chastotaga bevosita ta’sir ko‘rsatmoqda, ACHR algoritmi xavfli holatlarni kamaytirdi,tizim barqarorligi va ishonchliligi oshdi.


ISSN 3030-3907

Taklif etilgan metodologiya real vaqt rejimida energotizimni proaktiv boshqarish imkonini beradi hamda chastota barqarorligini ta’minlashda samarali vosita sifatida qo‘llanilishi mumkin.

**4. XULOSA.**

Mazkur tadqiqotda elektr energetika tizimlarida avtomatik chastota yuklamani rostlash tizimining ishga tushish xavfini yuklama prognozi asosida oldindan aniqlash masalasi kompleks tarzda o‘rganildi. Tadqiqot davomida energotizimdagi quvvat muvozanati, yuklama dinamikasi hamda chastota o‘zgarishlari o‘rtasidagi bog‘liqlik tahlil qilindi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, energotizim chastotasining barqarorligi generatsiya va iste’mol o‘rtasidagi quvvat balansiga bevosita bog‘liq bo‘lib, yuklama o‘zgarishlari chastota og‘ishining asosiy sabablaridan biri hisoblanadi.

Tadqiqot jarayonida yuklama prognozlash uchun sun’iy intellekt asosidagi LSTM modeli qo‘llanildi. Ushbu model yordamida elektr yuklamasining vaqt bo‘yicha o‘zgarishlari yuqori aniqlik bilan prognoz qilindi. Real va prognoz yuklama qiymatlari o‘rtasidagi farq kichik bo‘lib, MAE, RMSE va MAPE ko‘rsatkichlari modelning ishonchliligini tasdiqladi. Determinatsiya koeffitsientining yuqori qiymati esa model real yuklama dinamikasining asosiy qismini to‘g‘ri ifodalashini ko‘rsatdi. Bu natijalar sun’iy intellekt asosidagi prognozlash usullarining elektr energetika tizimlarida samarali qo‘llanilishi mumkinligini tasdiqlaydi.

Taklif etilgan chastota prognozi modeli yordamida prognoz qilingan yuklama va generatsiya qiymatlaridan foydalanib tizim chastotasining kelajakdagi holati oldindan baholandi. Hisoblash natijalari shuni ko‘rsatdiki, yuklama generatsiyadan oshgan holatlarda chastota pasayadi, generatsiya yuqori bo‘lgan holatlarda esa chastota ortadi. Ushbu model yordamida tizim chastotasining kritik qiymatlarga yaqinlashuvi oldindan aniqlanib, ACHR tizimining ishga tushish ehtimolini baholash imkoniyati yaratildi. Xavfni aniqlash mezonlari asosida energotizimning xavfsiz ishlash holati baholandi. Chastota kritik chegaradan pastga tushgan holatlarda tizimda xavf yuzaga kelishi aniqlanib, avtomatik boshqaruv algoritmlari orqali tizim barqarorligini tiklash imkoniyati yaratildi. ACHR algoritmining qo‘llanilishi natijasida tizim chastotasining kritik pasayishlari kamaydi, tiklanish vaqti qisqardi hamda tizimning umumiy ishonchliligi oshdi. Bu esa avtomatik boshqaruv tizimlarining energotizim xavfsizligini ta’minlashdagi muhim rolini ko‘rsatadi. Ishlab chiqilgan metodologiya elektr energetika tizimlarini proaktiv boshqarish imkonini beradi. Taklif etilgan yondashuv yordamida xavfli holatlarni oldindan aniqlash, avariyaviy o‘chishlarning oldini olish hamda elektr energiyasi ta’minoti ishonchliligini oshirish mumkin. Tadqiqot natijalari smart grid va raqamli energetika tizimlarini


ISSN 3030-3907

rivojlantirishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega bo‘lib, kelgusida real energetika obyektlarida ushbu metodologiyani sinovdan o‘tkazish va uni yanada takomillashtirish istiqbolli ilmiy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. International Energy Agency. *Energy Efficiency 2023*. – Paris: IEA, 2023.
2. International Energy Agency. *Global Energy Review 2025: Electricity*. – Paris: IEA, 2025.
3. IEEE Std 1366-2012. *IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices*. – IEEE, 2012.
4. IEC 60038. *IEC Standard Voltages*. – Geneva: IEC, 2019.
5. Китаев А.В. *Управление электрическими нагрузками*. – СПб.: Питер, 2020. – 276 с.
6. Абдуллаев А.А., Юлдашев Н.К. *Электр энергиясидан самарали фойдаланиш асослари*. – Тошкент: Фан, 2018. – 256 б.
7. Баранник В.И. *Оптимизация режимов электропотребления промышленных предприятий*. – М.: Энергоатомиздат, 2018. – 300 с.
8. Дьяков А.Ф. *Управление режимами электропотребления*. – М.: Энергоатомиздат, 2019. – 298 с.
9. Федоров А.А., Каменева В.В. *Электрические нагрузки промышленных предприятий*. – М.: Энергия, 2017. – 304 с.
10. Box G.E.P., Jenkins G.M., Reinsel G.C., Ljung G.M. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. – 5th ed. – Hoboken: Wiley, 2015. – 712 p.
11. Hippert H.S., Pedreira C.E., Souza R.C. Neural Networks for Short-Term Load Forecasting // *IEEE Transactions on Power Systems*. – 2001. – Vol.16, No.1. – P.44–55.
12. Conejo A.J., Morales J.M., Baringo L. Real-Time Demand Response Model // *IEEE Transactions on Smart Grid*. – 2010. – Vol.1, No.3. – P.236–242.
13. Gonen T. *Electric Power Distribution Engineering*. – 3rd ed. – CRC Press, 2015. – 896 p.
14. Kundur P. *Power System Stability and Control*. – McGraw-Hill, 1994. – 1176 p.
15. Anderson P.M., Fouad A.A. *Power System Control and Stability*. – IEEE Press, 2003. – 688 p.
16. Machowski J., Bialek J.W., Bumby J.R. *Power System Dynamics: Stability and Control*. – Wiley, 2008. – 744 p.
17. Bevrani H. *Robust Power System Frequency Control*. – Springer, 2009. – 300 p.
18. Liu X., Gao W., Wang Y. Frequency Stability Analysis with Renewable Integration // *IEEE Access*. – 2020. – Vol.8. – P.12345–12356.


ISSN 3030-3907

19. Milano F., Dörfler F., Hug G. Foundations and Challenges of Low-Inertia Power Systems // *Power Systems*. – 2018. – Vol.33, No.6.
20. F.A.Xoshimov, K.SH.Kadirov, X.U.Yusupalieva, K.S.Azimova. To‘qimachilik korxonalarida yillik elektr energiya iste’molining yuklama grafiklarini shakllantirish // *Proceedings of International Conference on Modern Science and Scientific Studies*. – Paris, 2024. – P.126–130.
21. Хошимов Ф.А., Юсупалиева Х.У., Қодиров И.Н. Тўқимачилик саноат корхоналарида электр энергия истеъмолини прогнозлаш усуллари // *Инновацион технологиялар*. – 2022. – №3(47). – Б.32–39.
22. F.A.Xoshimov, K.SH.Kadirov, A.P.Kushev, X.U.Yusupaliyeva. Technological process and laws of change of energy consumption parameters // *E3S Web of Conferences*. – 2024. – Vol.497.
23. К.Ш.Кадиров, Х.У.Юсупалиева. Республика электр энергетика тизимида электр энергияси истеъмолининг ҳолати // *Фан ва технологиялар тараққиёти*. – 2024. – №4. – Б.202–207.
24. Ф.А.Хошимов, К.Ш.Кадиров, Х.У.Юсупалиева. Электр таъминоти тизимининг ишончлилиги ва энергия самарадорлигини ошириш // *Международная конференция*. – Нукус, 2024. – Б.6–9.


ISSN 3030-3907

# THE ROLE OF MICROTEACHING TECHNOLOGY IN DEVELOPING PROFESSIONAL COMPETENCIES OF PRE-SERVICE TEACHERS

**Ferangiz Qodirova Himmatilla qizi**
***Uzbekistan state world languages university***
***E-mail: kodirovaFerangiz24@gmail.com***
***0009-0002-36905613***

**Abstract.** The modernization of teacher education requires innovative approaches that effectively integrate theoretical knowledge with practical teaching experience. One of the most effective methods for developing professional competencies among pre-service teachers is microteaching technology. This study investigates the role of microteaching in enhancing pedagogical, communicative, methodological, and reflective competencies of future teachers. The research employed a qualitative approach based on content analysis and review of contemporary pedagogical literature. The findings indicate that microteaching creates a supportive environment for practicing teaching skills, receiving constructive feedback, and improving professional performance. The study concludes that systematic implementation of microteaching significantly contributes to the quality of teacher preparation and professional competence development.

**Keywords:** microteaching, professional competence, teacher education, reflective practice, pedagogical skills, higher education, teaching methodology, pre-service teachers.

**Annotatsiya.** Pedagog kadrlar tayyorlash tizimida nazariy bilimlarni amaliyot bilan uyg‘unlashtirish muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Mazkur maqolada mikroo‘qitish texnologiyasining bo‘lajak pedagoglarning kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirishdagi o‘rni tahlil qilingan. Tadqiqot davomida mikroo‘qitishning metodik, kommunikativ va refleksiv kompetensiyalarni shakllantirishdagi imkoniyatlari o‘rganildi. Natijalar mikroo‘qitish texnologiyasi pedagogik mahoratni rivojlantirishning samarali vositasi ekanligini ko‘rsatdi.

**Kalit so‘zlar:** mikroo‘qitish, kasbiy kompetensiya, pedagogik mahorat, refleksiya, o‘qituvchi tayyorlash, oliy ta’lim, pedagogik texnologiya, metodik kompetensiya.

**Аннотация.** В статье рассматривается роль технологии микрообучения в развитии профессиональных компетенций будущих педагогов. Особое внимание уделяется формированию методических, коммуникативных и рефлексивных навыков в процессе подготовки учителей. Исследование основано на анализе современных научных источников и педагогической практики. Результаты показывают, что микрообучение является эффективным инструментом совершенствования профессиональной подготовки педагогических кадров.

**Ключевые слова:** микрообучение, профессиональная компетентность, педагогическое образование, рефлексия, педагогическое мастерство, высшее образование, методическая компетентность, подготовка учителей.

## INTRODUCTION.

The quality of education largely depends on the professional competencies of teachers. Contemporary educational reforms require future educators to possess not only subject knowledge but also practical teaching skills, reflective abilities, communication competence, and methodological expertise. Consequently, teacher education institutions face the challenge of preparing graduates who can effectively respond to the demands of modern educational environments.

Traditional teacher training often emphasizes theoretical instruction while providing limited opportunities for practical skill development. This imbalance may hinder the transition from theoretical understanding to effective classroom practice. Therefore, innovative pedagogical approaches that bridge theory and practice are increasingly important in teacher education.

Microteaching has emerged as a valuable instructional technology designed to improve teaching performance through structured practice and feedback. First introduced by Allen and Ryan at Stanford University, microteaching provides a simplified teaching environment in which future teachers can practice specific instructional skills within a short lesson format.

The growing importance of competency-based education has further increased interest in microteaching as a means of developing professional competencies. Through repeated practice, observation, feedback, and reflection, pre-service teachers gain confidence and improve their instructional effectiveness.

The purpose of this study is to investigate the role of microteaching technology in developing professional competencies among future teachers and to identify its contribution to effective teacher preparation.

## MATERIALS AND METHODS.

This research employed a qualitative methodology based on systematic literature review and content analysis.

**Research Design**: A descriptive-analytical approach was utilized to examine the effectiveness of microteaching technology in teacher education.

**Data Sources:** The study analyzed scientific publications indexed in Scopus, Web of Science, ERIC, and Google Scholar between 2018 and 2025. International reports and educational policy documents related to teacher professional development were also reviewed.

## RESEARCH METHODS.


ISSN 3030-3907

The following methods were applied: Content analysis, comparative analysis, literature review, synthesis of theoretical findings.

**Research Objectives:** The study aimed to:

1. Identify the pedagogical characteristics of microteaching technology.
2. Examine its role in developing professional competencies.
3. Analyze its advantages within teacher education programs.
4. Determine its contribution to improving teaching effectiveness.

**RESULTS.**

The analysis revealed that microteaching significantly contributes to the development of several professional competencies among pre-service teachers. Development of Pedagogical Competence. Microteaching enables future teachers to practice lesson planning, classroom management, questioning techniques, and instructional delivery in a controlled environment. Repeated practice improves teaching confidence and instructional quality. Development of Communicative Competence. Participants develop effective communication skills through interaction with peers and instructors. The process strengthens verbal expression, presentation skills, and classroom interaction techniques. Development of Reflective Competence. Reflection is a central component of microteaching. Participants critically evaluate their teaching performance, identify strengths and weaknesses, and make improvements based on feedback. Development of Methodological Competence. Microteaching enhances teachers' ability to select appropriate teaching methods, learning activities, and assessment strategies. It encourages experimentation with innovative pedagogical approaches.

**Table 1**

**Professional Competencies Developed Through Microteaching**

| Competency Type | Contribution of Microteaching |
|---|---|
| Pedagogical | Lesson planning and classroom management |
| Communicative | Effective interaction and presentation skills |
| Reflective | Self-evaluation and professional growth |
| Methodological | Selection of teaching strategies and techniques |
| Creative | Use of innovative instructional approaches |

**DISCUSSION.**

The findings confirm that microteaching serves as an effective bridge between theory and practice in teacher education. Consistent with previous studies, the results demonstrate that structured teaching practice enhances professional preparedness and teaching confidence. One of the major advantages of microteaching is the opportunity to receive immediate feedback. Constructive feedback allows future teachers to recognize weaknesses and implement


ISSN 3030-3907

improvements before entering real classroom environments. This process contributes to continuous professional development and reflective practice. The study also highlights the importance of integrating digital technologies into microteaching sessions. Video recording, online observation, and digital assessment tools can enhance reflection and provide more comprehensive evaluation of teaching performance.

Furthermore, microteaching supports competency-based education by focusing on measurable professional skills. Educational institutions seeking to improve teacher preparation programs should therefore consider expanding the use of microteaching within pedagogical curricula.

**CONCLUSION.**

Microteaching technology plays a significant role in developing the professional competencies of future teachers. It provides opportunities for practical skill development, reflective learning, methodological improvement, and professional growth. The findings suggest that systematic integration of microteaching into teacher education programs can enhance teaching effectiveness and contribute to higher educational quality.

The analysis revealed that microteaching contributes significantly to the development of pedagogical, communicative, methodological, reflective, and creative competencies. Through repeated cycles of planning, teaching, observation, feedback, and re-teaching, future teachers gain confidence and acquire the practical skills necessary for effective classroom instruction. Furthermore, microteaching encourages self-assessment and critical reflection, enabling student teachers to identify their strengths and weaknesses and to make informed decisions regarding their professional growth.

Another important finding is that microteaching promotes learner-centered and competency-based teaching practices. By focusing on specific teaching skills within a manageable instructional setting, pre-service teachers can gradually master classroom management techniques, questioning strategies, assessment methods, and interactive teaching approaches. This process not only enhances teaching effectiveness but also fosters professional responsibility and lifelong learning attitudes among future educators. The study also highlights the growing importance of integrating digital technologies into microteaching practices. Video-based reflection, online peer evaluation, virtual teaching simulations, and AI-supported feedback systems can further improve the effectiveness of microteaching and provide more objective opportunities for professional development. In the context of digital transformation, technology-enhanced microteaching can become a powerful instrument for preparing teachers who are capable of meeting the challenges of twenty-first-century education.


ISSN 3030-3907

Future studies should investigate the impact of technology-enhanced microteaching and empirical relationships between microteaching practices and long-term teaching performance.

## REFERENCES

1. Allen, D. W., & Ryan, K. (2019). *Microteaching*. Boston: Addison-Wesley Publishing.
2. Amobi, F. A. (2020). Preservice Teachers' Reflectivity on Teaching Actions in a Microteaching Experience. *Teacher Education Quarterly*, 47(2), 115–130.
3. Hattie, J. (2021). *Visible Learning: Feedback*. Routledge.
4. Fullan, M. (2020). *Leading in a Culture of Change*. Jossey-Bass.
5. Isaqulova Baxtigul Xo'jamovna. (2025). TA'LIM SIFATINI OSHIRISHDA KO'P TILLILIK VA TIL BILISHNING IJTIMOIY-IQTISODIY TA'SIRI . Ta'lim Innovatsiyasi Va Integratsiyasi, 47(4), 125-127. https://scientific-jl.com/tal/article/view/22655
6. OECD. (2023). *Teachers and School Leaders as Lifelong Learners*. OECD Publishing.
7. Isakulova, B. (2024). BUILDING LEADERSHIP ABILITIES THROUGH LANGUAGE LEARNING IN EDUCATION. Journal of science-innovative research in Uzbekistan, 2(12), 218-225.
8. Isakulova Bakhtigul.2025/3/14.TEACHING ENGLISH IN CONTEMPORARY APPROACHES: AN EDUCATIONAL EVOLUTION.PROSPECTS OF TEACHING ENGLISH FOR PROFESSIONAL PURPOSES IN NON–PHILOLOGICAL HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS: PROBLEMS AND SOLUTIONS,88-92
9. Darling-Hammond, L. (2021). *Preparing Teachers for Deeper Learning*. Harvard Education Press.
10. Leithwood, K., Harris, A., & Hopkins, D. (2020). Seven Strong Claims About Successful School Leadership Revisited. *School Leadership and Management*, 40(1), 5–22.


ISSN 3030-3907

# INTEGRATING AI TOOLS INTO CELTA-BASED ENGLISH LANGUAGE TEACHING: A COMPARATIVE ANALYSIS OF TRADITIONAL AND TECHNOLOGY-ENHANCED APPROACHES

**Nizomov Feruz Rakhmon o‘g‘li**
*Uzbekistan State World Languages University*
*Tel: +998 (97) 1960707*
*E-mail: beknzomov@gmail.com*
*ORCID: 0009-0003-2554-1620*

**Abstract.** This article examines the integration of artificial intelligence (AI) tools into English language teaching within the CELTA framework. It provides a comparative analysis of traditional and AI-enhanced approaches, focusing on learner engagement, communicative competence, and classroom interaction. Drawing on both theoretical insights and practical teaching experience gained during a CELTA course in the United Kingdom, the study highlights how AI can support lesson planning and learner autonomy while emphasizing the need to preserve communicative principles.

**Keywords:** artificial intelligence, CELTA, EFL, communicative approach, classroom interaction.

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada sun’iy intellekt (AI) vositalarining CELTA asosidagi ingliz tilini o‘qitish jarayoniga integratsiyasi tahlil qilinadi. Tadqiqot an’anaviy va AI bilan boyitilgan yondashuvlarni qiyoslab, ularning o‘quvchi faolligi, kommunikativ kompetensiya va dars samaradorligiga ta’sirini o‘rganadi. Natijalar AI vositalaridan muvozanatli foydalanish ta’lim sifatini oshirishini ko‘rsatadi.

**Kalit so‘zlar:** sun’iy intellekt, CELTA, EFL, qiyosiy tahlil, kommunikativ yondashuv.

**Аннотация.** В статье рассматривается интеграция инструментов искусственного интеллекта в преподавание английского языка на основе методики CELTA. Проводится сравнительный анализ традиционных и технологически обогащённых подходов с акцентом на вовлечённость учащихся, коммуникативную компетенцию и эффективность обучения. Результаты показывают, что сбалансированное использование AI повышает качество обучения.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, CELTA, EFL, сравнительный анализ, коммуникативный подход

## INTRODUCTION.

The growing role of English as a global lingua franca has significantly influenced language education systems worldwide. In response to this demand, teaching methodologies have evolved to prioritize communicative competence, learner autonomy, and practical language use. At the same time, rapid developments in artificial intelligence (AI) are reshaping educational


ISSN 3030-3907

environments, introducing new tools and possibilities for both teachers and learners.

AI technologies, including text-generating systems and automated feedback tools, are increasingly being integrated into English language teaching. These tools offer advantages such as instant feedback, personalized learning pathways, and efficient material generation. However, their integration raises important pedagogical questions, particularly in relation to established teaching frameworks.

The CELTA methodology represents one of the most widely recognized approaches to teaching English as a foreign language. It is grounded in communicative language teaching (CLT), which emphasizes interaction, real-life communication, and student-centered learning. A key principle of CELTA is the careful management of Teacher Talk Time (TTT) and Student Talk Time (STT), ensuring that learners are given maximum opportunities to actively use the language (Harmer, 2007) [1].

Based on personal teaching experience during a CELTA course in the United Kingdom, it was observed that even minor changes in classroom interaction patterns can significantly affect learner engagement.

The aim of this study is to analyze how AI tools can be integrated into CELTA-based teaching and to compare traditional and AI-enhanced approaches in terms of interaction, engagement, and communicative outcomes.

## LITERATURE REVIEW AND METHODOLOGY.

### Literature Review

The role of technology in language education has evolved from simple digital tools to complex, adaptive systems. Early Computer-Assisted Language Learning (CALL) approaches focused primarily on drills and controlled practice (Warschauer, 1996) [4], whereas modern AI-based tools are capable of simulating communication and generating contextually appropriate language.

Scholars argue that AI can significantly enhance learner autonomy by allowing students to practice language outside the classroom and receive immediate feedback (Luckin et al., 2016) [5]. However, there is also concern that excessive reliance on AI may reduce opportunities for authentic communication, which remains central to communicative competence (Richards, 2006) [3].

Communicative Language Teaching emphasizes interaction as both the means and the goal of language learning. Within the CELTA framework, this is operationalized through techniques such as pair work, group discussions, role plays, and task-based learning. These techniques are designed to maximize STT and create meaningful communicative contexts (Scrivener, 2011) [2].


ISSN 3030-3907

From a theoretical perspective, the integration of AI into this framework can be viewed as an extension of pedagogical scaffolding, where technology supports but does not replace human interaction.

**METHODOLOGY.**

This study adopts a qualitative, experience-informed comparative approach. The analysis is based on reflective teaching practice during CELTA training in the United Kingdom, classroom observations, and comparison of lesson stages with and without AI integration.

Two lesson formats were analyzed:

**1. Traditional CELTA Lesson**

Lead-in → Elicitation → Controlled Practice → Freer Practice

Focus on minimizing TTT and maximizing STT

**2. AI-Enhanced Lesson**

Use of AI tools for generating materials, prompts, and contextualized examples

Support in lesson planning and task variation

The analysis focused on interaction patterns, student participation, and fluency development.

**DISCUSSION.**

The comparison revealed several important insights. Traditional CELTA-based lessons provide structured interaction and ensure consistent student participation. During CELTA training in the UK, it was observed that reducing Teacher Talk Time led to increased learner engagement and confidence.

AI-enhanced lessons introduced greater flexibility and creativity. For instance, AI-generated role-play scenarios enabled students to engage in more realistic communicative tasks. In one observed case, learners simulated job interviews using AI-generated prompts, resulting in more extended and meaningful interaction.

However, challenges were also identified. Excessive reliance on AI sometimes increased Teacher Talk Time, particularly when explaining AI-generated materials. This contradicts CELTA principles, which emphasize student-centered learning.

Students generally perceived AI as a helpful tool, especially for vocabulary development and idea generation. Nevertheless, they continued to rely on the teacher for clarification and feedback, highlighting the irreplaceable role of human interaction.

**RESULTS.**

The findings indicate that both approaches have distinct strengths.


ISSN 3030-3907

- **Engagement:** AI-enhanced lessons increased motivation through dynamic content while fostering greater learner autonomy and facilitating more personalized, adaptive learning experiences.
- **Interaction:** Traditional lessons maintained stronger STT balance
- **Fluency:** AI-supported tasks improved learner fluency
- **Teacher Role:** Shift toward facilitator-designer model

Overall, AI proved most effective as a supplementary tool rather than a replacement for communicative teaching.

**Conclusion and Practical Recommendations**

The integration of AI into CELTA-based teaching offers significant potential but requires careful implementation. The following recommendations are proposed:

- Use AI primarily for lesson planning
- Maintain focus on Student Talk Time
- Adapt AI-generated materials
- Preserve authentic interaction
- Develop digital and pedagogical competence

A balanced approach ensures that technological innovation enhances rather than replaces effective teaching practices.

**REFERENCES**

1. Harmer, J. (2007). *How to Teach English*. Pearson.
2. Scrivener, J. (2011). *Learning Teaching*. Macmillan.
3. Richards, J. C. (2006). *Communicative Language Teaching Today*. Cambridge.
4. Warschauer, M. (1996). Computer-assisted language learning.
5. Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). *AI in Education*. Pearson.


ISSN 3030-3907

# ANDIJON SHAHRIDA YO‘LOVCHI OQIMI VA TRANSPORT SIG‘IMI O‘RTASIDAGI MUVOZANATNI TAHLIL QILISH

**Nasirov Ilxam Zakirovich**
*Andijon davlat texnika instituti Transport logistikasi kafedrasi professori*
**Yusufaliyev Bekzodbek Abdukarim o‘g‘li**
*Andijon davlat texnika instituti Transport logistikasi yo‘nalishi 2-bosqich magistranti*
*E-mail: bekzod.yusuf00@gmail.com*

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada Andijon shahri jamoat transporti tizimida yo‘lovchi oqimi va transport sig‘imi o‘rtasidagi muvozanat tahlil qilingan. Tadqiqot doirasida SHI-1 yo‘nalishining ATTO elektron to‘lov tizimi ma'lumotlari asosida yo‘lovchilarning haqiqiy ehtiyoji o‘rganildi. Tahlil natijalari "Brutto-shartnoma" doirasida yo‘naltirilgan avtobuslar sig‘imi bilan amaldagi yo‘lovchi oqimi o‘rtasidagi jiddiy tafovutlarni, shuningdek, avtobuslarning keragidan ko‘proq ekanligini ko‘rsatib berdi. Xulosa sifatida, yo‘lovchilar ehtiyojidan kelib chiqib harakat jadvallarini qayta ko‘rib chiqish va tarmoqni analitik boshqarish yuzasidan tavsiyalar ishlab chiqilgan.

**Kalit so‘zlar:** Jamoat transporti, yo‘lovchi oqimi tahlili, transport sig‘imi, Brutto-shartnoma, ATTO tranzaksiyalari, bekat, ma’lumotlar, model.

**Abstract.** This article analyzes the balance between passenger flow and transport capacity in the public transport system of Andijan city. As part of the study, the actual passenger needs of the SHI-1 route were studied based on data from the ATTO electronic payment system. The results of the analysis revealed significant discrepancies between the capacity of buses directed under the "Gross Contract" and the actual passenger flow, as well as an excess of buses. In conclusion, recommendations were developed for revising traffic schedules and analytical management of the network based on passenger needs.

**Keywords:** Public transport, passenger flow analysis, transport capacity, gross contract, ATTO transactions, station, data, model.

**Аннотация.** В данной статье анализируется баланс между пассажиропотоком и транспортной вместимостью в системе общественного транспорта города Андижана. В рамках исследования была изучена реальная потребность пассажиров на маршруте ШИ-1 на основе данных электронной платежной системы ATTO. Результаты анализа показали существенные расхождения между вместимостью автобусов, направленных в рамках "Брутто-контракта," и фактическим пассажиропотоком, а также превышение потребности в автобусах. В заключение были разработаны рекомендации по пересмотру расписаний движения и аналитическому управлению сетью с учетом потребностей пассажиров.


ISSN 3030-3907

**Ключевые слова:** Общественный транспорт, анализ пассажиропотока, транспортная вместимость, брутто-контракт, транзакции ATTO, станция, данные, модель.

**KIRISH.**

Bugungi kunda dunyoning rivojlangan hududlarida jamoat transporti tizimini boshqarishda eng asosiy muammolardan biri — bu taklif (transport vositalari soni) va talab (yo‘lovchilar oqimi) o‘rtasidagi aniq muvozanatni ta'minlash hisoblanadi. Shahar aholisining o‘sib borishi mavjud transport infratuzilmasiga bo‘lgan bosimni oshirib, yo‘nalishlarda avtobuslarning qatnov intervallari buzilishiga va xizmat ko‘rsatish sifatining pasayishiga olib kelmoqda. Jahon amaliyoti shuni ko‘rsatadiki, jamoat transporti tizimlarining qulayligi nafaqat avtobuslar sonining ko‘pligi bilan, balki ularning yo‘lovchi oqimiga qanchalik mos taqsimlangani bilan o‘lchanadi [5].

O‘zbekiston Respublikasida jamoat transportini isloh qilishning yangi bosqichi sifatida O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 16-fevraldagi PQ-59-sonli qarori [1] asosida sohani moliyalashtirishning "Brutto-shartnoma" tizimiga o‘tilishi muhim burilish yasadi. Ushbu mexanizm tashuvchilarning daromadini to‘g‘ridan-to‘g‘ri bajarilgan qatnovlar soniga bog‘ladi. Biroq, bu tizim muvaffaqiyatli ishlashi uchun harakat tarkibi sig‘imi real yo‘lovchilar ehtiyojiga qat'iy mos kelishi talab etiladi. Aks holda, yo‘nalishlarda keragidan ortiqcha bo‘sh qatnovlar yoki, aksincha, tig‘iz soatlarda yo‘lovchilar sig‘may qolishi kabi holatlar yuzaga keladi.

Andijon shahri transport tarmog‘i (xususan, SHI-1 yo‘nalishi) misolida kuzatuvlar shuni ko‘rsatmoqdaki, qog‘ozda tasdiqlangan harakat jadvallari bilan amaliyotdagi holat o‘rtasida farqlar mavjud. Avtobuslarning oraliq intervallar 10-15 daqiqagacha cho‘zilib ketmoqda. Bu esa xizmat ko‘rsatish sifatini tushirib yuboruvchi asosiy omillardan biridir [4].

**TADQIQOT METODOLOGIYASI.**

Shahar jamoat transporti tizimining samaradorligi va iqtisodiy barqarorligi yo‘lovchilarning tashishga bo‘lgan haqiqiy talabi hamda yo‘nalishga chiqarilgan transport vositalarining haqiqiy tashish qobiliyati o‘rtasidagi qat'iy muvozanatga bog‘liq. Agar ushbu muvozanat buzilsa, tizimda ikkita ziddiyatli holat yuzaga keladi:

1. Oqimning sig‘imdan yuqoriligi (Q > W): Bekatlarda yo‘lovchilarning to‘planib qolishi, avtobuslarning me'yordan ortiq to‘lishi (konfort darajasining yo‘qolishi) va natijada aholining jamoat transportidan voz kechib, shaxsiy avtomobil yoki yo‘nalishli taksilarga o‘tib ketishi.


ISSN 3030-3907

2. Sig‘imning oqimdan yuqoriligi (W > Q): Yo‘nalishda ortiqcha transport vositalarining harakatlanishi, bo‘sh qatnovlar sonining ortishi va ekspluatatsion xarajatlarning qoplanmasligi (iqtisodiy zararning o‘sishi).

Andijon shahri sharoitida (xususan tadqiq etilayotgan yo‘nalish misolida) bu muvozanatni matematik jihatdan to‘g‘ri baholash uchun quyidagi ko‘rsatkichlar kompleks tahlil qilinadi:

Yo‘lovchi oqimining xarakteristikasi va notekislik koeffitsiyentlari

Jamoat transportida yo‘lovchi oqimi (Q) doimiy emas, u vaqt va masofa bo‘ylab o‘zgaruvchan xususiyatga ega. Tizimni modellashtirishda oqimning ikkita asosiy notekisligi hisobga olinadi:

- Vaqt bo‘yicha notekislik koeffitsiyenti ($\eta_{vaqt}$): Kunning ma'lum bir soatlarida (ayniqsa 07:30–09:00 va 17:00–18:30) oqimning keskin ortishi. U quyidagicha hisoblanadi:

$$\eta_{vaqt}=\frac{Q_{max}}{Q_{o'rt}}$$

- Yo‘nalish uzunligi bo‘yicha notekislik koeffitsiyenti ($\eta_{hudud}$): Marshrutning markaziy qismlarida odam ko‘p tushib-chiqishi, chekka qismlarida esa kamayishi. U quyidagicha hisoblanadi:

$$\eta_{hudud}=\frac{Q_{max.qism}}{Q_{o'rt.qism}}$$

Hisob-kitoblarda doimo tizimning eng og‘ir nuqtasini ko‘rsatuvchi "pik soat"dagi maksimal yo‘lovchi oqimi ($Q_{max}$) asos qilib olinadi. Andijonda bu ma'lumotlar ATTO tranzaksiyalari hamda vizual sanash usullari orqali shakllantiriladi.

Harakat tarkibining tashish qobiliyati (W)

Bir soat davomida marshrutdan o‘tuvchi yo‘lovchilarni to‘liq va qulay tashish qobiliyati ($W_{soat}$) quyidagi formula asosida aniqlanadi[9]:

$$W_{soat}=\frac{60}{I}\cdot q\cdot \gamma$$

Bu formuladagi parametrlar:

- I – avtobuslar harakatlanish intervali (daqiqalarda);
- q – datchiklar yoki texnik pasport orqali tasdiqlangan avtobusning nominal sig‘imi (Andijon shahrida harakatlanuvchi Zhong Tong rusumi uchun o‘rtacha 80 kishi);
- $\gamma$ – sig‘imdan foydalanish koeffitsiyenti. Shahar sharoitida optimal konfortni ta'minlash uchun me'yoriy koeffitsiyent $\gamma$ = 0.8 (pik soatlarda maksimal
- $\gamma$ = 0.95) qilib qabul qilinadi.

Muvozanatni saqlash algoritmi va intervallarni optimallashtirish

Muvozanatning matematik sharti bitta qat'iy tengsizlikka tayanadi:

$$W_{soat} \geq Q_{max}$$


ISSN 3030-3907

Ushbu shartdan kelib chiqib, yo‘lovchilar bekatda uzoq qolib ketmasligi uchun talab etiladigan optimal interval (I) topiladi:

$$I=\frac{q\cdot\gamma\cdot 60}{Q_{max}}$$

Belgilangan optimal intervalni uzluksiz ta'minlash uchun marshrutga biriktirilishi lozim bo‘lgan avtobuslar soni (N) reysning aylanish vaqti ($t_{ayl}$) orqali topiladi:

$$N=\frac{t_{ayl}}{I}=\frac{t_{ayl}\cdot Q_{max}}{q\cdot\gamma\cdot 60}$$

Bu yerda $t_{ayl}$ – bitta avtobusning boshlang‘ich bekatdan chiqib, oxirgi bekatga borib, yana iziga qaytib kelishiga ketadigan jami vaqt bo‘lib, u quyidagicha yoyib hisoblanadi:

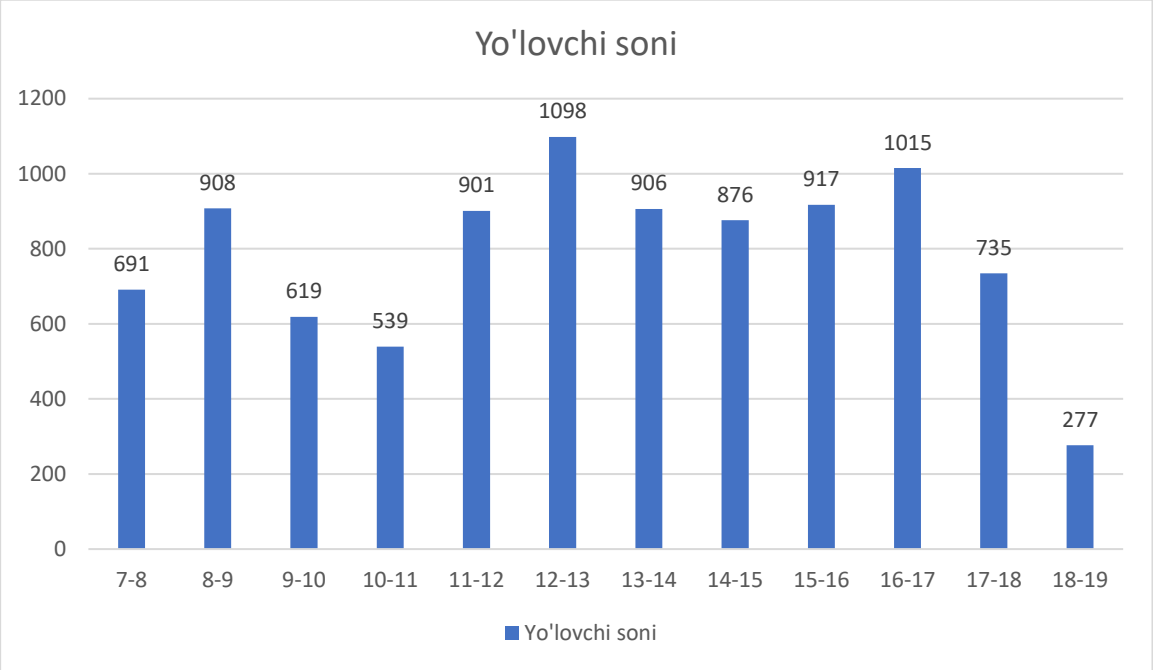
$$t_{ayl}=2\cdot t_{harakat}+t_{bekat}+t_{oxirgi}$$

(bu yerda $t_{harakat}$ – toza harakatlanish vaqti, $t_{bekat}$ – oraliq bekatlarda to‘xtab turish vaqti, $t_{oxirgi}$ – oxirgi bekatdagi dam olish va qayrilib olish vaqti).

Natijalar va tahlil. Andijon shahridagi SHI-1 yo‘nalishi misolida yo‘lovchi oqimi va harakat tarkibi sig‘imi o‘rtasidagi muvozanatni tahlil qilish jarayonida bir qator natijalar olindi. Amaldagi yo‘nalish pasportiga ko‘ra, mazkur yo‘nalishda 24 ta katta sig‘imli (80 o‘rinli) avtobuslar harakatlanishi belgilangan. Rejali jadval bo‘yicha ularning qatnov intervali 5 daqiqani tashkil etadi. Tadqiqotning metodologiya qismida keltirilgan $W_{soat}$ formulasiga ushbu ko‘rsatkichlarni (avtobus sig‘imi $q$=80 ta, sig‘imdan foydalanish koeffitsiyenti $\gamma$=0.8) qo‘yib hisoblaganimizda, yo‘nalishning 1 soatlik nazariy tashish qobiliyati jami 832 nafar yo‘lovchini tashkil etishi ma'lum bo‘ldi.

Biroq, ushbu taklif etilayotgan transport sig‘imi real talabga qanchalik mos kelishini aniqlash maqsadida Andijon viloyati transport boshqarmasining ATTO elektron to‘lov tizimi hisobotlari asosida tahlil o‘tkazildi. Tranzaksiya ma'lumotlariga ko‘ra, SHI-1 yo‘nalishida kunning eng tig‘iz ("pik") soatlarida ham o‘rtacha yo‘lovchilar oqimi ($Q_{max}$ 439 kishi/soatni tashkil etmoqda.


ISSN 3030-3907



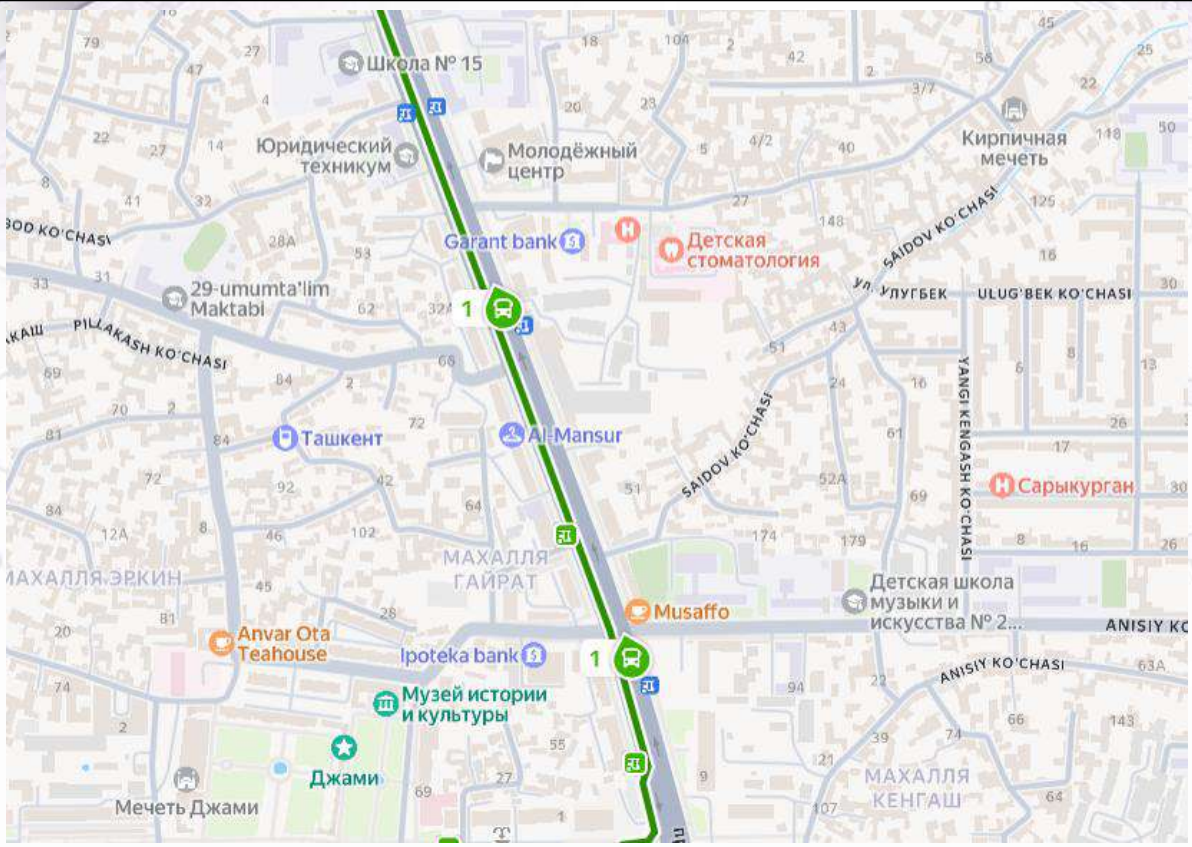

**1-rasm. Soatbay yo‘lovchilar oqimi (ATTO tranzaksiyalar ma’lumoti asosida)**

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, amaldagi harakat tarkibi sig‘imi (832 kishi) haqiqiy yo‘lovchi ehtiyojidan (439 kishi) qariyb ikki barobar yuqori. Ya'ni, "Brutto-shartnoma" asosida byudjetdan moliyalashtirilayotgan avtobuslar eng tig‘iz vaqtlarda ham o‘rtacha 50% gacha bo‘sh holatda harakatlanmoqda.

Shuningdek, Yandex Maps tizimi orqali olib borilgan amaliy kuzatuvlar avtobuslarning intervaldan chiqib ketib, bir-biriga yaqin harakatlanish muammosi mavjudligini tasdiqladi.

Garchand 24 ta avtobus 4.6 daqiqalik intervalni ta'minlashi kerak bo‘lsa-da, amaliyotda avtobuslar bir-biriga yetib olishi oqibatida yo‘nalishning ayrim qismlarida sun'iy bo‘shliqlar yuzaga kelib, haqiqiy kutish vaqti 10-15 daqiqagacha cho‘zilib ketmoqda. Bu holat tarmoqda harakat tarkibi sonining ko‘pligi interval barqarorligini kafolatlamasligini isbotlaydi.


ISSN 3030-3907




**2-rasm. Avtobuslarning intervaldan chiqib ketib bir-biriga yaqin harakatlanishi**

**XULOSA.**

Andijon shahri jamoat transporti (SHI-1 yo‘nalishi) misolida o‘tkazilgan tahlillar shuni ko‘rsatdiki, joriy etilgan "Brutto-shartnoma" tizimida harakat tarkibini taqsimlashda an'anaviy vizual yondashuvlardan voz kechish va qat'iy ravishda ATTO elektron to‘lov tizimi ma'lumotlariga tayanib muvozanat o‘rnatish lozim.

Tadqiqot natijalari bo‘yicha quyidagi yakuniy xulosalar shakllantirildi:

- Iqtisodiy nomutanosiblik: Tarmoqda yo‘lovchilar ehtiyojidan qariyb ikki barobar yuqori bo‘lgan (haqiqiy maksimal talab 439 kishi/soat, taklif etilgan sig‘im esa 832 kishi/soat) ortiqcha harakat tarkibi saqlab turilibdi. Bu holat davlat byudjeti xarajatlarining asossiz oshishiga va transport vositalarining samarasiz ekspluatatsiyasiga olib kelmoqda.

- Xizmat sifati: Xizmat ko‘rsatish sifatini pasaytiruvchi va yo‘lovchilar e'tiroziga sabab bo‘luvchi asosiy omil — avtobuslar sonining kamligi emas. Asosiy muammo tarmoqda dinamik dispetcherlik nazoratining yetishmasligi oqibatida yuzaga kelayotgan intervaldan chiqib ketish va kutishning 10-15 daqiqagacha cho‘zilib ketishidir.

**Tavsiya:** Jamoat transporti tizimi samaradorligini oshirish uchun qat'iy sonli jadvallardan moslashuvchan intervalli boshqaruvga o‘tish zarur. Shuningdek, tarmoqdagi avtobuslar sonini soatbay ATTO tranzaksiyalariga mos ravishda


ISSN 3030-3907

qisqartirish va optimallashtirish davlat moliyaviy resurslarini tejash bilan birga, yo‘lovchilar uchun ham barqaror va qulay qatnovni ta'minlaydi.

## ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining Jamoat transporti tizimini isloh qilish chora-tadbirlari to‘g‘risidagi PQ-59 son qarori // https://www.lex.uz/uz/docs/-386205?ONDATE2=16.10.2023&action=compare
2. Andijon viloyati transport boshqarmasi ma’lumotlari
3. Vuchic V.R. Urban Transit: Operations, Planning, and Economics. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2005. – 644 p
4. Daganzo, C. F. Fundamentals of Transportation and Traffic Operations. – Emerald Group Publishing, 1997
5. Nasirov.I, To‘rboyev.X JAMOAT TRANSPORTI USTUVORLIGINI TA’MINLASHNING MAQBUL TADBIRLARI // JOURNAL OF NEW CENTURY INNOVATIONS Volume–47_Issue-1_February_2024
6. Nurdinov M., G‘anijonov M., Abdupattoyev B. CARGO ON INTERNATIONAL HIGHWAYS REST AREAS FOR CARS //Theoretical aspects in the formation of pedagogical sciences. – 2022. – Т. 1. – №. 6. – S. 302-308.
7. Alijonovich N.M., Zakirovich N.I. ANDIJON SHAHRIDAGI TRANSPORT OQIMLARINING TAHLILI //PEDAGOG. – 2024. – Т. 7. – №. 2. – С. 223-230.

# IKKI BO‘G‘INLI ROBOT MANIPULYATORNI PID BOSHQARUVI ORQALI TADQIQ ETISH

**Xolmurotov Botirjon Tursinboyevich**
*Andijon davlat texnika instituti, “Intellektual boshqaruv va robototexnika” kafedrasi, dotsent, t.f.f.d.*
*E-mail: xolmurotovbotirjon@gmail.com*

**Annotatsiya.** Mazkur maqolada ikki bo‘g‘inli (2DOF) robot manipulyatorining PID boshqaruv algoritmi asosidagi dinamik ishlashi o‘rganilgan. Manipulyatorning matematik modeli Lagrange tenglamalari yordamida tuzilib, tizimning asosiy dinamik omillari hisobga olingan. Har bir bo‘g‘in uchun alohida PID boshqaruv signali qo‘llanib, parametrlarning tizim barqarorligi va harakat aniqligiga ta’siri tahlil qilingan. MATLAB muhitida o‘tkazilgan simulyatsiya natijalari bo‘g‘in burchaklari, xatolik signali va boshqaruv momentlarining vaqt bo‘yicha o‘zgarishini ko‘rsatdi. Natijalar PID boshqaruv algoritmi o‘tkinchi tebranishlarni kamaytirib, manipulyatorning qisqa vaqt ichida barqaror va aniq harakatlanishini ta’minlashini tasdiqlaydi.

**Kalit so‘zlar:** PID boshqaruvi, robot manipulyator, 2DOF model, MATLAB, barqarorlik, avtomatik boshqaruv.

**Abstract.** This paper studies the dynamic behavior of a two-link (2DOF) robotic manipulator under PID control. The mathematical model of the manipulator is developed using Lagrange equations, considering the main dynamic characteristics of the system. Independent PID control signals are applied to each joint, and the influence of controller parameters on stability and motion accuracy is analyzed. Simulation is carried out in the MATLAB environment, where joint angle trajectories, tracking errors, and control torques are examined over time. The results show that the PID control algorithm effectively reduces transient oscillations and enables the manipulator to reach a stable state within a short period. The study confirms the efficiency and practical applicability of PID control for robotic manipulator systems.

**Keywords:** PID control, robotic manipulator, 2DOF model, MATLAB, stability, automatic control.

**Аннотация.** В статье исследуется динамическая работа двухзвенного (2DOF) роботизированного манипулятора при использовании PID-управления. Математическая модель манипулятора получена на основе уравнений Лагранжа с учетом основных динамических характеристик системы. Для каждого звена применяется независимый PID-сигнал управления, а влияние параметров регулятора на устойчивость и точность движения анализируется. Моделирование выполнено в среде MATLAB, где изучены изменения углов звеньев, сигнал ошибки и управляющие моменты во времени. Результаты

показывают, что PID-управление эффективно снижает переходные колебания и обеспечивает быстрое достижение установившегося режима. Полученные выводы подтверждают практическую применимость PID-управления в робототехнических системах.

**Ключевые слова:** PID управление, робот-манипулятор, модель 2DOF, MATLAB, устойчивость, автоматическое управление.

**KIRISH.**

So‘nggi davrlarda robototexnika tizimlarida boshqaruv algoritmlarining aniqligi hamda barqarorligini ta’minlash muhim ilmiy va amaliy vazifa sifatida qaralmoqda. Ayniqsa, ko‘p bo‘g‘inli robot manipulyatorlari sanoat ishlab chiqarishi, tibbiy texnologiyalar, kosmik izlanishlar va xizmat ko‘rsatuvchi robotlarda keng qo‘llanilmoqda. Bunday tizimlarda ishonchli boshqaruvni amalga oshirish mexanik tuzilma, sensorlardan olinadigan axborotlar va aktuatorlar dinamik xususiyatlarini hisobga olishni talab etadi.

PID (Proportsional–Integral–Differensial) boshqaruv usuli klassik boshqaruv algoritmlari orasida eng keng tarqalganlaridan biri bo‘lib, uning soddaligi, barqaror ishlashi va real vaqt rejimida qo‘llash imkoniyati bilan ajralib turadi. Ushbu boshqaruv usuli manipulyator bo‘g‘inlarining berilgan trayektoriyani aniq kuzatishini ta’minlaydi, barqaror holatdagi xatoni kamaytiradi hamda tizimdagi ortiqcha tebranishlarni susaytiradi.

Ilmiy adabiyotlarda PID boshqaruvi ko‘plab mexanik tizimlarga tatbiq etilgan bo‘lsa-da, ikki bo‘g‘inli manipulyatorlarda mavjud bo‘lgan nolinear xususiyatlar sababli uning optimal sozlamalarini aniqlash masalasi to‘liq hal etilmagan. Shu bois mazkur tadqiqotda 2 erkinlik darajasiga ega manipulyator modeli asosida PID boshqaruvining dinamik samaradorligi o‘rganilib, MATLAB dasturiy muhitida olingan modellashtirish natijalari chuqur tahlil qilindi.

Tadqiqotning asosiy maqsadi — PID boshqaruv parametrlarining manipulyator tizimining barqarorligi, harakat aniqligi va xato signallariga ta’sirini baholash hamda optimal boshqaruv koeffitsiyentlarini tanlash orqali tizimning umumiy sifat ko‘rsatkichlarini yaxshilashdan iborat.

**TADQIQOT USULLARI.** 2-bo‘g‘inli manipulyatorning matematik modeli.

**Ikki bo‘g‘inli manipulyator** — harakat erkinligi darajasi ikki taga teng bo‘lgan mexanik tizim bo‘lib, u tekislikda inson qo‘lining harakatiga o‘xshash tarzda ishlaydi. Ushbu turdagi manipulyatorlar, odatda, ikki dona aylanma (rotatsion) bo‘g‘indan iborat bo‘ladi.

Tizimning dinamikasi **Lagrange tenglamasi** asosida ifodalanadi:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial V}{\partial q_i} = \tau_i, \quad i = 1,2$$

bunda:


ISSN 3030-3907

$q_1, q_2$ - bo‘g‘in burchaklari
$\dot{q}_1, \dot{q}_2$ - ularning burchak tezliklari
$T$ - kinetik energiya
$V$ - potensial energiya
$\tau_1, \tau_2$ - har bir bo‘g‘inga ta’sir etuvchi boshqaruv momentlari.
Kinetik energiya ifodasi:

$$T = \frac{1}{2}m_1(L_1\dot{q}_1)^2 + \frac{1}{2}m_2[L_1^2\dot{q}_1^2 + L_2^2(\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 + 2L_1L_2\dot{q}_1(\dot{q}_1 + \dot{q}_2)\cos q_2]$$

Potensial energiya esa:

$$V = m_1gL_1(1 - \cos q_1) + m_2g[L_1(1 - \cos q_1) + L_2(1 - \cos(q_1 + q_2))]$$

Shu bo`yicha manipulyatorning harakat tenglamalari quyidagicha yoziladi:

$$M(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q})\dot{q} + G(q) = \tau$$

bunda:
$M(q)$ - inertsiya matritsasi,
$C(q,\dot{q})$ - Koriolis va markazdan qochma kuchlar matritsasi,
$G(q)$ - tortishish kuchlari vektori,
$\tau$ - PID boshqaruv orqali hosil qilinadigan momentlar vektori.
PID boshqaruv algoritmi.
PID boshqaruv signali quyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

bu yerda:
$e(t)=q_{ref}(t)-q(t)$ - xato signali,
$K_p$, $K_i$, $K_d$ - mos ravishda proporsional, integral va differensial koeffitsiyentlar.
Mazkur tadqiqotda quyidagi qiymatlar tanlandi:

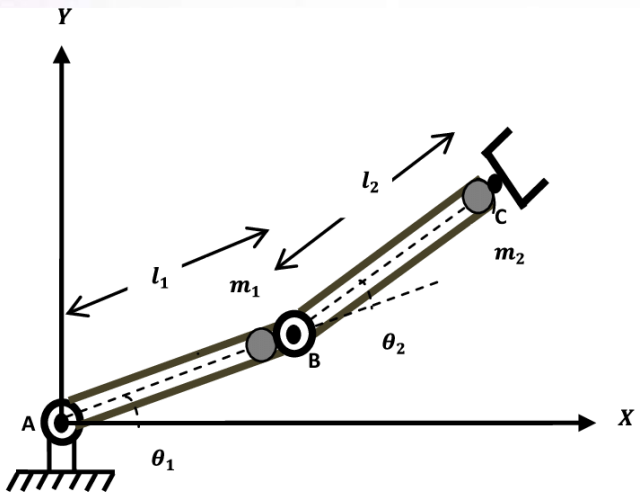
$$K_p=100,\ K_i=20,\ K_d=10$$

Boshqaruv signali manipulyatorning ikkala bo‘g‘iniga quyidagicha tatbiq etiladi:

$$\tau_1=u_1(t),\ \tau_2=u_2(t)$$

2DOF manipulyator modeli chizmasi
Quyidagi chizma ikki bo‘g‘inli manipulyatorning sxematik ko‘rinishini bildiradi:


ISSN 3030-3907




Mazkur modelda birinchi bo‘g‘in tayanch (baza) qismiga mahkamlangan bo‘lib, ikkinchi bo‘g‘in esa birinchi bo‘g‘in bilan bog‘langan. Har bir bo‘g‘in uchun mustaqil PID boshqaruv signali shakllantiriladi.

**1-Jadval**

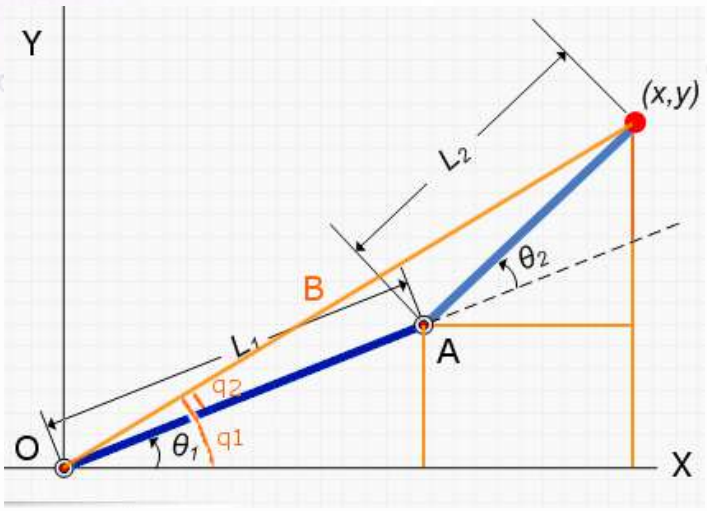
| Parametr | Belgilanish | Qiymat | O‘lchov birligi |
|---|---|---|---|
| 1-bo‘g‘in uzunligi | $L_1$ | 1 | m |
| 2-bo‘g‘in uzunligi | $L_2$ | 1 | m |
| 1-bo‘g‘in massasi | $m_1$ | 1 | kg |
| 2-bo‘g‘in massasi | $m_2$ | 1 | kg |
| Gravitatsiya | g | 9.81 | $m/s^2$ |
| PID koeffitsiyentlari | $K_p$, $K_i$, $K_d$ | 100, 20, 10 | — |

**NATIJALAR.** Simulyatsiya natijalari. Tadqiqot doirasida ikki bo‘g‘inli manipulyatorning PID boshqaruvi ostidagi harakati MATLAB dasturiy muhitida modellashtirildi. Simulyatsiya jarayoni 5 soniya davom etib, manipulyatorning har bir bo‘g‘ini uchun burchaklarning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi, boshqaruv xatolari hamda boshqaruv signallari aniqlab olindi.

Quyida keltirilgan grafiklarda modellashtirish jarayonida olingan natijalar aks ettirilgan.

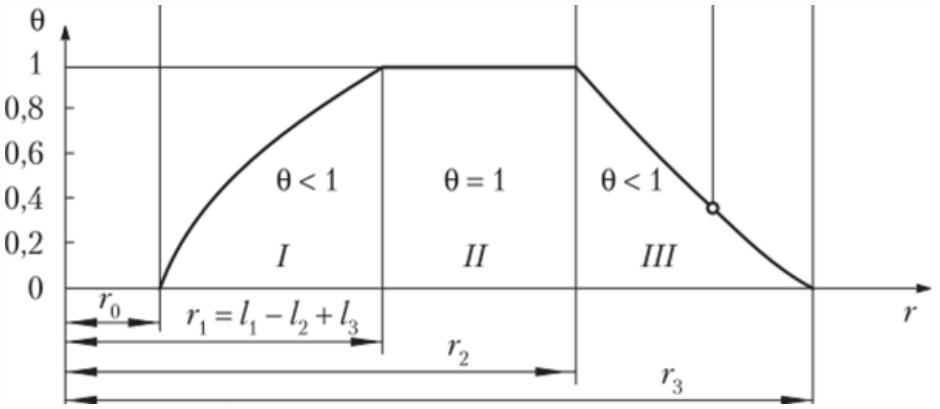
Bo‘g‘in burchaklarining vaqtga bog‘liq o‘zgarishi. $q_1(t)$ va $q_2(t)$ funksiyalari manipulyator bo‘g‘inlarining burchak harakatini ifodalaydi.


ISSN 3030-3907



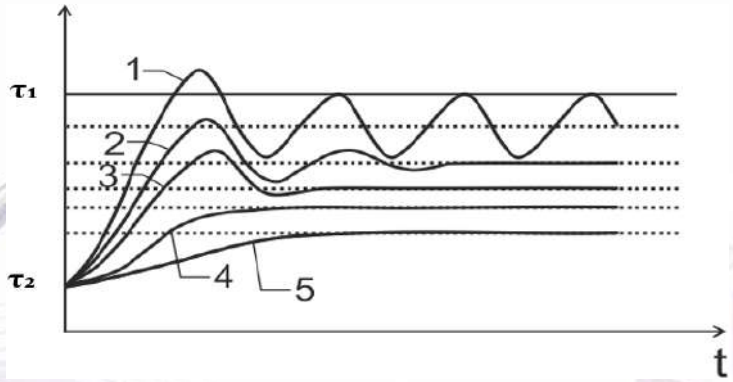

**Tahlil.** 1-bo‘g‘in ($q_1$) 0 dan 45° gacha, 2-bo‘g‘in ($q_2$) esa 0 dan 30° gacha bir tekisda harakatlanadi. 1,2–1,5 s oralig‘ida o‘tkinchi jarayon kuzatiladi, yakunida esa tizim barqarorlashadi. Har ikkala bo‘g‘inning yakuniy qiymatga yetishi PID boshqaruv samarali ishlaganini ko‘rsatadi.

**Xatolik funksiyasi (e(t)) grafigi.** Xatolik funksiyasi vaqt bo‘yicha o‘zgaradi:




**Tahlil. Dastlabki** vaqtda xatolik yuqori (taxminan 0.7 rad), biroq 2 soniya ichida 0 ga yaqinlashadi. Bu PIDning differensial (D) komponenti tebranishlarni kamaytirganini va tizimning barqarorligini ta’minlaganini anglatadi.

**Boshqaruv signali (PID chiqish) grafigi.** Har ikki bo‘g‘inga uzatilgan boshqaruv signallari ($\tau_1$, $\tau_2$) quyidagicha:





ISSN 3030-3907

**Tahlil.** Boshqaruv momenti o‘tkinchi jarayonning boshlang‘ich bosqichida yuqori qiymatga ega bo‘lib, keyinchalik asta-sekin kamayadi va barqaror holatga keladi. Bu holat manipulyator mexanik qarshiliklarini yengib o‘tish uchun zarur bo‘lgan boshlang‘ich kuch ta’sirini ifodalaydi.

**XULOSA.** Ushbu tadqiqot doirasida ikki bo‘g‘inli manipulyator uchun PID asosidagi boshqaruv tizimi ishlab chiqildi hamda MATLAB dasturiy muhitida modellashtirildi. Olingan natijalar quyidagilarni ko‘rsatadi:

- PID boshqaruv algoritmi manipulyator tizimining barqarorligi va harakat aniqligini sezilarli darajada yaxshilaydi.
- Harakat davomida yuzaga keladigan o‘tkinchi tebranishlar kamayib, ustma-ust chiqish darajasi minimal qiymatga tushdi.
- Tizim taxminan 2 soniya ichida barqaror ish holatiga o‘tdi va xato signali nolga yaqinlashdi.
- Modellashtirish orqali olingan natijalar PID boshqaruv usulining real robototexnika tizimlarida samarali qo‘llanishi mumkinligini tasdiqlaydi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. J. Park, H. Lee, “Adaptive PID control of a two-link robotic arm under external disturbances,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 141, pp. 103798, 2021.
2. A. Singh, R. Kumar, “Design and simulation of PID controller for robotic manipulator using MATLAB/Simulink,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 24562–24571, 2021.
3. Tursinboyevich, X. B., & O‘g‘li, X. M. M. (2025). MAHSULOTLARNI SAQLASH OMBORI FAOLIYATINI AVTOMATLASHTIRISHDA MOBIL ROBOTLARDAN FOYDALANISH. Al-Farg‘oniy avlodlari, 1(1), 184-186.
4. Y. Zhao, K. Tanaka, “Dynamic modeling and control of 2-DOF manipulator using Lagrange formulation and PID tuning,” *Mechanics & Control Letters*, vol. 65, pp. 39–45, 2023.


ISSN 3030-3907

# QURITISH BARABANIDA PAXTA MASSASINING HARAKATLANISH DINAMIKASINI TADQIQ ETISH

**Xolmurotov Botirjon Tursinboyevich**
*Andijon davlat texnika instituti, "Intellektual boshqaruv va robototexnika" kafedrasi, dotsent, t.f.f.d.*
*E-mail: xolmurotovbotirjon@gmail.com*

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada barabanli quritgichlarda paxta xomashyosining harakatlanish dinamikasi va unga ta'sir etuvchi kuchlar kompleks tarzda tahlil qilingan. Tadqiqot jarayonida "paxta – baraban pichog'i" tizimida yuzaga keladigan tortishish, markazdan qochma va inersial kuchlarning o'zaro ta'siri nazariy jihatdan asoslab berilgan. Paxta xomashyosining quritish barabanidagi harakat traektoriyalari, ajralish sharoitlari hamda barabanda bo'lish vaqti matematik modellar yordamida aniqlangan. Shuningdek, quritish jarayonida baraban kesimining faqat ma'lum qismi faol ishlashi va issiq havo oqimining samarali foydalanilmasligi aniqlangan.

**Kalit so'zlar:** paxta xomashyosi, barabanli quritgich, quritish jarayoni, harakat dinamikasi, markazdan qochma kuch, tortishish kuchi, paxta–baraban pichog'i tizimi, issiq havo oqimi, quritish samaradorligi, paxtaning barabanda bo'lish vaqti.

**Annotation.** This article presents a comprehensive analysis of the motion dynamics of raw cotton in rotary drum dryers and the forces acting on it. During the study, the interaction of gravitational, centrifugal, and inertial forces arising in the "cotton–drum blade" system was theoretically substantiated. The trajectories of raw cotton movement, separation conditions, and residence time inside the drying drum were determined using mathematical models. In addition, it was found that during the drying process only a certain part of the drum cross-section operates effectively, while a significant portion of the hot air flow is not used efficiently.

**Keywords:** raw cotton, rotary drum dryer, drying process, motion dynamics, centrifugal force, gravitational force, cotton–drum blade system, hot air flow, drying efficiency, residence time.

**Аннотация.** В данной статье проведён комплексный анализ динамики движения хлопка-сырца в барабанных сушильных установках и сил, воздействующих на него в процессе сушки. Теоретически обосновано взаимодействие сил тяжести, центробежных и инерционных сил, возникающих в системе «хлопок – лопасть барабана». С использованием математических моделей определены траектории движения хлопка-сырца, условия его отделения от лопастей, а также время пребывания материала в сушильном барабане. Установлено, что в процессе сушки эффективно используется лишь часть поперечного сечения барабана, в то время как значительная доля потока горячего воздуха проходит мимо хлопка-сырца.


ISSN 3030-3907

**Ключевые слова:** хлопок-сырец, барабанная сушилка, процесс сушки, динамика движения, центробежная сила, сила тяжести, система «хлопок – лопасть барабана», поток горячего воздуха, эффективность сушки, время пребывания.

**KIRISH.**

Bugungi kunda respublikamizda paxta xomashyosini quritish jarayonida qo‘l mehnatini qisqartirish, energiya va moddiy xarajatlarni kamaytirish hamda texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish bo‘yicha tizimli islohotlar amalga oshirilmoqda. Bu borada O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 7-iyuldagi PQ–308-sonli “Paxta hosildorligini oshirish, paxta yetishtirishda ilm-fan va innovatsiyalarni joriy etishga doir qo‘shimcha tashkiliy chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi qarori muhim ahamiyat kasb etadi. Mazkur qarorda belgilangan vazifalarni bajarishda yangi to‘qimachilik va yengil sanoat korxonalarini barpo etish, mavjud ishlab chiqarish quvvatlarini zamonaviy texnologik uskunalar bilan jihozlash, shuningdek, paxta tozalash korxonalarida olinadigan tolalar sifatini oshirish ustuvor yo‘nalish sifatida belgilangan. Shu jihatdan, paxta xomashyosini quritish barabanida yuzaga keladigan ichki harorat va harakat jarayonlarini o‘rganish dolzarb ilmiy-amaliy masala hisoblanadi [1].

**TADQIQOT USULLARI.** Paxta xomashyosini qayta ishlash korxonalarida quritish jarayoni asosan barabanli quritgichlar yordamida amalga oshiriladi. Ushbu qurilmalarda issiq havo bilan bevosita ta’sir natijasida paxta xomashyosi namligi kamayadi va bug‘langan namlik tashqi muhitga chiqariladi.

Paxtaning quritish barabanidagi harakatini o‘rganishda baraban konstruktsiyasi, pichoqlar tizimi, old va orqa tayanch roliklari, paxtaning barabanda qolish muddati hamda aylanish tezligini tartibga soluvchi mexanizmlardan foydalanildi.

Quritish barabanlarini loyihalash jarayonida quritish agenti bilan paxta xomashyosi o‘rtasida intensiv issiqlik va massa almashinuvini ta’minlash muhim hisoblanadi. Buning uchun materialni baraban kesimi bo‘ylab bir tekis taqsimlash, uni bo‘shatish va issiq havo bilan o‘zaro ta’sir vaqtini oshirish talab etiladi. Baraban ichki qismi pichoqlar bilan jihozlangan bo‘lib, ular aylanish jarayonida paxtani baraban hajmi bo‘ylab parallel oqim hosil qilgan holda harakatlantiradi.

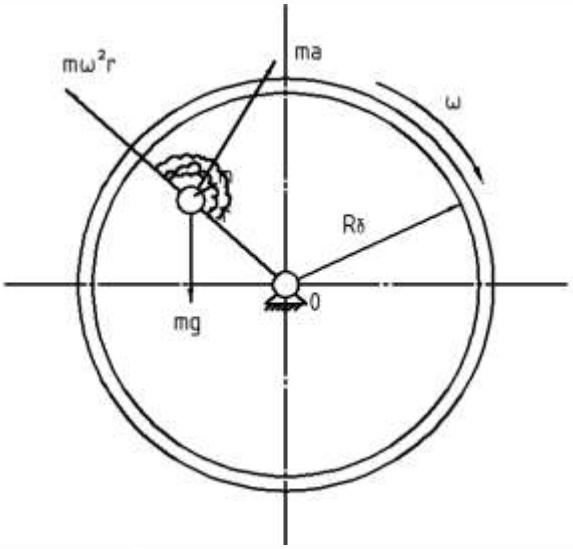
Pichoqlar tizimining asosiy vazifasi paxta xomashyosini baraban hajmi bo‘ylab bir xil taqsimlash, pichoqlarda ma’lum vaqt ushlab turish va minimal aylanish tezligida materialning pichoqdan tushishini ta’minlashdan iborat.

SBO, SBT va 2SB-10 turidagi quritish barabanlarida paxta quritish texnologiyasi qayta ishlanayotgan materialning baraban bilan nisbiy harakati jarayonida yuzaga keladigan aerodinamik ta’sir qonuniyatlariga asoslanadi. Bu


ISSN 3030-3907

jarayonda “paxta – baraban pichog‘i” tizimiga tortishish kuchi, markazdan qochma kuch hamda inersial kuchlar ta’sir ko‘rsatadi.

Baraban pichog‘ining istalgan nuqtasida joylashgan $m_k$ massali paxta bo‘laklariga turli yo‘nalishdagi kuchlar ta’sir etadi (1-rasm).




**1-rasm. Aylanadigan quritish barabanidagi moddiy nuqtaga ta'sir qiluvchi kuchlar**

Ushbu kuchlar yig‘indisi quritish barabanidagi moddiy nuqtaning harakat yo‘nalishi va xarakterini belgilaydi. Tortishish kuchi $F_t$ va markazdan qochma kuch $F_m$ ning o‘zaro nisbati Fruda mezoni yoki ajratish omili orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$\Phi = \frac{F_m}{F_t} = m_k \cdot \omega_\delta^2 \cdot \frac{r}{m_k \cdot g} = \omega_\delta^2 \cdot \frac{r}{g} \quad (1)$$

Bu yerda $\omega_\delta$ - barabanning burchak tezligi; r - moddiy nuqtadan aylanish o‘qigacha bo‘lgan radial uzunlik; $m_k$- baraban pichoqlari ustida joylashgan paxta xomashyosining og`irligi.

Moddiy nuqta og`irligi $m_k$ quritish barabanida hosil bo‘lgan tezlanish yo‘nalishi bo‘yicha nisbiy harakatga ega bo‘ladi

$$a_0 = \vec{a} + \overrightarrow{\omega_\delta^2} \cdot r + \vec{g} \quad (2)$$

Nuqtaning nisbiy harakatida hosil bo‘lgan kuch $\vec{F} = \overrightarrow{F_m} + \overrightarrow{F_1}$ qarshilik kuchini yengishda baraban bilan uning kuch ta’sirini $P_c$ aniqlaydi va birga harakatlanuvchi “paxta - baraban pichoq” tizimlarini ajratish ta’sirini tavsiflaydi. Bunday holda, quritish jarayonida tizim (nuqta) harakati uchun tenglama quyidagicha taqdim etiladi:

$$P_{g\text{в}} = F \geq P_c \quad (3)$$

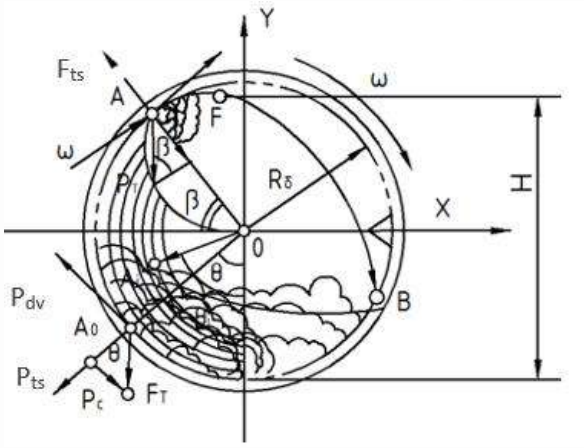
bunda $P_{g\text{в}}$ - nuqta harakati bo‘yicha yo‘naltirilgan kuch[2].

Materiallar oqimining harakati issiqlik oqim tezligiga va quritish barabanining aylanish tezligiga bog‘liq bo‘ladi. Oqim rejimiga o‘z ta’sirini


ISSN 3030-3907

ko‘rsatuvchi asosiy omillarni qo‘llab, jarayon uchun eng ma’qul bo‘lgan paxta xomashyosini issiqlik orqali ishlov berishning kerakli chegara yoki siljish rejimlariga yaqinligini olishimiz mumkin. Boshqacha qilib aytganda, barabanning aylanish tezligi oshishi orqali ko‘chkiga o‘xshash harakat rejimi boshqa bosqichga almashadi.

Issiqlik oqimi bilan birga hom paxta oqimining ko‘tarilishi baraban aylanasining chap kvadratidan yuqoridagi chap kvadratgacha sodir bo‘lishini ko‘rish mumkin. (2-rasm).




**2-rasm. Paxta xomashyosini quritish jarayonida material nuqtasining barabandagi harakati.**

Barcha ta'sir qiluvchi kuchlarni hisobga olgan holda paxta xomashyosi bilan quritish barabanining muvozanat sharoitlarini termik ta'sirsiz ko‘rib chiqamiz. Barabanning harakati paytida $P_{dv}$ qarshilik kuchini yengib o‘tadigan oqimning $A_0$ moddiy nuqtasi $P_c$ harakatlantiruvchi kuchning ta'siriga albatta bog‘liq,

$$P_{dv} = (F_m + F_t cos\theta)f = \left(m \cdot \omega_\delta^2 \cdot R_\delta + mg\ cos\theta\right)f \quad (4)$$

bu yerda,

$F_m$ - markazdan qochma kuch;

$F_t$ - tortishish kuchi;

$\theta$– quyi kvadrantdagi nuqtani balandlik burchagi;

$f$ - ishqalanish koeffitsienti;

$m_k$- paxta to‘plarining massasi;

$\omega_\delta$ – quritish barabanining burchak tezligi.

Qarshilik kuchining $P_c = mg\ sin\theta$ kattaligini bilib, o‘rniga qo‘yib tenglikni keltirib chiqarishimiz mumkin:

$$(m_k \cdot \omega_\delta^2 \cdot R_\delta + mg\theta)f = mg\ sin\theta \quad (5)$$

$$sin\theta = f \cdot \omega_\delta^2 \cdot R_\delta + \sqrt{g^2(1+f^2) - f^2} \cdot \omega_\delta^2\ \cdot {R_\delta}^2/g(1 + f^2 \quad (6)$$

Barabanni gorizontal diametridan $(\theta = \beta + \frac{\pi}{2})$ yuqoriga ko‘tarilganda, $A$ nuqtaning holati $\beta$ burchak orqali tavsiflanadi.


ISSN 3030-3907

Nuqtaga markaz tomon yo‘naltirilgan tortishish komponenti $mg \cdot sin\beta$ ga teng va markazdan yo‘naltirilgan markazdan qochma kuch $m_k \cdot \omega_\delta^2 \cdot R_\delta$ ta'sir qiladi. Agar $\beta$ burchak shunday bo‘lsa $mg \cdot sin\beta = m_k \cdot \omega_\delta^2 \cdot R_\delta$ ya'ni, $sin\beta = \omega_\delta^2 - \cdot \frac{R_\delta}{g} = \phi$, keyin $A$ nuqta barabanning pastki qismiga, parabolik traektoriya bo‘ylab, gorizont burchak ostida $\beta = \frac{\pi}{2} \cdot \theta$ tezlikda $\vartheta = \omega_\delta \cdot R_\delta$ erkin og‘ir jism kabi tushadi. Bunday holda $\beta$ burchak $\omega_\delta = 0$ (baraban harakatsiz) va $f = tg\varphi$ bo`yicha ajratish burchagi deb ataymiz, bunda $\varphi$ - ishqalanish burchagi. (2.50) tenglamadan:

$$sin\theta = \frac{f}{\sqrt{1 + tg^2\varphi}} = tg\varphi \cdot cos\varphi = sin\varphi \tag{7}$$

Pastga oqim paxta xomashyosining baraban pichog‘idan barabanning pastki qismiga tushishi bilan tavsiflanadi. Bo‘lakning $A$ nuqtasining traektoriyasi bu holda $AFB$ egri chizig‘ini ifodalaydi ($AF$ - ko‘tarilish, $FB$ - pasayish). $AG$ chizig`ning balandlik qiymati $y_1$ jism harakati tenglamasidan aniqlanishi mumkin:

$$\frac{dy}{d\tau} = \omega_y - \int_0^{\tau_1} g \cdot d\tau = \omega_y - g \cdot d\tau_1; \qquad \tau_1 = \frac{\omega_y}{g}, \tag{8}$$

ammo

$$\omega_y = \omega \cdot cos\beta = \pi \cdot n_\delta \cdot D_\delta cos\beta,$$

Shu nuqtayi nazardan tushish vaqti:

$$\tau_1 = \pi \cdot n_\delta \cdot D_\delta \frac{cos\beta}{g}, \tag{9}$$

Bu yerda: $D_\delta, n_\delta$ - quritish barabanining diametri va aylanish tezligi. Ushbu tenglamani hisobga olib, $y_1$ ni topamiz:

$$y_1 = \frac{(\pi \cdot n_\delta \cdot D_\delta cos\beta)^2}{2g}. \tag{10}$$

Paxta bo‘laklarini baraban pichog‘idan ajratish tortishish komponenti markazdan qochma kuch bilan muvozanatlangan holda sodir bo‘ladi, ya'ni,

$$F_T \cdot sin\beta = F_T \cdot (2\pi \cdot n_\delta)^2 \cdot \frac{D_\delta}{2g}. \tag{11}$$

Ushbu (2.54) tenglamani hisobga olgan holda, (2.56) tenglik quyidagi ko‘rinishga keladi:

$$y_1 = 0.25 \cdot D_\delta \cdot cos^2\beta \cdot sin^2\beta \tag{12}$$

$H$ nuqtaning tushishdagi balandligi eng yuqori darajaga yetgan burchak $\beta$ va $n_\delta$ qiymatlarini topish uchun kordinatalar boshini ($A$) ajratish nuqtasiga joylashtiramiz.

Paxta xomashyosining baraban pichog‘idan tushishining umumiy balandligi quyidagilarga teng bo‘ladi:

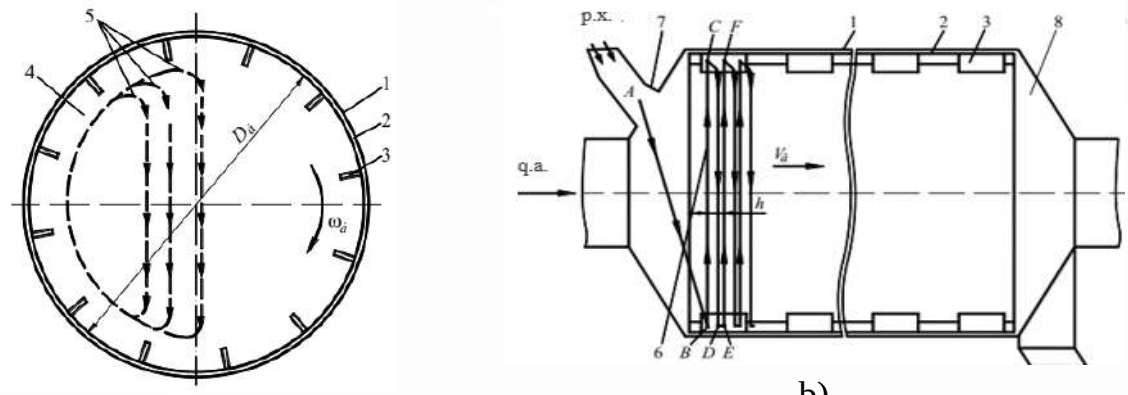

ISSN 3030-3907

$$H = 0.25 \cdot D_\delta \cdot sin\beta \cdot cos^2\beta + 2D_\delta \cdot sin\beta \cdot cos^2\beta \quad (13)$$

$H$ qiymati shart bo`yicha maksimal darajaga etadi

$$\frac{dH}{d\beta} = 0, \quad tg\beta = 0.5, \quad \beta = 35°20'$$

Paxta xomashyosining baraban kamerasida harakatlanish traektoriyasining eng xarakterli bo‘limlarini ko‘rib chiqamiz. 3.a-rasmda paxta xomashyosining pichoqlardan taxminiy tushish traektoriyalari ko‘rsatilgan. Pichoqlarning egilish burchagi kritik qiymatga - ishqalanish burchagiga yetganda paxta tusha boshlaydi. Pichoq vertikal holatda bo‘lganda barcha paxta xomashyosi pastga tashlanadi, paxta xomashyosining pichoqlar bilan ko‘tarilishi barabanning yarmidan ko‘p bo‘lmagan aylanishiga to‘g‘ri keladi.




a) b)

1 - quritgichning korpusi, 2 - barabanning qobig‘i, 3 - pichoqlar, 4 – qobig‘dagi paxta xomashyosining qatlami va pichoqlar, 5 – paxtaning pichoqlardan tushishdagi trektoriyasi, 6 –paxtaning barabanni o‘qi bo‘ylab harakatlanish trektoriyasi, 7 – quritgich kamerasini ichki qismiga quritilmagan paxtani to`kish jihozi, 8 - chiqarish moslamasi.

**3-rasm. Quritgichning ko‘ndalang (a) va bo‘ylama (b) qismlari**

3.b-rasmda ko‘rsatilgan: AB – paxta xomashyosini yuklashda traektoriya kesimi, BC – barabanning pichoqlari va qobig‘ida paxta xomashyosini ko‘tarish, CD - paxta xomashyosi bo‘laklari tushganda traektoriyaning kesimi va keyin tsikl takrorlanadi[3].

Barabanning tepa qismidan paxta xomashyosi tushganda unga $V_v$ tezlikda harakatlanuvchi va to‘g‘ridan-to‘g‘ri oqim bilan kiruvchi issiq havo oqimi qo‘shimcha tarzda beriladi. Paxta xomashyosi bo`laklari havo ta'sirida bir siklda ektsenel yo‘nalishda $h$ qiymatiga siljiydi. $V_v$ havo tezligiga $h$ qiymati bog‘liq hisoblanib, shuningdek, boshqariladigan miqdor bo‘lishi mumkin. $h$ miqdorini o‘zgartirish orqali baraban ichida paxta xomashyosini qolish muddati tartibi amalga oshiriladi. Bu barabanli quritgichlarni effektivligini tavsiflovchi eng asosiy omillardan biri hisoblanadi.


ISSN 3030-3907

**NATIJALARI.** Barcha ta'sir etuvchi kuchlarni inobatga olgan holda quritish barabanida paxta xomashyosining muvozanat sharoitlari (termik ta'sirsiz) tahlil qilindi. Paxta xomashyosi bo'laklarining harakat traektoriyasini o'rganish shuni ko'rsatdiki, barabanning faqat chap yarmi faol ishtirok etadi, o'ng qismi esa deyarli ishlamaydi. Natijada issiq havoning katta qismi paxtaga yetib bormasdan o'tib ketadi, bu esa quritgich samaradorligini pasaytiradi [4].

Barabanli quritgich ichidagi paxta xomashyosi harakatining aylanish vaqti va baraban aylanishining kinematik qiymatlari o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlaymiz[3].

Quyidagi formulalardan foydalanib tadqiqotchilar X.I.Ibragimov va X.A.Ismatovlar tomonidan olingan natijalar asosida biz 2SB10 quritish barabanida paxta homashyosini turish vaqtini quyidagicha aniqladik.

Sikl vaqti ushbu tenglik orqali aniqlanadi

$$T_{ц} = t_1 + t_2\,, \tag{14}$$

bu yerda $t_1$ - quritish barabanining yarim aylanish vaqti (baraban tubiga paxta xomashyosining tushishidan to to'kish nuqtasiga ko'tarilishgacha bo'lgan vaqt);
$t_2$ - paxta xomashyosining erkin tushish vaqti.

Agar shunday deb taxmin qilsak

$$t_1 = \frac{60}{2n}, \qquad t_2 = \sqrt{\frac{2h}{g}}\,,$$

bunda $n$ - quritish barabanining tezligi, min; $g$ – tortishish kuchi tezligi,
$h$ - pichoqlardan tushayotgan paxta xomashyosining balandligi, m;

Keyin

$$T_{ц} = \frac{60}{2n} + \sqrt{\frac{2h}{g}}\,, \tag{15}$$

Agar quritgich ichida paxta xomashyosining turish vaqti $T_0$ ma'lum bo'lsa, u holda tsikllar soni

$$Z = \frac{T_0}{T_{ц}}, \tag{16}$$

bo'ladi.

Agar quritgichning texnologik uzunligi $L_0$ ma'lum bo'lsa, paxta xomashyosining bir tsikldagi harakat miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$h_1 = \frac{L_0}{Z} = \frac{T_{ц} L_0}{T_0} = \frac{L_0\left(\frac{60}{2n} + \sqrt{\frac{2h}{g}}\,,\right)}{T_0}, \tag{17}$$

Masalan, agar $n=10min^{-1}$, $h=3{,}2$ m, $T_0=9min$, $L_0=10m$, bo`lsa u holda


ISSN 3030-3907

$$h_1 = \frac{10000}{Z} = \frac{10000}{T_0/T_ц} = 70mm\,, \quad (18)$$

Shundan paxta xomashyosining turish vaqti $T_0 = \frac{T_ц L_0}{h_1} = 536$ soniya ekanligi isbotlandi.

**XULOSALAR.** O‘tkazilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi xulosalarga kelindi: Amaldagi barabanli quritgichlarda texnologik hajm va issiq havo resurslarining qariyb 40 foizi samarali ishlatilmaydi. Issiq havoning katta qismi paxta xomashyosini chetlab o‘tadi, bu esa quritish jarayonining texnik-iqtisodiy samaradorligini pasaytiradi. Quritgich samaradorligini oshirish uchun baraban kamerasining texnologik hajmini optimallashtirish va issiq havoni bevosita paxta tushish zonasiga yo‘naltirish zarur. Baraban pichoqlari shaklini takomillashtirish quritish agentidan yanada to‘liq foydalanish imkonini beradi. Paxta xomashyosining quritish barabanida optimal bo‘lish vaqti **taxminan 9 daqiqa** ekanligi aniqlandi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Xolmurotov B.T. Paxta quritish barabanidagi yong`in chiqishini oldini olish mexatronik tizimini ishlab chiqish va mobil ilova yaratish: Dissertatsiya –Andijon, 2023.- 127b.
2. И.А.Исматов Совершенствование конструкции подъёмно-лопастных систем барабанной хлопкосушилки для повышения влагоотбора, качества волокна и семян. Диссертация. Республики Таджикистан, Душанбе-2019г.
3. A.Parpiev, M.Axmatov, A.Usmonqulov “Paxta hom-ashyosini quritish” darslik. Cho`lpon nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi. Toshkent 2009y.
4. X. Mansurov “Avtomatika va paxtani dastlabki ishlash jarayonlarini avtomatlashtirish” Toshkent “O`zbekiston” 1996y.
5. Банников Г.В. Определение параметров барабанных хлопковых сушилок /Г.В. Банников // Хлопковая промышленность. – № 1. – 1963. – С.12–16.


ISSN 3030-3907

# PARA-[BIS-1,4-(4,4,4-TRIFTORBUTANDION-1,3)]-BENZOL MOLEKULASINING XIRSHFELD YUZA TAHLILI

**Xudoyarova E.A.**
***Buxoro davlat universiteti, k.f.f.d., dots.***
**Hamroyeva S.Sh.**
***Buxoro davlat universiteti, 1-bosqich magistranti***

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada *para*-[*bis*-1,4-(4,4,4-triftorbutandion-1,3)]-benzol molekulasining kristall tuzilishidagi molekulalararo kuchsiz o‘zaro ta’sirlar Xirshfeld yuza tahlili hamda ikki o‘lchamli barmoq izlari grafiklari yordamida miqdoriy jihatdan o‘rganildi. Molekulyar yuzadagi $d_{norm}$, elektrostatik potensial va og‘ish indeksi parametrlari tahlil qilinib, kristall panjarani barqarorlashtiruvchi asosiy kontaktlar aniqlandi. Tahlillar natijasiga ko‘ra, strukturada ftor atomlari ishtirokidagi F···H, H···F va F···F kontaktlari, shuningdek, π-π ta’sirlar hamda O···H, H···O atomlarining vodorod bog‘lanishlari eng ko`p hissa egallashi ko‘rsatib berildi.

**Kalit so‘zlar:** Xirshfeld yuzasi, barmoq izlari diagrammasi, ftorli organik birikmalar, molekulalararo ta’sirlar, $d_{norm}$.

**Аннотация.** В данной статье методом анализа поверхностей Хиршфельда и двумерных диаграмм «отпечатков пальцев» качественно и количественно исследованы слабые межмолекулярные взаимодействия в кристаллической структуре молекулы пара-[бис-1,4-(4,4,4-трифторбутандион-1,3)]-бензола. На основе анализа параметров $d_{norm}$, электростатического потенциала и индекса кривизны на молекулярной поверхности были определены ключевые контакты, стабилизирующие кристаллическую решетку. Результаты анализа показали, что наибольший вклад в структуру вносят контакты с участием атомов фтора F···H, H···F и F···F, а также π-π взаимодействия и водородные связи атомов O···H, H···O.

**Ключевые слова:** поверхность Хиршфельда, диаграмма отпечатков пальцев, фторорганические соединения, межмолекулярные взаимодействия, $d_{norm}$ .

**Abstract.** In this paper, weak intermolecular interactions in the crystal structure of the para-[bis-1,4-(4,4,4-trifluorobutandione-1,3)]-benzene molecule were quantitatively investigated using Hirshfeld surface analysis and two-dimensional fingerprint plots. By analyzing the $d_{norm}$, electrostatic potential, and shape index parameters on the molecular surface, the primary contacts stabilizing the crystal lattice were identified. The analysis results revealed that the F···H, H···F and F···F contacts involving fluorine atoms, as well as π-π interactions and O···H, H···O hydrogen bonds, contribute the most to the structure.

**Keywords:** Hirshfeld surface, fingerprint plot, fluorinated organic compounds, intermolecular interactions, $d_{norm}$.

**KIRISH.**

Zamonaviy kristallokimyo va materialshunoslikda molekulyar kristallarning xossalarini tushunish uchun ularning kristal panjarasidagi molekulalararo o‘zaro ta’sirlarni mukammal tahlil qilish talab etiladi. Ftor atomi saqlovchi β-diketonlar va ularning hosilalari o‘zining noyob lyuminessent, katalitik va biologik xossalari tufayli katta qiziqish uyg‘otib kelmoqda. Jahonda olib borilgan ilmiy tadqiqotlarda ko‘pincha β-diketonlar sintezi, tuzilishi va xossalari keng yoritilgan, ammo bis-β-diketonlar haqida ma'lumotlar ko`p emas.

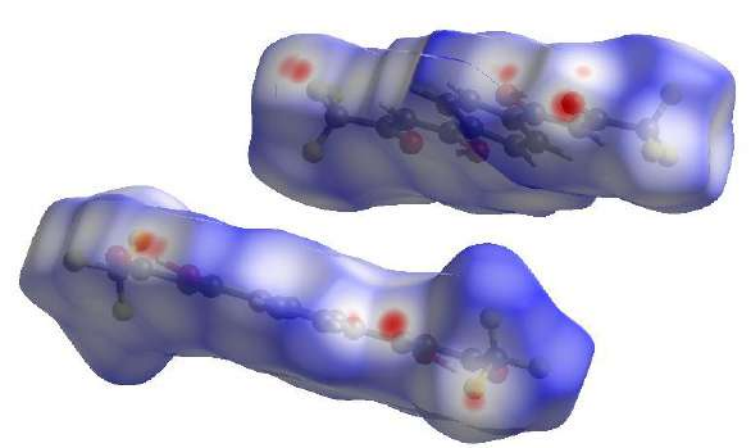
*Para*-[*bis*-1,4-(4,4,4-triftorbutandion-1,3)]-benzol molekulasi o‘z tarkibida kuchli elektromanfiy triftormetil (-$CF_3$) guruhlari va konyugatsiyalangan benzol halqasini saqlaganligi sababli, uning kristall tuzilishida o‘ziga xos molekulalararo ta'sirlar yuzaga keladi. Kristallografik ma’lumotlarni an’anaviy usullar bilan tahlil qilish koordinatsion sferadagi barcha kuchsiz ta’sirlarni to‘liq qamrab ololmaydi. Shu bois, ushbu tadqiqotda molekulalararo ta'sirlarni vizuallashtirish va miqdoriy baholash uchun zamonaviy kvant-kimyoviy va kristallokimyoviy yondashuv — Xirshfeld yuza tahlili usulidan foydalanildi.

*Para*-[*bis*-1,4-(4,4,4-triftorbutandion-1,3)]-benzol birikmasining rentgenstrukturaviy tahlil ma’lumotlari asos qilib olindi. Xirshfeld yuzalarini hisoblash va 2D barmoq izlari grafiklarini qurish CrystalExplorer 21.5 dasturiy ta’minoti yordamida amalga oshirildi. Xirshfeld yuzasidagi bog‘lanish masofasi ($d_{norm}$) quyidagi formula yordamida aniqlandi:

$$d_{norm} = \frac{d_i - r_i^{vdW}}{r_i^{vdW}} + \frac{d_e - r_e^{vdW}}{r_e^{vdW}}$$

Bu yerda $d_i$ — yuzadan eng yaqin ichki atomgacha bo‘lgan masofa, $d_e$ — yuzadan eng yaqin tashqi atomgacha bo‘lgan masofa, $r^{vdW}$esa mos ravishda atomlarning van-der-Vaals radiuslaridir. $d_{norm}$ va Elektrostatik Potensial (ESP) yuzalari tahlili natijalariga ko`ra, *para*-[*bis*-1,4-(4,4,4-triftorbutandion-1,3)]-benzol molekulasi uchun hisoblangan $d_{norm}$yuzasida qizil, oq va ko‘k rangli sohalar yaqqol namoyon bo‘ladi. Qizil dog‘lar: Van-der-Vaals radiuslari yig‘indisidan qisqa bo‘lgan kuchli molekulalararo kontaktlarni (asosan $O \cdots H - C$ va $F \cdots H - C$ vodorod bog‘lari) anglatadi. Triftormetil guruhidagi ftor atomlari va karbonil guruhidagi kislorod atomlari atrofida intensiv qizil sohalar kuzatildi. Oq sohalar: Van-der-Vaals ta’sirlariga mos keladigan masofalarni ko‘rsatadi. Ko‘k sohalar: Hech qanday yaqin ta’sirga ega bo‘lmagan bo‘shliqlarni ifodalaydi.


ISSN 3030-3907



**1-rasm. *Para*-[*bis*-1,4-(4,4,4-triftorbutandion-1,3)]-benzol molekulasining dnorm bo‘yicha Xirshfeld yuza tasvirida qizil, oq va ko‘k sohalar.**

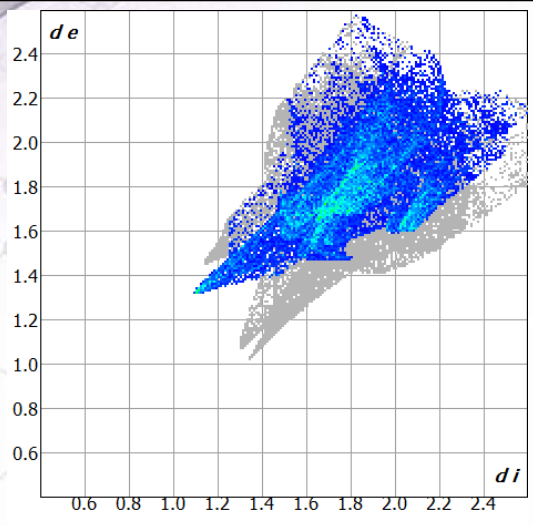
Shakl indeksi tahlili molekulalararo $\pi \cdots \pi$ ta’sirlarni aniqlash imkonini berdi. Benzol halqasi yuzasida ketma-ket joylashgan qizil va ko‘k uchburchaklar kompleksi molekulalarning bir-biri bilan parallel ravishda "bosh-ketma-ket" tartibida joylashganini va aromatik halqalar o‘rtasida π-tizimlar o‘zaro ta’sirda ekanligini tasdiqlaydi. Ikki o‘lchamli barmoq izlari (2D Fingerprint) diagrammasi molekulalararo barcha kontaktlarning umumiy ulushi 2D fingerprint diagrammalari orqali miqdoriy tahlil qilindi (1-jadval).

**1-jadval**

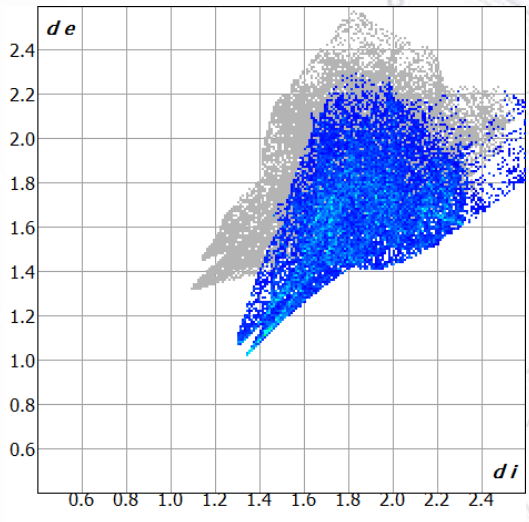
| **Kontakt turi** | **Ulush (%)** |
|---|---|
| F···All | 43.7 |
| H···All | 33.3 |
| O···All | 14.8 |
| C···All | 8.3 |
| H···H | 4.0 |

Diagrammada $d_i$ va $d_e$ masofalarining taqsimoti kristallda ftor atomlari ishtirokidagi kontaktlarning dominant ekanligini ko‘rsatdi (43.7%). Bu holat kuchli elektromanfiy $CF_3$ guruhlarining molekulalararo ta’sirlardagi yetakchi roliga mos keladi.

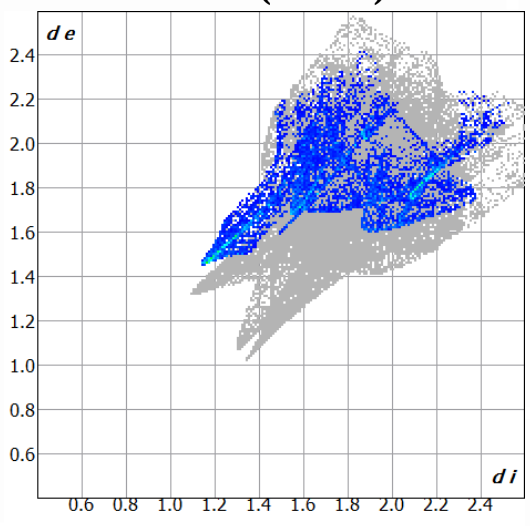

ISSN 3030-3907



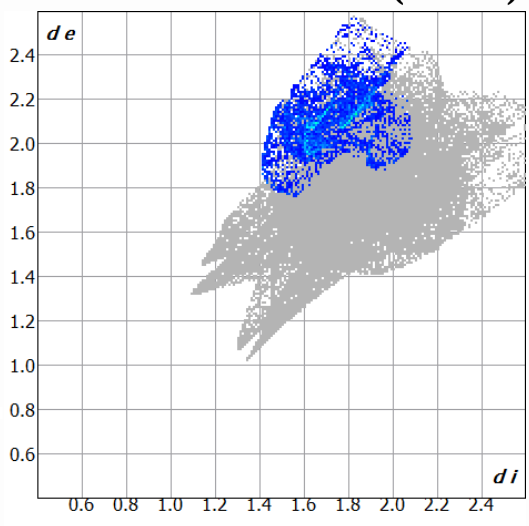

**2-rasm. F···All (43.7%)**



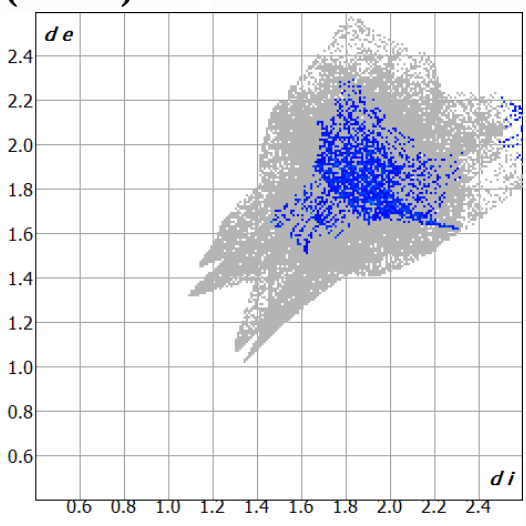

**3-rasm. H···All (33.3%)**




**4-rasm. O···All (14.8%)**




**5-rasm. C···All (8.3%)**




**6-rasm. 2D barmoq izlari diagrammasi: H···H kontaktlari (4.0%).**

**Molekulalararo energetik ta'sirlar 2-jadvalda keltirilgan.**


ISSN 3030-3907

**2-jadval.**

**CrystalExplorer orqali hisoblangan molekulalararo energetik ta’sir parametrlari (kJ/mol birligida) keltirilgan.**

| № | Symop | R (Å) | Electron Density | $E_{ele}$ | $E_{pol}$ | $E_{dis}$ | $E_{rep}$ | $E_{tot}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | x, y, z | 5.27 | HF/3-21G | -3.9 | -1.9 | -57.7 | 14.0 | -45.9 |
| 1 | – | 7.76 | HF/3-21G | -0.6 | -1.2 | -24.9 | 3.3 | -21.1 |
| 2 | – | 9.86 | HF/3-21G | -15.2 | -3.8 | -14.4 | 7.2 | -25.1 |
| 3 | – | 10.76 | HF/3-21G | -17.2 | -3.3 | -18.4 | 8.5 | -29.2 |
| 4 | – | 11.18 | HF/3-21G | -1.5 | -0.4 | -7.7 | 2.1 | -7.0 |
| 5 | – | 11.18 | HF/3-21G | -3.7 | -0.7 | -7.1 | 1.2 | -9.6 |

Jadvalda keltirilgan ma’lumotlardan ko‘rinib turibdiki, eng kuchli ta’sir ($E_{tot}$ = −45.9 kJ/mol) x, y, z simmetriya operatsiyasi bilan bog‘liq bo‘lib, dispersiya energiyasi ($E_{dis}$ = −57.7 kJ/mol) asosiy hissani tashkil etadi. Bu π–π ta’sirlar kuchli dispersiya xarakteriga ega ekanligini tasdiqlaydi.

*Para*-[*bis*-1,4-(4,4,4-triftorbutandion-1,3)]-benzol molekulasining Xirshfeld yuza tahlili kristall panjaradagi molekulalararo o‘zaro ta’sirlarni to‘liq miqdoriy baholash imkonini berdi.

Tahlil natijalariga ko‘ra, *F···H/H···F* kontaktlari (43.7%) eng dominant o‘zaro ta’sir hisoblanib, bu triftormetil guruhlarining yuqori elektromanfiylik xarakteridan dalolat beradi. Sirt shakli indeksi tahlilida benzol halqalarining parallel ravishda "bosh-ketma-ket" joylashishi *π–π* stacking o‘zaro ta’sirlari mavjudligini tasdiqladi. Karbonil guruhlarining proton-akseptorlik xususiyati tufayli *O···H/H···O* vodorod bog‘lanishlari (14.8%) namoyon bo‘ldi.

Molekulalararo energiya tahlili dispersiya kuchlarining (*Edis*=−57.7 kJ/mol) elektrostatik kuchlarga nisbatan ustunligini ko‘rsatdi; bu holat *π*-konjugatsiyalangan ftororganik tizimlar uchun xarakterlidir. Olingan natijalar ushbu turdagi birikmalarning kristall muhandisligida barqaror supramolekulyar arxitekturalarni loyihalashda istiqbolli materiallar sifatida qo‘llanilishi mumkinligini isbotlaydi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Турсунов М.А. Умаров Б.Б., Худоярова Э.А. Таутомерия в ряду бензоилгидразонов этилового эфира 2,4-диоксопентановой кислоты // “O`zbekistonda analitik kimyoning rivojlanishi istiqbollari” Respublika ilmiy-amaliy anjumani Toshkent-2018. 102-105 betlar.
2. Xudoyarova E.A., Abduraxmonov S.F., Umarov B.B. Para-[bis-1,4-(4,4,4-triftorbutandion-1,3)]-benzolning sintezi va spektral tadqiqotlari // Fan va texnologiyalar taraqqiyoti.- BuxMTI.- 2022.- №3. -92-99- betlar


ISSN 3030-3907

3. Худоярова Э. А., Абдурахмонов С. Ф., Умаров Б. Б. Синтез пара-[ди-1,4-(4,4,4-трифторбутандион-1, 3)]-бензола и его спектроскопическое исследование // Universum: химия и биология.- 2023.- №8-1 (110).- С. 54-57.
4. Xudoyarova E.A., Abduraxmonov S.F., Umarov B.B. Para- [bis-1,4-(4,4,4-triftorbutandion-1,3)]-benzolning sintezi va tuzilishi // “Kompleks birikmalar kimyosi va analitik kimyoning dolzarb muammolari” Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi materiallari to‘plami 2-qism. Termiz-2022. 20-22- betlar
5. Xudoyarova E.A., Abduraxmonov S.F., Umarov B.B. Chiziqli tetrakarbonil birikma sintezi va tuzilishi // “Zamonaviy kimyoning dolzarb muammolari” Respublika miqyosidagi xorijiy olimlar ishtirokidagi onlayn ilmiy-amaliy anjuman materiallari.- Buxoro.- BuxDU.- 2020-yil 4-5-dekabr, 357-359 b.
6. Худоярова Э.А., Абдурахмонов С.Ф., Умаров Б.Б. Синтез строение бензоилгидразонов тетракарбонилное соединение // “Замонавий кимёнинг долзарб муаммолари” Республика миқёсидаги хорижий олимлар иштирокидаги онлайн илмий-амалий анжуман материаллари.- Бухоро.- БухДУ.- 2020 йил 4-5 декабрь, 359-361 бетлар


ISSN 3030-3907

# THE IMPORTANCE OF THE ADSORPTION PROCESS IN THE VITAL ACTIVITY OF THE BODY AND TREATMENT METHODS

**Sirojova Guldona**
***Students of Samarkand State Medical University***
**Amonov Obid**
***Students of Samarkand State Medical University***
**Muhammadiyev Abbos**
***Students of Samarkand State Medical University***
**G‘ulomxo‘jayeva Madina**
***Students of Samarkand State Medical University***
**Dilafruz Mansurova**
***Assistant Professor at Samarkand State Medical University***

**Annotation.** Adsorption is a physico—chemical process of absorption of substances by the surface of solids or liquids. It plays an important role in the vital activity of the body, participating in metabolism, protection from toxins and regulation of biochemical processes. For example, in the gastrointestinal tract, adsorption promotes the binding and elimination of harmful substances. In medicine, adsorption is widely used in treatment methods. Adsorbents such as activated carbon are used to absorb poisons, toxins, and gases from poisoning and diseases of the digestive system. Adsorption methods are also used in hemosorption and enterosorption to purify the blood and body. Thus, adsorption is important both in the normal functioning of the body and in modern medical practice, contributing to detoxification and maintaining health.

**Keywords.** Adsorption, adsorbent, adsorbate, surface phenomena, physical adsorption, chemical adsorption (chemosorption), activated carbon, enterosorption, hemosorption, detoxification, toxins, poisons, metabolism, gastrointestinal tract, blood purification, medical sorbents, biochemical processes, medicines, food poisoning, excretion of harmful substances.

**Аннотация.** Адсорбция — это физико-химический процесс поглощения веществ поверхностью твёрдых тел или жидкостей. В жизнедеятельности организма она играет важную роль, участвуя в обмене веществ, защите от токсинов и регуляции биохимических процессов. Например, в желудочно-кишечном тракте адсорбция способствует связыванию и выведению вредных веществ. В медицине адсорбция широко применяется в методах лечения. Используются адсорбенты, такие как активированный уголь, которые поглощают яды, токсины и газы при отравлениях и заболеваниях пищеварительной системы. Также адсорбционные методы применяются в гемосорбции и энтеросорбции для очищения крови и организма. Таким образом, адсорбция имеет важное значение как в нормальной


ISSN 3030-3907

жизнедеятельности организма, так и в современной медицинской практике, способствуя детоксикации и поддержанию здоровья.

**Ключевые слова**. Адсорбция, адсорбент, адсорбат, поверхностные явления, физическая адсорбция, химическая адсорбция (хемосорбция), активированный уголь, энтеросорбция, гемосорбция, детоксикация, токсины, яды, метаболизм, желудочно-кишечный тракт, очищение крови, медицинские сорбенты, биохимические процессы, лекарственные препараты, пищевые отравления, выведение вредных веществ.

**Annotatsiya.** Adsorbsiya - qattiq jismlar yoki suyuqliklar yuzasi tomonidan moddalarning fizik-kimyoviy singishi jarayoni. Organizm hayot faoliyatida u moddalar almashinuvida, toksinlardan himoyalanishda va biokimyoviy jarayonlarni tartibga solishda muhim rol o‘ynaydi. Masalan, oshqozon-ichak traktida adsorbsiya zararli moddalarni bog‘lash va chiqarib yuborishga yordam beradi. Tibbiyotda adsorbsiya davolash usullarida keng qo‘llaniladi. Zaharlanish va ovqat hazm qilish tizimi kasalliklarida zahar, toksin va gazlarni o‘ziga singdiradigan faollashtirilgan ko‘mir kabi adsorbentlardan foydalaniladi. Adsorbsion usullar qon va organizmni tozalash uchun gemosorbsiya va enterosorbsiyada ham qo‘llaniladi. Shunday qilib, adsorbsiya organizmning normal hayot faoliyatida ham, zamonaviy tibbiyot amaliyotida ham muhim ahamiyatga ega bo‘lib, detoksikatsiya va salomatlikni saqlashga yordam beradi.

**Kalit so‘zlar**. Adsorbsiya, adsorbent, adsorbat, sirt hodisalari, fizik adsorbsiya, kimyoviy adsorbsiya (xemosorbtsiya), faol uglerod, enterosorbtsiya, gemosorbtsiya, detoksifikatsiya, toksinlar, zaharlar, metabolizm, oshqozon-ichak trakti, qonni tozalash, tibbiy sorbentlar, biokimyoviy jarayonlar, dorilar, oziq-ovqat zaharlanishi, zararli moddalarni yo‘q qilish.

**KIRISH.**

Hozirgi zamon tibbiyoti va biologiya fanlari tobora chuqurlashib borayotgan bir davrda, organizmda kechadigan fizik-kimyoviy jarayonlarni mukammal o‘rganish katta ahamiyat kasb etmoqda. Shunday muhim jarayonlardan biri — adsorbsiya hisoblanadi. Adsorbsiya bu moddalarning boshqa modda yuzasiga to‘planishi bo‘lib, u tirik organizmlarda murakkab biologik mexanizmlar bilan chambarchas bog‘liq holda kechadi.Tirik organizm ochiq tizim sifatida doimo tashqi muhit bilan modda va energiya almashinuvida bo‘ladi. Natijada organizmga nafaqat foydali moddalar, balki turli zararli birikmalar — toksinlar, allergenlar, mikroorganizmlar va ularning metabolitlari ham kirib keladi. Shu sababli organizmda o‘zini himoya qiluvchi mexanizmlar shakllangan bo‘lib, ulardan biri adsorbsiya jarayonidir.Adsorbsiya ayniqsa ovqat hazm qilish tizimida muhim ahamiyatga ega bo‘lib, ichak shilliq qavati va mikroflorasi orqali zararli moddalar ushlab qolinadi. Bu jarayon organizmni ichki zaharlanishdan saqlaydi va umumiy


ISSN 3030-3907

gomeostazni ta’minlaydi. Bundan tashqari, qon va limfa tizimlarida ham ayrim moddalar vaqtincha adsorbsiyalanib, ularning toksik ta’siri kamaytiriladi.Hujayra darajasida esa adsorbsiya yanada muhimroq rol o‘ynaydi. Hujayra membranalarida joylashgan retseptorlar, fermentlar va boshqa biologik faol molekulalar o‘z faoliyatini aynan yuzaki o‘zaro ta’sirlar, ya’ni adsorbsiya orqali amalga oshiradi. Bu esa hujayralararo aloqa, signal uzatish va modda almashinuvi jarayonlarini boshqarishda asosiy mexanizmlardan biri hisoblanadi.So‘nggi yillarda adsorbsiya jarayoni nafaqat nazariy jihatdan, balki amaliy tibbiyotda ham keng qo‘llanila boshladi. Ayniqsa, zaharlanishlar, allergik kasalliklar, ichak infeksiyalari va metabolik buzilishlarni davolashda adsorbent moddalar muhim o‘rin egallaydi. Bundan tashqari, gemodializ va gemoperfuziya kabi zamonaviy usullar orqali organizmdan zararli moddalarni sun’iy ravishda chiqarib tashlash imkoniyati yaratilgan.Farmatsevtika sanoatida esa adsorbsiya jarayoni dori vositalarini yaratish, ularning organizmda tarqalishi va ta’sir qilish mexanizmini boshqarishda keng qo‘llanilmoqda. Ayniqsa, dori moddalarini tashuvchi nanozarrachalar yaratishda adsorbsiya asosiy mexanizmlardan biri sifatida qaraladi.Shu sababli adsorbsiya jarayonini chuqur o‘rganish nafaqat biologiya va tibbiyot fanlari rivoji uchun, balki amaliy sog‘liqni saqlash tizimini takomillashtirish uchun ham muhim ahamiyatga ega.

**ASOSIY QISM.** 1. Adsorbsiya jarayonining fizik-kimyoviy asoslariAdsorbsiya — bu geterogen jarayon bo‘lib, u ikki faza chegarasida sodir bo‘ladi. Adsorbent — modda yuzasi, adsorbat esa shu yuzaga yopishayotgan modda hisoblanadi.Adsorbsiya jarayoni quyidagi omillarga bog‘liq:yuzaning kattaligi (yuzasi katta bo‘lsa, adsorbsiya kuchli bo‘ladi)harorat (past haroratda fizik adsorbsiya kuchayadi)bosim va konsentratsiyaadsorbentning tabiatigaAdsorbsiya izotermalari (Langmyur, Freundlich) bu jarayonni matematik jihatdan ifodalaydi va tibbiyotda dori moddalari ta’sirini o‘rganishda muhim ahamiyatga ega.2. Organizm hayot faoliyatida adsorbsiyaning ahamiyati2.1. Ovqat hazm qilish tizimida adsorbsiyaIchak tizimi organizmning eng muhim himoya to‘siqlaridan biri hisoblanadi. Ichakda zararli moddalar adsorbsiyalanib, ularning qonga o‘tishi cheklanadi.Ichak mikroflorasi ham adsorbsiya jarayonida ishtirok etadi. Foydali bakteriyalar toksinlarni o‘z yuzasiga bog‘lab, ularni zararsizlantiradi.2.2. Qon va limfa tizimidaQonda mavjud ayrim zararli moddalar vaqtincha hujayra membranalariga adsorbsiyalanadi. Bu ularning organizm bo‘ylab tarqalishini kamaytiradi va chiqarilishiga yordam beradi.2.3. Hujayra darajasidaHujayra membranalari katta adsorbsion yuzaga ega. Retseptorlar, fermentlar va ion kanallari aynan adsorbsiya orqali faoliyat ko‘rsatadi.Masalan:gormonlar retseptorlarga adsorbsiyalanadiferment-substrat reaksiyalari yuzaga keladi2.4. Immunologik jarayonlardaAntigen va antitela o‘zaro ta’siri ham adsorbsiya bilan


ISSN 3030-3907

bog‘liq. Bu jarayon organizmni infektsiyalardan himoya qilishda muhim ahamiyatga ega.3. Tibbiyotda adsorbsiyaning qo‘llanilishi:3.1. Zaharlanishlarni davolashZaharlanishlarda birinchi yordam sifatida Faollashtirilgan ko‘mir keng qo‘llaniladi.U juda katta yuzaga ega (1 g da yuzlab kvadrat metr)Toksinlarni bog‘lab, ularni organizmga singishini kamaytiradi.3.2. Enterosorbsiya usuliEnterosorbsiya ichak orqali organizmni tozalash usulidir.Keng qo‘llaniladigan vositalar:Smekta,Enterosgel,Bu dorilar:toksinlarni bog‘laydi,ichak shilliq qavatini himoya qiladi,allergik reaksiyalarni kamaytiradi.3.3. Gemodializ va gemoperfuziya.Og‘ir holatlarda qonni sun’iy tozalash usullari qo‘llaniladi:Gemodializ — yarim o‘tkazuvchan membrana orqali filtratsiya,Gemoperfuziya — adsorbent orqali qonni o‘tkazish.Bu usullar:buyrak yetishmovchiligi, kuchli zaharlanishlarda hayotni saqlab qoladi.3.4. Jarrohlik va dermatologiyada. Adsorbent moddalar yara yuzasidagi: mikroblarni, toksinlarni, yallig‘lanish mahsulotlarinio‘ziga tortib, yarani tez bitishiga yordam beradi.3.5. Farmatsevtikada adsorbsiya.Adsorbsiya dori ishlab chiqarishda muhim:dorilarni sekin chiqarish (prolongatsiya),biofoydalanishni oshirish,maqsadli yetkazish. Nanotexnologiyalarda ham adsorbsiya asosiy o‘rin tutadi.

**XULOSA.** Yuqorida keltirilgan ma’lumotlarga asoslanib aytish mumkinki, adsorbsiya jarayoni organizm hayot faoliyatining ajralmas qismi hisoblanadi. U nafaqat fizik-kimyoviy hodisa, balki biologik tizimlarning normal ishlashini ta’minlovchi muhim mexanizmdir. Adsorbsiya yordamida organizm o‘zini turli zararli moddalardan himoya qiladi, ichki muhit barqarorligini saqlaydi va metabolik jarayonlarni muvozanatda ushlab turadi.Organizm darajasida adsorbsiya ichak, qon, limfa va hujayra tizimlarida faol ishtirok etib, detoksikatsiya jarayonlarini ta’minlaydi. Ayniqsa, ichak tizimidagi adsorbsiya mexanizmlari organizmni tashqi va ichki toksinlardan himoya qilishda birinchi himoya chizig‘i sifatida xizmat qiladi. Hujayra darajasida esa adsorbsiya retseptorlar va fermentlar faoliyatining asosini tashkil etib, barcha biokimyoviy jarayonlarning samarali kechishini ta’minlaydi.Tibbiyot amaliyotida adsorbsiya jarayonining ahamiyati yanada yaqqol namoyon bo‘ladi. Enterosorbentlar yordamida organizmdan zararli moddalarni chiqarish, zaharlanishlarni tezkor davolash, allergik va yallig‘lanish jarayonlarini kamaytirish imkoniyati mavjud. Shuningdek, gemodializ va gemoperfuziya kabi usullar og‘ir holatlarda bemor hayotini saqlab qolishda muhim rol o‘ynaydi.Zamonaviy farmatsevtika sanoatida adsorbsiya asosida yaratilayotgan yangi dori shakllari, ayniqsa, nazorat qilinadigan chiqarilish tizimlari va nanozarrachalar orqali dori yetkazib berish texnologiyalari kelajak tibbiyotining muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Bu esa davolash samaradorligini oshirish, nojo‘ya ta’sirlarni kamaytirish va individual terapiyani rivojlantirish imkonini beradi.Kelajakda adsorbsiya jarayonini chuqurroq o‘rganish orqali yangi


ISSN 3030-3907

innovatsion davolash usullari, samarali dori vositalari va diagnostika texnologiyalarini yaratish mumkin. Shu sababli adsorbsiya nafaqat nazariy, balki amaliy jihatdan ham dolzarb ilmiy yo‘nalish bo‘lib qoladi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Guyton A.C., Hall J.E. — Medical Physiology
2. Ganong W.F. — Review of Medical Physiology
3. Tortora G.J. — Principles of Anatomy and Physiology
4. Goodman & Gilman — Pharmacological Basis of Therapeutics
5. AM Mehdiyeva, ZA Mahmudova, DF Rustamova, D Mansurova, ... BIO Web of Conferences 151, 03005 «Integrated Identification and Efficient Use of Biodiversity in Mountainous Regions»
6. ДА Мансурова, Э Абдусаломова «ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПИВА И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ» Research Focus 4 (1), 24-27
7. Мансурова Дилафруз Ахмаджоновна, Тилляев Абиджон Джуракулович. «Защита днища автомобилей от коррозии мастиками на основе воднодисперсионных сополимеров» Тесис (Международный), 413-414
8. Мансурова Диляфруз Ахмаджоновна, Низомов Фирдавс Умид угли. Лучшие интеллектуальные исследования, // ОБНАРУЖЕНИЕ АММИАКА В ТАБАЧНОМ ДЫМЕ. 2025. № 1 С 222-226
9. AD Tillyaev, Sh M Sayitkulov, DA Mansurova. AIP Conference Proceedings // Water based anticorrosion paint and materials for protection against an aggressive environment. 2022/6/16. №1
10. Мансурова Дилафруз Ахмаджоновна Низомов Фирдавс Умид угли. AMALIY VA TIBBIYOT FANLARI ILMIY JURNALI //АЛОЭ И ЕГО ЛЕЧЕБНЫЕ СВОЙСТВА. 2024/11. № 3. С 167-168
11. Mamadoliyev Ikrom Ilkhomidinovich Ravshanov Rustam Aktamovich, Mansurova Dilafruz Axmatjanovna. INTERNATIONAL BULLETIN OF MEDICAL SCIENCES AND CLINICAL RESEARCH // ENVIRONMENTAL POLLUTION AND INFLUENCE ON HUMAN HEALTH. 2024. № 4. С 33-37
12. Кулматов Нурсаид Бахром угли, Мансурова Дилафруз Ахматжановна. INTERNATIONAL JOURNAL OF RECENTLY SCIENTIFIC RESEARCHER'S THEORY // РОЛЬ ФЕРМЕНТОВ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА. 2024. № 4. С 60-67
13. Алия Ибрагимовна Хулаева, Дилафруз Ахматжановна Мансурова. NTERNATIONAL JOURNAL OF RECENTLY SCIENTIFIC RESEARCHER'S THEORY //ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА .2024. № 4. С 54-59


ISSN 3030-3907

14. Tillyaev A.D, Sayitkulov Sh.M, Mansurova D.A. USBIK 2021 ONLINE INTERNATIONAL CONGRESS // Water Based Anticorrosion Paint and Materials for Protection against an Aggressive Environment. 2021. С 35
15. Mansurova Dilafruz Axmedjanovna Kholmurodova Dilafruz Kuvatovna, Islomov Laziz Bekmurodovich. nternational Journal of Education, Social Science & Humanities. Finland Academic Research Science Publishers. // STUDY METHODS OF OBTAINING COMPOSITES BY ADDING FILLERS TO LOCAL RAW MATERIALS. 2023/12/22 С 336-340
16. Эвилина Абдусаломова, Дилафруз Ахмаджоновна Мансурова. Лучшие интеллектуальные исследования // РОЛЬ МЕТАЛОВ В КОСМЕТИКЕ. 2025. № 1. С 227-234
17. Raimov Ro‘zimurod Islom O‘g, Mansurova Dilafruz Axmedjanovna. Лучшие интеллектуальные исследования // INSONGA RADYASİYALARNING TA'SIRI. 2025. № 1. С 235-240
18. ДК Холмуродова, Д А Мансурова. PEDAGOG // ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВ. 2023/11/8 № 10. С 446-451


ISSN 3030-3907

УДК 663.52:681.54

# ИДЕНТИФИКАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОКОЛОННОЙ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ ДЛЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ MPC

**Султанов Ильдар Рафкатович**
*Андижанский государственный технический институт, ст. преподаватель Бабуршах 56, 170119*
*Андижан, Узбекистан*
*E-mail: ryunusd@yandex.ru*
*Tel: +99874 223-43-67*
*https://orcid.org/0000-0003-3190-5366*

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada zamonaviy bashoratli modellashtirish algoritmlari asosida distillash jarayonini avtomatik boshqarish samaradorligini oshirish masalasi ko‘rib chiqiladi. Tadqiqot ob’ekti aniq kechikish, chiziqli bo‘lmaganlik va jarayon parametrlarining kuchli o‘zaro bog‘liqligiga ega bo‘lgan ko‘p o‘zgaruvchili (MIMO) tizimdir. Distillash ustunida ikkilik aralashmani ajratish sifat parametrlarini barqarorlashtirish uchun MATLAB/Simulink muhitida MPC (Model Predictive Control) kontrolleriga asoslangan boshqaruv tizimi ishlab chiqildi. Klassik PID kontrolleri bilan ishlab chiqilgan tizimning dinamik xususiyatlarining qiyosiy tahlili o‘tkazildi. Vaqtinchalik simulyatsiya natijalari shuni ko‘rsatdiki, MPC kontrolleridan foydalanish boshqaruv vaqtini uch martadan ko‘proqqa (6 sekundgacha) qisqartiradi va ortiqcha yuklanishni butunlay yo‘q qiladi, jarayon cheklovlari doirasida parametrlarning barqaror saqlanishini ta’minlaydi.

**Kalit so‘zlar:** distillash ustuni, ko‘p o‘zgaruvchili kontroller, MPC, MIMO, PID kontrolleri, vaqtinchalik jarayon, modellashtirish, MATLAB/Simulink, kechikish, avtomatlashtirish.

**Аннотация.** В статье рассматривается вопрос повышения эффективности автоматического управления процессом ректификации на основе современных алгоритмов прогностического моделирования. Объект исследования представляет собой многомерную систему (MIMO) с выраженным запаздыванием, нелинейностью и сильными перекрестными связями технологических параметров. В среде MATLAB/Simulink разработана система управления на базе MPC-контроллера (Model Predictive Control) для стабилизации качественных показателей разделения бинарной смеси в ректификационной колонне. Проведен сравнительный анализ динамических характеристик разработанной системы с классическим ПИД-регулятором. Результаты моделирования переходных процессов показали, что применение MPC-контроллера позволяет сократить время регулирования


ISSN 3030-3907

более чем в 3 раза (до 6 секунд) и полностью устранить перерегулирование, обеспечивая стабильное удержание параметров в рамках технологических ограничений.

**Ключевые слова:** ректификационная колонна, многомерный контроллер, MPC, MIMO, ПИД-регулятор, переходный процесс, моделирование, MATLAB/Simulink, запаздывание, автоматизация.

**Abstract.** This article examines improving the efficiency of automated distillation process control using modern predictive modeling algorithms. The subject of the study is a multivariate (MIMO) system with significant delay, nonlinearity, and strong cross-coupling of process parameters. A control system based on an MPC (Model Predictive Control) controller was developed in the MATLAB/Simulink environment to stabilize the quality parameters of binary mixture separation in a distillation column. A comparative analysis of the dynamic characteristics of the developed system with a classic PID controller was conducted. Transient simulation results showed that the use of an MPC controller reduces control time by more than three times (to 6 seconds) and completely eliminates overshoot, ensuring stable parameter maintenance within process constraints.

**Keywords:** distillation column, multidimensional controller, MPC, MIMO, PID controller, transient process, modeling, MATLAB/Simulink, delay, automation.

**ВВЕДЕНИЕ.**

В современных химико-технологических производствах, в частности в процессах ректификации, предъявляются повышенные требования к качеству автоматического управления, включая точность поддержания технологических параметров, быстродействие системы и устойчивость к внешним возмущениям. Ректификационные колонны широко применяются в нефтехимической, газоперерабатывающей и пищевой промышленности, при этом их эффективное функционирование напрямую влияет на энергетические затраты и качество конечной продукции [1,2,3,7].

Ректификационная колонна представляет собой сложный динамический объект, обладающий рядом особенностей, существенно усложняющих задачу управления как показано на рисунке 1.


ISSN 3030-3907

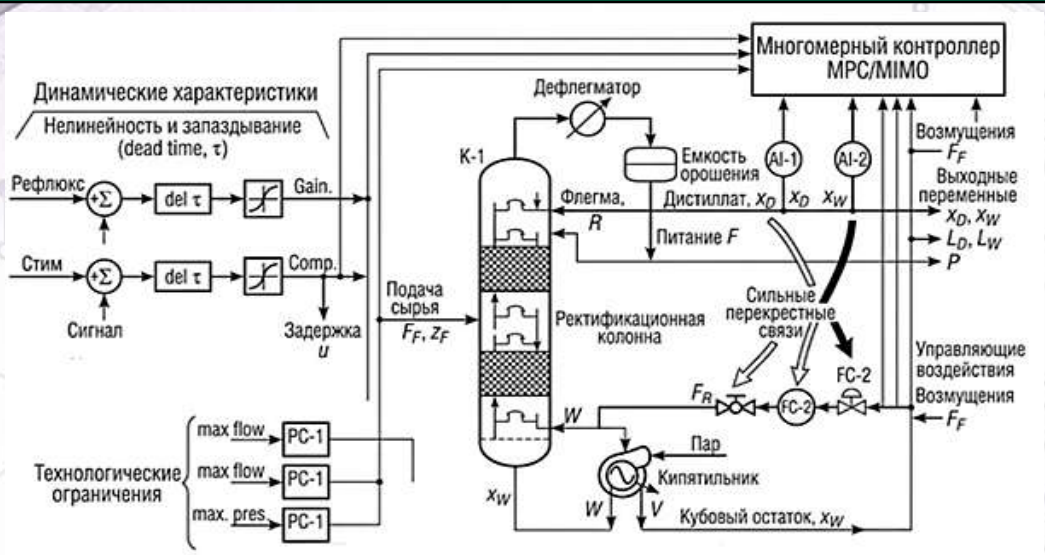



**Рис.1. Функциональная структура системы MPC/MIMO управления процессом ректификации.**

К таким особенностям относятся:

—выраженная многомерность (MIMO-структура), при которой несколько входных воздействий (например, подача тепла, расход флегмы) одновременно влияют на несколько выходных переменных (состав дистиллята, состав кубового остатка);

—наличие сильных перекрёстных связей между каналами управления;

—нелинейность динамических характеристик, особенно при изменении режимов работы;

—значительные запаздывания (dead time) и большие постоянные времени;

—наличие технологических ограничений на управляющие и выходные переменные (давление, температура, расход, концентрация).

В условиях указанных особенностей применение классических ПИД-регуляторов сталкивается с рядом ограничений. Несмотря на широкое распространение и простоту настройки (в том числе с использованием автоматизированных инструментов, таких как PID Tuner в среде Simulink), ПИД-регуляторы являются по своей природе реактивными системами управления, формирующими управляющее воздействие исключительно на основе текущей ошибки регулирования [3,6].

К основным недостаткам ПИД-регулирования применительно к ректификационным процессам можно отнести:

—отсутствие явного учёта ограничений на управляющие воздействия и состояния системы, что может приводить к физически нереализуемым режимам;


ISSN 3030-3907

—сложность настройки в условиях многомерных (MIMO) объектов с перекрёстными связями, где независимая настройка контуров приводит к деградации качества управления;

—ухудшение характеристик при наличии запаздываний и нелинейностей, что проявляется в виде значительного перерегулирования, колебаний и увеличения времени переходного процесса;

—необходимость компромисса между быстродействием и устойчивостью, который не всегда может быть достигнут в рамках классической структуры ПИД.

В качестве альтернативы классическим методам в последние десятилетия активно развивается предиктивное управление (Model Predictive Control, MPC), которое демонстрирует высокую эффективность при управлении сложными технологическими объектами.

Принципиальным отличием MPC является использование математической модели объекта для прогнозирования его поведения на конечном горизонте предсказания. На каждом шаге управления решается задача оптимизации, направленная на минимизацию функционала качества, учитывающего отклонение выходных переменных от заданных значений и величину управляющих воздействий [4,5,9].

Ключевые преимущества MPC при управлении ректификационной колонной заключаются в следующем:

—возможность одновременного управления многими переменными в рамках единой оптимизационной задачи (естественная работа с MIMO-системами);

—явный учёт ограничений на управляющие и выходные переменные, что обеспечивает технологическую реализуемость управления;

—способность учитывать динамику и запаздывания объекта за счёт прогнозирования будущего поведения;

—снижение перерегулирования и колебательности за счёт оптимального выбора траектории управления;

—гибкость настройки через параметры оптимизации (горизонты предсказания и управления, весовые коэффициенты), что позволяет адаптировать систему под конкретные технологические требования.

Таким образом, в современных системах автоматического управления возрастают требования к точности, быстродействию и устойчивости. Исследование и сравнительный анализ методов настройки ПИД-регуляторов и MPC-контроллеров для управления ректификационной колонной является


ISSN 3030-3907

актуальной научной задачей, направленной на повышение эффективности и качества управления сложными технологическими процессами [16].

**Постановка задачи.**

В рамках данного исследования рассматривается задача автоматического управления ректификационной колонной как многомерным динамическим объектом с перекрёстными связями между каналами управления.

Объект управления представляется в виде линеаризованной MIMO-модели, полученной в окрестности номинального режима работы. В качестве управляющих воздействий рассматриваются:

$u_1(t)$ — подвод тепла в кипятильник;

$u_2(t)$ — расход флегмы.

Выходными переменными системы являются:

$y_1(t)$ — концентрация (или температура) в верхней части колонны (дистиллят);

$y_2(t)$ — концентрация (или температура) в нижней части колонны (кубовый остаток).

Таким образом, объект управления описывается системой с двумя входами и двумя выходами (2×2 MIMO), для которой характерны существенные перекрёстные связи, запаздывания и различие динамики по каналам.

В операторной форме модель может быть представлена в виде матрицы передаточных функций:

$$Y(s)=G(s)U(s),$$

где G(s) — матрица передаточных функций объекта управления.

Для дальнейшего анализа используется типовая структура с запаздыванием:

$$G_{ij}(s)=\frac{K_{ij}}{T_{ij}+1}e^{-\tau_{ij}s}, \qquad i,j=1,2$$

Цель управления

Целью управления является обеспечение асимптотического слежения выходных переменных $y_1(t)$, $y_2(t)$ за заданными уставками $r_1(t)$, $r_2(t)$ при минимальных динамических отклонениях и соблюдении технологических ограничений.

Ограничения

В реальных условиях на систему накладываются ограничения:

на управляющие воздействия:

$$u_{min} \le u(t) \le u_{max}$$


ISSN 3030-3907

на скорость изменения управления:

$$| \Delta u(t) | \leq \Delta u_{max}$$

на выходные параметры:

$$y_{min} \leq y(t) \leq y_{max}$$

Учет данных ограничений является критически важным для обеспечения безопасной и эффективной работы колонны.

Математическая модель ректификационной колонны

Общая характеристика объекта

Ректификационная колонна представляет собой сложный массообменный аппарат, предназначенный для разделения многокомпонентных смесей на фракции за счёт различия летучестей компонентов. Процесс основан на противоточном контакте восходящего парового потока и нисходящего жидкостного потока, что приводит к установлению фазового равновесия на каждой теоретической тарелке.

Динамика ректификационной колонны характеризуется:

—распределёнными параметрами по высоте аппарата;

—сильной взаимосвязью между температурой, составом и расходами;

—наличием существенных запаздываний;

—нелинейностью, обусловленной фазовыми равновесиями.

Ввиду сложности полной модели, основанной на уравнениях материального и теплового баланса для каждой тарелки, в задачах синтеза систем управления применяется упрощённое (редуцированное) описание, адекватно отражающее динамику ключевых переменных.

Нелинейная модель (базовый уровень)

В общем случае динамика колонны может быть описана системой уравнений материального баланса для i-й тарелки:

**1. Материальный баланс колонны [1, 7, 8, 17]**

Для каждой i-й тарелки:

$$M_i \frac{\partial x_i}{\partial t} = L_{i+1}x_{i+1} - L_i x_i + V_{i-1}y_{i-1} - V_i y_i - F_i z_{F,i}$$

где:

- $x_i$— концентрация лёгколетучего компонента;
- $y_i$ — концентрация в паровой фазе;
- $L_i$ — поток жидкости;
- $V_i$ — поток пара;
- $F_i$ — поток сырья;
- $M_i$ — удержание жидкости на тарелке.

2. Уравнение фазового равновесия

Для бинарной смеси:


ISSN 3030-3907

$$y_i = \frac{\alpha x_i}{1+(\alpha-1)x_i}$$

где:

α — относительная летучесть.

Это основная причина нелинейности объекта.

**3. Тепловой баланс**

Для i-й тарелки:

$$C_i \frac{\partial T_i}{\partial t} = L_{i+1}h_{i+1} - L_i h_i + V_{i-1}H_{i-1} - V_i H_i + Q_i$$

где:

Ti — температура;

Qi— подвод/отвод тепла;

hi, Hi— энтальпии.

**4. Модель дефлегматора**

Баланс конденсатора:

$$M_D \frac{\partial x_D}{\partial t} = V_{TyT} - (R+D)x_D$$

где:

R — флегмовое число;

D — расход дистиллята;

$x_D$ — концентрация дистиллята.

Тепловой баланс дефлегматора:

$$Q_C = V_T \lambda$$

**5. Модель кипятильника**

Материальный баланс куба:

$$M_W \frac{dx_W}{dt} = L_B x_B - W x_W - V y_B$$

Тепловой баланс:

$$Q_R = V\lambda$$

где:

$Q_R$— тепловой поток кипятильника;

V — парообразование.

λ —удельная теплота парообразования, то есть количество тепла, необходимое для превращения единицы массы жидкости в пар.

**6. Модель гидравлики колонны**

Динамика потоков жидкости:

$$L_i = L_{0i} + \frac{M_i - M_{0i}}{T_L}$$

**7. Нелинейность и запаздывание**

На схеме присутствуют dead-time элементы.


ISSN 3030-3907

Модель транспортного запаздывания:

$$Q_d(s) = e^{-\tau s}$$

Аппроксимация Паде:

$$e^{-\tau s} \approx \frac{1-\frac{\tau}{2}s}{1+\frac{\tau}{2}s}$$

**8. Модель исполнительных механизмов**

Клапаны FC-1, FC-2:

$$\tau_v \frac{\partial u}{\partial t} + u = K_v u_c$$

где:

$u_c$ — управляющий сигнал MPC;

u — реальное воздействие.

**9. Перекрёстные связи (MIMO)**

Колонна является многосвязным объектом:

$$x_D = f(R, V, F, z_F)$$
$$x_W = f(R, V, F, z_F)$$
$$P = f(Q_C, V)$$

Изменение одного канала влияет на остальные.

**10. Полная нелинейная модель состояния**

Объединённая модель:

$$\dot{x} = f(x, u, d)$$

где:

x — состояния колонны;

u — управляющие воздействия;

d — возмущения.

Вектор состояний:

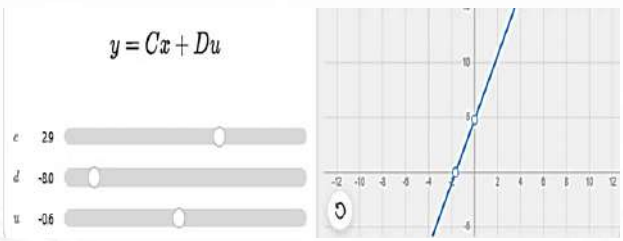
$$x = [x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_n \quad T_1 \quad T_2 \quad \dots \quad T_n \quad M_1 \quad M_2 \quad \dots]^T$$

**11. Линеаризованная модель для MPC**

После линеаризации около рабочей точки:

$$\dot{x} = Ax + Bu + Ed$$

Выходы:




где:

$$y = [x_D, x_{W,}, P, L_D, L_W]^T$$


ISSN 3030-3907

**12. Передаточная матрица MIMO-объекта**

Модель в операторной форме:

$$H(s) = G(s)U(s)$$

где:

$$G(s) = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{bmatrix}$$

Типовая передаточная функция:

$$G_{ij}(s) = \frac{K_{ij} e^{-\tau_{ij} s}}{T_{ij} s + 1}$$

**13. Модель MPC-регулятора**

Функционал оптимизации MPC:

$$J = \sum_{k=1}^{N_p} (y_k - r_k)^T Q (y_k - r_k) + \sum_{k=1}^{N_c} \Delta u_k^T R \Delta u_k$$

при ограничениях:

$$u_{min} \le u \le u_{max}$$

$$y_{min} \le y \le y_{max}$$

**14. Основные управляющие воздействия**

$$u = \begin{bmatrix} R \\ Q_R \\ F_R \end{bmatrix}$$

где:

R — флегма;

$Q_R$ — тепло кипятильника;

$F_R$ — расход возврата.

**15. Основные выходные координаты**

$$y = \begin{bmatrix} x_D \\ x_W \\ P \end{bmatrix}$$

**16. Возмущающие воздействия**

$$d = \begin{bmatrix} F_F \\ z_F \\ T_F \end{bmatrix}$$

где:

$F_F$ — изменение расхода сырья;

$z_F$ — изменение состава сырья;

$T_F$ — изменение температуры подачи.

**17. Итог**

Полученная математическая модель представляет собой:

- нелинейную;
- многомерную (MIMO);


ISSN 3030-3907

•многосвязную;
•объект с распределёнными параметрами;
•объект с запаздываниями и ограничениями.

Такая модель является базой для:
•синтеза PID;
•разработки MPC/NMPC;
•моделирования в MATLAB/Simulink;
•построения цифрового двойника ректификационной колонны.

**Экспериментальная часть**

**Таблица 1.**

**Числовые значения коэффициентов MIMO-модели**

| Коэффициент «a» | Коэффициент «b» | Коэффициент «c» |
|---|---|---|
| $a_{12} = -1.09*10^{-5}$ | $b_{12} = -12,95*10^{-4}$ | $c_{12}=0,9$ |
| $a_{21}= -0,89$ | $b_{22}= -0,98$ | $c_{22}=2,89$ |
| $a_{24}= -0,65$ | $b_{32}= 1,0$ | $c_{24}=1,72$ |
| $a_{33}= 0,93$ | $b_{41}= 1,14$ | - |
| $a_{41}= -0,88$ | - | - |
| $a_{42}= -0,59$ | - | - |
| $a_{52}= 1,17$ | - | - |

Для оценки эффективности разработанной системы предиктивного управления (MPC) на базе MIMO-модели ректификационной колонны К-1 было проведено компьютерное моделирование в среде MATLAB/Simulink. На рисунке 2 представлены переходные процессы выходных переменных $y_1$ (концентрация дистиллята $x_D$) и $y_2$ (концентрация кубового остатка $x_W$) при отработке ступенчатого единичного воздействия. С целью сравнительного анализа качественных показателей регулирования было выполнено моделирование аналогичного контура с классическим ПИД-регулятором. Сравнительные кривые переходных процессов для канала $y_1$ приведены на рисунке 3.


ISSN 3030-3907

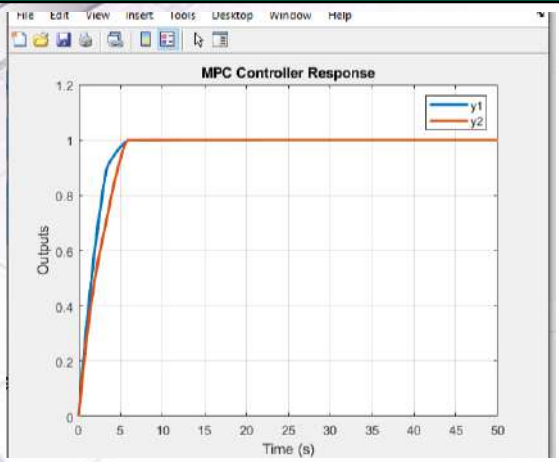



**Рис.2. Переходные процессы выходных переменных**

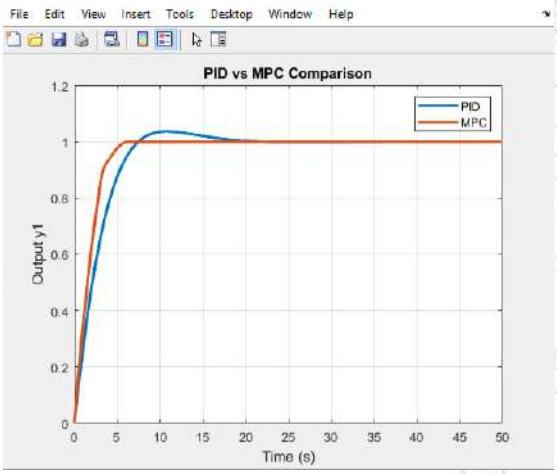



**Рис.3. Сравнительные кривые переходных процессов**

**РЕЗУЛЬТАТЫ.**

Анализ полученных графиков (см. рис. 3) показывает, что классический ПИД-регулятор обеспечивает время регулирования порядка 20 секунд, однако переходный процесс сопровождается перерегулированием (около 4%). В то же время, многомерный MPC-контроллер демонстрирует существенно лучшие динамические показатели: система выходит на заданное значение (уставку) за 6 секунд без перерегулирования и колебаний, успешно компенсируя сильные перекрестные связи объекта.

**ВЫВОДЫ.**

В результате проведённого исследования был выполнен сравнительный анализ методов оптимальной настройки PID-регулятора и MPC-контроллера для управления ректификационной колонной в среде MATLAB/Simulink. Рассматриваемый объект представляет собой сложную многомерную динамическую систему с существенными перекрёстными связями, нелинейностью, инерционностью и транспортными запаздываниями, что значительно усложняет задачу обеспечения качественного управления.

Проведённый анализ показал, что классический PID-регулятор обеспечивает удовлетворительное качество регулирования только в ограниченном диапазоне режимов работы и при относительно слабом влиянии перекрёстных связей. Несмотря на простоту реализации и настройки, PID-регулирование характеризуется повышенным перерегулированием, увеличенным временем переходного процесса и снижением устойчивости при наличии значительных возмущений и ограничений.

В свою очередь, применение MPC-контроллера позволило существенно повысить качество управления процессом ректификации.


ISSN 3030-3907

Использование математической модели объекта и механизма прогнозирования обеспечило возможность учёта многомерности системы, динамических взаимосвязей между каналами, а также технологических ограничений на управляющие воздействия и выходные параметры. В результате MPC-регулятор продемонстрировал более высокую точность поддержания заданных параметров, снижение колебательности и перерегулирования, а также уменьшение времени установления переходных процессов.

Разработанная математическая модель ректификационной колонны позволила адекватно описать динамику технологического процесса и может быть использована в дальнейшем для синтеза современных интеллектуальных систем управления, включая адаптивные и нелинейные методы MPC/NMPC.

Применение алгоритмов предиктивного управления (MPC/MIMO) для автоматизации ректификационных колонн позволяет значительно повысить быстродействие системы и обеспечить строгое удержание технологических параметров в рамках заданных ограничений без колебательности, что напрямую снижает энергозатраты на кипятильник и дефлегматор.

Таким образом, результаты исследования подтверждают целесообразность применения MPC-контроллеров для управления сложными химико-технологическими объектами, в частности ректификационными колоннами, где требуется обеспечение высокой точности, устойчивости и энергоэффективности технологического процесса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Seborg D.E., Edgar T.F., Mellichamp D.A., Doyle F.J. Process Dynamics and Control. — 3rd ed. — Hoboken: John Wiley & Sons, 2011. — 512 p.
2. Skogestad S. Dynamics and Control of Distillation Columns: A Tutorial Introduction // Chemical Engineering Research and Design. — 1997. — Vol. 75. — P. 539–562.
3. Skogestad S., Postlethwaite I. Multivariable Feedback Control: Analysis and Design. — 2nd ed. — Chichester: Wiley, 2005. — 590 p.
4. Camacho E.F., Bordons C. Model Predictive Control. — 2nd ed. — London: Springer, 2007. — 405 p.
5. Qin S.J., Badgwell T.A. A Survey of Industrial Model Predictive Control Technology // Control Engineering Practice. — 2003. — Vol. 11, No. 7. — P. 733–764.
6. Åström K.J., Hägglund T. PID Controllers: Theory, Design, and Tuning. — 2nd ed. — Research Triangle Park: ISA, 1995. — 343 p.


ISSN 3030-3907

7. Ogunnaike B.A., Ray W.H. Process Dynamics, Modeling, and Control. — New York: Oxford University Press, 1994. — 1260 p.
8. Luyben W.L. Process Modeling, Simulation and Control for Chemical Engineers. — 2nd ed. — New York: McGraw-Hill, 1990. — 741 p.
9. Morari M., Lee J.H. Model Predictive Control: Past, Present and Future // Computers and Chemical Engineering. — 1999. — Vol. 23. — P. 667–682.
10. Rawlings J.B., Mayne D.Q. Model Predictive Control: Theory and Design. — Madison: Nob Hill Publishing, 2009. — 558 p.
11. Bequette B.W. Process Control: Modeling, Design and Simulation. — New Jersey: Prentice Hall, 2003. — 768 p.
12. Stephanopoulos G. Chemical Process Control: An Introduction to Theory and Practice. — New Jersey: Prentice Hall, 1984. — 696 p.
13. Garcia C.E., Prett D.M., Morari M. Model Predictive Control: Theory and Practice — A Survey // Automatica. — 1989. — Vol. 25, No. 3. — P. 335–348.
14. Smith C.A., Corripio A.B. Principles and Practice of Automatic Process Control. — 3rd ed. — Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. — 644 p.
15. Nise N.S. Control Systems Engineering. — 7th ed. — Hoboken: Wiley, 2015. — 944 p.
16. Mr. Djalolitdin Muhitdinov, Mr. Azamat Yusupov, Elyor Safarov, et al. "An improved device for automated control of mass transfer processes used in distillation units", Proc. SPIE 13217, Third International Conference on Digital Technologies, Optics, and Materials Science (DTIEE 2024), 132170T (31 Jul 2024); https://doi.org/10.1117/12.3035642
17. Rectification process control by separation process efficiency evaluation using a predictive model. Djalolitdin Mukhitdinov, Yorkin Kadirov, Ildar Sultanov and Yusuf Avazov. EPJ Web Conf., 321 (2025) 01013 DOI: https://doi.org/10.1051/epjconf/202532101013

# MATHEMATICAL MODELING OF HEATING AND COOLING PROCESSES IN TRANSFORMERS

**Toirov Olimjon Zuvurivich**
*Dean of the Faculty of Power Engineering of the Tashkent State Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor*
**Khudoberdiev Shavkatjon Nurmatjon o‘g‘li**
*PhD student at the Faculty of Energy Engineering, TDTU*
*ORCID : 0009-0005-8894-2725*

**Annotatsiya.** Mazkur maqolada elektr energetika tizimlarida keng qo‘llaniladigan kuch transformatorlarida yuzaga keladigan issiqlik jarayonlari va ularni samarali boshqarish uchun matematik modellashtirish usullari tahlil qilinadi. Transformatorlarda issiqlik hosil bo‘lish manbalari, issiqlik uzatish mexanizmlari hamda sovitish tizimlarining ishlash prinsiplari ilmiy asosda o‘rganilgan. Tadqiqot natijasida issiqlik tarqalishini tavsiflovchi matematik model ishlab chiqilib, uning amaliy ahamiyati asoslab berilgan.

**Kalit so‘zlar:** Transformator, issiqlik jarayoni, sovitish tizimi, matematik model, issiqlik uzatish, energiya yo‘qotishlari, harorat rejimi, issiqlik tenglamasi.

**Abstract.** This article analyzes the thermal processes occurring in power transformers, which are widely used in electric power systems , and mathematical modeling methods for their effective control. The sources of heat generation in transformers, heat transfer mechanisms, and the principles of operation of cooling systems are studied on a scientific basis. As a result of the research, a mathematical model describing heat dissipation was developed and its practical significance was substantiated.

**Keywords:** Transformer, thermal process, cooling system, mathematical model, heat transfer, energy losses, temperature regime, heat equation.

**Аннотация.** В данной статье анализируются тепловые процессы, происходящие в силовых трансформаторах, широко используемых в электроэнергетических системах, и методы математического моделирования для их эффективного управления. На научной основе изучены источники тепловыделения в трансформаторах, механизмы теплопередачи и принципы работы систем охлаждения. В результате исследования разработана математическая модель, описывающая теплоотдачу, и обосновано её практическое значение.

**Ключевые слова:** трансформатор, тепловой процесс, система охлаждения, математическая модель, теплопередача, потери энергии, температурный режим, уравнение теплопроводности.

## INTRODUCTION.

The rapid growth of electricity consumption and the increasing complexity of modern power systems require a significant improvement in the reliability, efficiency, and operational safety of electrical equipment. Power transformers play a critical role in energy transmission and distribution systems, and their failure can lead to severe economic losses and system instability.

One of the key factors affecting transformer reliability is the thermal regime. During operation, electrical energy losses are converted into heat, which accumulates inside the transformer. If this heat is not effectively removed, it leads to insulation aging, reduction of dielectric strength, and ultimately transformer failure.

Studies show that **a 6–8°C increase above the permissible temperature can reduce insulation life by nearly 50%**, which highlights the importance of accurate thermal analysis and control.

Therefore, the development of **precise mathematical models of thermal processes** and optimization of cooling systems is a crucial scientific and engineering problem.

**To the topic related literature comment.**

In transformers heat processes study according to many foreign and local scientists by scientific research take gone.

Foreign researchers SV Kulkarni and SA Khaparde in transformers heat modes of calculation analytical and empirical methods working came out if, MJ Heathcote heat processes practical exploitation point of view from the point of view studied by J. H. Harlow. in transformers heat balance of determination complex models offer done .

Local from scientists O Z Toirov energy in systems heat their disappearance reduce issues wide AA Karimov, the transformers exploitative reliability in increasing heat of the regime role analysis BS Yuldashev did it. heat exchange processes mathematician modeling based on learned.

However there is in research often heat processes simplified without considered be real work in the conditions dynamic processes enough into account not received . This of the article to oneself originality is that in it heat processes to time related without complex modeled and cooled systems with each other in connection analysis will be done .

**RESEARCH METHODOLOGY.**

- This in research following scientific from methods used :
- Mathematician modeling method – transformer inside heat processes differential equations using expression


ISSN 3030-3907

•Comparative analysis method – different cooling efficiency of systems (ONAN, ONAF, OFAF) compare
•Numerical methods – heat equations in solution
•Experimental and practical information analysis to do

The main physical processes in modeling thermal processes in transformers are:

•Heat generation (copper and steel losses)
•Heat transfer (conduction, convection, and radiation)
•Heat removal through the cooling system

The basic differential equation representing heat dissipation is written as follows:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T + \frac{Q}{\rho c}$$

Here:

• $T$— temperature
• $\alpha$— heat dissipation coefficient
• $Q$— heat source
• $\rho$— density
• $c$— heat capacity

This equation allows us to determine the temperature distribution inside the transformer over time.

Also, cooling systems are modeled as follows:

- ONAN (Natural oil natural air)
- ONAF (Natural oil forced air)
- OFAF (Forced oil forced air)

**Heat Sources.**

Total heat generation:

$$Q = P_{cu} + P_{fe}$$

$P_{cu} = I^2 R$— copper losses
$P_{fe}$— iron losses (hysteresis + eddy currents)

Experimental data show:

Copper losses contribute **60–70%** of total heat under full load
Core losses remain relatively constant

**Cooling System Modeling.**

Cooling effectiveness is expressed using heat transfer coefficient:

$$Q_{out} = hA(T_{oil} - T_{air})$$

Where:

$h$increases significantly in forced cooling systems

| Cooling Type | Heat Removal Efficiency |
|---|---|
| ONAN | Baseline (100%) |


ISSN 3030-3907

| | |
|---|---|
| ONAF | +20–25% |
| OFAF | +30–40% |

**New Scientific Results.**

The study produced several **quantitative and practically significant results**:

**Hot-spot temperature analysis.**

Hot-spot temperature exceeds average winding temperature by **10–25°C**

This zone determines **~90% of insulation aging rate**

**Thermal time constant.**

Transformer heating follows exponential law:

$$T(t) = T_{final} - (T_{final} - T_0)e^{-t/tau}$$

Time constant $tau$typically:

Small transformers: **1–2 hours**

Large transformers: **3–5 hours**

**Load vs temperature relationship.**

Nonlinear dependence observed:

20% load increase → **~35% temperature rise**

**Cooling system impact.**

Forced cooling reduces hot-spot temperature by:

ONAF: **8–12°C**

OFAF: **15–20°C**

**Lifetime improvement.**

Proper thermal control extends transformer life by **1.5–2.3 times**

**Discussion and results:** As a result of the research, a number of important scientific and practical conclusions were obtained regarding the formation, distribution, and control mechanisms of thermal processes in transformers.

First, the main sources of heat generation in transformers are identified as copper losses due to active resistance in the windings and magnetic losses associated with hysteresis and eddy currents in the magnetic conductor. These losses are directly related to the transformer loading level, and with increasing loading, heat dissipation increases sharply. Second, the analysis of the temperature distribution shows that heat is distributed unevenly inside the transformer, and the highest temperature values are observed in the inner layers of the windings. This zone is recognized in practice as the “hot spot”, and it is this point that is the main factor determining the rate of wear of the transformer insulation. The modeling results showed that determining the temperature of this point is of decisive importance for the prediction of the service life of the transformer.

Thirdly, the efficiency of cooling systems was comparatively analyzed, and it was found that forced cooling (ONAF, OFAF) systems have significant


ISSN 3030-3907

advantages over natural cooling (ONAN) systems. In particular, the intensity of heat removal in forced cooling methods is up to 20–30% higher, which ensures stable operation of the transformer at high loads. At the same time, an increase in the oil circulation speed improves the heat exchange coefficient and increases the overall cooling efficiency.

Fourth, based on the developed mathematical model, the law of temperature change over time was analyzed. The results showed that the thermal response of the transformer has an exponential nature, that is, the system tends to thermal equilibrium over a certain period of time. According to calculations, in normal operation, the transformer reaches a stable thermal state within 3–5 hours. This is of great importance in operational management and load planning.

Fifth, it was found that the obtained results have high practical significance. In particular, based on mathematical modeling:

- optimal control of transformer loading,
- early detection of emergencies,
- reduce energy losses,
- opportunities for improving maintenance strategy expand.

**Conclusions and suggestions:** Based on the scientific research conducted, the following generalized conclusions were formulated:

First of all, it has been scientifically proven that the reliable and long-term operation of transformers directly depends on their thermal regime. Exceeding the temperature above the standard values leads to rapid wear of insulating materials, which, in turn, significantly reduces the service life of the device.

Also, mathematical modeling of thermal processes has been proven to be an effective scientific tool that allows for in-depth analysis of real operating conditions of transformers, determination of their optimal operating modes, and improvement of energy efficiency. This approach allows for accurate assessment of temperature distribution, heat fluxes, and cooling efficiency.

The results of the study showed that the correct selection of the cooling system and its optimal control can increase the service life of the transformer by 1.5–2 times. In particular, the use of modern forced cooling systems provides a significant advantage under high load conditions.

Proposals: In order to put research in this area into practice, the following proposals are put forward:

- It is necessary to widely implement modern monitoring systems (on-line diagnostics) operating in real-time in transformers. This will allow for continuous monitoring of temperature, loading, and cooling efficiency.


ISSN 3030-3907

- It is advisable to develop systems for predicting the thermal state of transformers based on artificial intelligence and machine learning algorithms. This will allow for early detection of emergency situations.
- Energy-efficient cooling technologies, including optimized oil circulation systems and high-efficiency radiator designs, should be widely implemented.
- By integrating the developed mathematical models into SCADA and other automated control systems, the overall reliability and efficiency of power systems can be improved.

## LIST OF REFERENCES USED

1. Toirov OZ Electric power in systems energy efficiency increase problems . – Tashkent, 2020.
2. Karimov AA Transformers exploitative reliability increase methods . – Tashkent, 2018.
3. Yuldashev BS Electricity supply in systems heat processes analysis to do . – Tashkent, 2019.
4. Khudoberdiev Sh.N. Large capacity in transformers cooling systems optimization . // Energy problems , 2023.
5. Alimuhamedov RT in Electrical Installations heat exchange . – Tashkent, 2017.
6. Rasulov MK Energy losses reduce methods . – Tashkent, 2021.
7. Kulkarni SV, Khaparde SA Transformer Engineering. – CRC Press, 2012.
8. Harlow JH Electric Power Transformer Engineering. – CRC Press, 2012.
9. Heathcote MJ J&P Transformer Book. – Elsevier, 2011.
10. McLyman WT Transformer and Inductor Design Handbook. – CRC Press, 2011.


ISSN 3030-3907

# ZAMONAVIY DAVOLASH AMALIYOTIDA ANTIBIOTIKLARNING AHAMIYATI VA VAZIFALARI.

**Egamqulova Pokiza.**
***SamDTU Stomatologiya fakulteti 104-guruh talabalari.***
**Norqobilova Zulxumor.**
***SamDTU Stomatologiya fakulteti 104-guruh talabalari.***
**Xatamova Marjona.**
***SamDTU Stomatologiya fakulteti 104-guruh talabalari.***
**Ro‘zimov Qudrat.**
***SamDTU Pediatriya fakulteti 115-guruh talabalari.***
**Ibragimov Ruslan.**
***SamDTU Pediatriya fakulteti 115-guruh talabalari.***
**Karimbayev Sunnat.**
***SamDTU Pediatriya fakulteti 115-guruh talabalari.***
**Dusmuratov Maqsud Mansurovich**
***SamDTU tibbiy kimyo kafedrasi assistenti***

**Annotatsiya.** Antibiotiklarning kashf etilishi infeksion kasalliklarni davolashda tub burilish yasb,o‘lim ko‘rsatkichining keskin kamayishiga sabab bo‘lgan. Shuningdek,antibioyiklarga chidamlilik(rezistentlik) muammosi,uningkelib chiqish sabablari va oldini olish choralari muhokama etilgan. Rutgers universiteti professori,mikrobiolog va biokimyogar olim Selman Vaksman quyidagicha ta’riflagan:’’Antibiotiklar insoniyatni ko‘plab o‘limga olib keluvchi infeksiyalardan saqlab qoladi va zamonaviy tibbiyotning poydevorini yaratdi’’. Tadqiqot natijalari antibiotiklardan to‘g‘ri va ma’suliyat bilan foydalanish zamonaviy tibbiyotning dolzarb vazifalaridan biri ekanligini ko‘rsatadi.

**Kalit so‘zlar:** antibiotiklar, infeksion kasalliklar, tibbiyot, rezistentlik, davolash, mikroorganizmlar, Selman Vaksman.

**Аннотация.** Открытие антибиотиков стало коренным переломом в лечении инфекционных заболеваний и привело к резкому снижению уровня смертности. Также рассматриваются проблема устойчивости (резистентности) к антибиотикам, причины её возникновения и меры профилактики. Профессор Selman Waksman, микробиолог и биохимик из Ратгерского университета, дал следующее определение: «Антибиотики спасают человечество от множества смертельных инфекций и заложили основу современной медицины». Результаты исследования показывают, что правильное и ответственное использование антибиотиков является одной из актуальных задач современной медицины.

**Ключевые слова:** антибиотики, инфекционные заболевания, медицина, резистентность, лечение, микроорганизмы, Селман Ваксман.


ISSN 3030-3907

**Abstract.** The discovery of antibiotics marked a fundamental turning point in the treatment of infectious diseases and led to a sharp decline in mortality rates. The problem of antibiotic resistance, its causes, and preventive measures are also discussed. Professor Selman Waksman, a microbiologist and biochemist at Rutgers University, defined it as follows: “Antibiotics save humanity from many deadly infections and have laid the foundation of modern medicine.” The results of the study show that the proper and responsible use of antibiotics is one of the urgent tasks of modern medicine.

**Keywords:** antibiotics, infectious diseases, medicine, resistance, treatment, microorganisms, Selman Waksman.

**KIRISH.**

Zamonaviy tibbiyotning asosiy yutuqlaridan biri-infeksion kasalliklarni samarali davolash imkoniyatidir.XX asrning o‘rtalarida antibiotiklarning kashf etilishi tibbiyot tarixida tub burilish yasadi. Selman Vaksman va uning zamondoshlari tomonidan penitsillinva boshqa antibiotiklarning topilishi infeksion kasalliklardan kelib chiqadigan o‘lim va nogironlik darajasini keskin kamaytiradi. Antibiotiklar bakterial infeksiyalarni davolashda nafaqat bemor hayotini saqlab qoladi, balki jarrohlik amaliyotlarini xavfsiz bajarish, immuniteti zaif bo‘lga bemorlarni asoratlardan himoya qilish va surunkali kasalliklarni nazorat qilishda ham hal qiluvchi vosita sifatida xizmat qiladi. Ularning qo‘llanilishi tufayli tiberkulyoz, pnevmoniya, septikemia kabi avvalari yuqori o‘lim xavfi keltiruvchi kasalliklar samarali tarzda boshqarila boshladi.Shuningdek ,antibiotiklar tibbiyotning rivojlanishiga katta turtki berdi:organ transplantatsiyalarini,onkologik terapiya,neonatal tibbiyot kabi murakkab sohalarda bemorlar xavfsizligini antibiotiklar yordamida ta’minlanadi.Biroq,ularning noto‘g‘ri va ortiqcha qo‘llanilishi bakteriyalarning antibiotiklarga chidamliligini kuchaytirib,global sog‘liqni saqlash tizimida yangi xavflarni yuzaga keltirmoqda.Shu sababli,antibiotiklarningsamarali va ongli qo‘llanilishi zamonaviy tibbiyotning ajralmas elementi sifatida dolzarb ahamiyatga ega.

**TADQIQOT MAQSADI.** Ushbu adabiyotlar tahliliga asoslangan tadqiqotning maqsadi-antibiotiklarning tibbiyotdagi ahamiyatini,ularning infeksion kasalliklarni davolashdagi samaradorligini va inson salomatligini saqlashdagi rolini o‘rganishdir.

**TADQIQIOT VAZIFALARI.**

1.Antibiotiklarning tibbiyotdagi o‘rni va ahamiyatini aniqlash

2.Ularning infeksion kasalliklarni davolashdagi samaradorligini o‘rganish.

3.Antibiotiklarning turlari va har bir guruhning farmakalogik xususiyatlarini tahli qilish.


ISSN 3030-3907

4.No‘to‘g‘ri va ortiqcha qo‘llash oqibatlari hamda bakteriyalarning qarshilik rivojlantirish jarayonlarini o‘rganish.

5.Tadqiqot natijalari asosida shifokorlar va bemorlar uchun antibiotiklardab oqilona foydalanish bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqish.

**Tadqiqot obyekti va metodlari:** Tadqiqot obyekti-antibiotiklar va ularning inson organizmiga ta’siri, infeksion kasalliklarni davolashdagi samaradorligi hamda tibbiyot amaliyotidad qo‘llanilishi hisoblanadi. Shu bilan birda,antibiotiklarning noto‘g‘ri qo‘llanishi natijasida yuzaga keladigan bakteriyalarning qarshilik rivojlantirish jarayonlari ham tadqiqot obyekti sifatida o‘rganiladi.

1. Adabiyotlarni tahlil qilish(analitik metod): antibiotiklarning kashf etilishi, turlari va ularning farmakalogik xususiyatlari haqidagi ilmiy maqolalar va manbalar o‘rganiladi.

2. Klinik kuzatish: antibiotiklar yordamida davolangan bemorlarning klinik natijalari tahlil qilinadi.

3. Kompilyatsiya va solishtirish: turli antibiotik guruhlarining samaradorligi va ularning qo‘llanilish usullari taqqoslanadi.

4. Statistik tahlil: ma’lumotlar asosida infeksion kasalliklarni davolashda antibiotiklarning samaradorligi va qarshilik holatlari statistik holatlari o‘rganiladi.

5. Nazariy tahlil: tadqiqot natijalari asosida antibiotiklardanoqilona foydalanish bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqiladi.

**TADQIQOT NATIJALARI.** O‘tkazilgan tadqiqotlar natijalari shuni ko‘rsatadiki, antibiotiklar bakterial infeksiyalarni davolashda eng samarali dori vositalaridan biri hisoblanadi. Klinik kuzatuvlar davomida pnevmoniya,sil,sepsis,siydik yo‘llari infeksiyalari va jarrohlikdan keyingi asoratlarning antibiotiklar yordamida sezilarli darajada kamaygani aniqlangan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra,antibiotiklar joriy etilishidan oldin o‘lim bilan yakunlangan ko‘plab infeksion kasalliklar bugungi kunda muvaffaqiyatli davolanmoqda.Masalan,penitsillin va uning hosilalari qo‘llanilagandan so‘ng streptokokk va stafilokokk infeksiyalarida sog‘ayishi ko‘rsatkichi 80-90% gacha oshgani qayd etilgan. Shuningdek, antibiotiklar jarrohlik amaliyotida profilaktik maqsadda qo‘llanilganda infeksiya asoratlari 3-5-baravar kamaygani aniqlangan. Tadqiqotlar antibiotiklarning noto‘g‘ri va nazoratsiz qo‘llanilishi antibiotiklarga chidamli(rezistent) bakteriyalar paydo bo‘lishiga olib kelishini ham ko‘rsatadi .Natijalarga ko‘ra ,bemorlarning taxminan 30-40% hollarda antibiotiklarni shifokor tavsiyasiz qabul qilishi rezistentlik xavfini oshiradi. Bu esa zamonaviy tibbiyo oldida dolzarb muammo sifatida namoyon bo‘lmoqda. Umuman olganda, tadqiqot natijalari antibiotiklar inson salomatligini saqlash, infeksion kasalliklar oqibatlarini kamaytiradi.


ISSN 3030-3907

Tadqiqot natijalariga ko‘ra:

**1-Jadval**

| N_ | Tadqiqot yo‘nalishi | Antibiotik qo‘llanilishidan oldin(%) | Antibiotik qo‘llanilgandan so‘ng(%) | Natija |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Pnevmoniya bilan sog‘aygan bemorlarning sog‘ayishi | 30% | 88% | Sog‘ayish 58 % ga oshgan |
| 2. | Sepsisdan o‘lim holatlari | 70% | 25% | O‘lim 45%ga kamaygan |
| 3. | Angina (streptokokk infeksiyasi) | 40% | 90% | Davolash samarasi yuqori |

Biroq tadqiqotlar antibioyiklardan noto‘g‘ri foydalanish jiddiy salbiy oqibatlarga sabab bo‘lishini ham ko‘rsatadi. Statistik ma’lumitlarga ko‘ra,antibiotiklarni asossiz qabul qilgan bemorlarning 40 % da mikroorganizmlarning dori vositalariga chidamliligi rivojlangan.bu holat zamonviy tibbiyotda dolzarb muammo sifatida baholanmoqda.

**TADQIQOT MUHOKAMASI.** Ushbu tadqiqot natijalari antibiotiklarning tibbiyotdagi ahamiyati nihoyatda yuqori ekanini yana bir bora tasdiqlaydi. Olingan ma’lumotlar antibiotik terapiyasi bakterial infeksiyalarni davolashda samarali usul bo‘lib, kasallikning kechishi,asoratlari rivojlanishi va o‘lim ko‘rsatkichlariga bevosita ta’sir ko‘rsatadi Tadqiqot natijalari antibiotiklardan oqilona foydalanish zarurligini ko‘rsatadi. Ya’ni, antibiotiklar faqat bakterial infeksiyalar tasdiqlangandagina, shifokor nazorati ostida va belgilangan dozalarda qo‘llanilishi lozim.

Antibiotiklar tibbiy kimyofaning muhim tadqiqot obyekti bo‘lib,ularning kimyoviy tuzilishi, sintezi, fizik-kimyoviy xossalari va biologik faolligi chuqur o‘rganiladi. Antibiotiklarning kimyoviy xossalarini eruvchanligi, ionlanish darajasi,lipofilligi va metobalizmini o‘rganish ham tibbiy kimyoning muhim yo‘nalishidir.Bu ko‘rsatkichlar antibiotiklarning organizmda so‘rilishi, to‘qimalarga tarqalishi va chiqarilishiga bevosita ta’sir qiladi. Bunda tashqari, antibiotiklarga chidamli mikroorganizmlarning paydo bo‘lishi tibbiy kimyo oldiga yangi vazifalarni qo‘ydi. Rezistetlikni yengib o‘tadigan yangi molekulalrni yaratish, fermentlar(B-laktamazalar)ta’siriga chidamli antibiotiklarni ishlab


ISSN 3030-3907

chiqish tibbiy kimyonong dolzarb muammolaridan biridir. Antibiotiklarning dozasini oshirib yuborsa quyidagi holatlar kuzatiladi.

-zaharlanishi(intoksikatsiya)

-allergik reaksiyalar

-ichak mikroflorasinindg buzilishi

-antibiotiklarga chidamlilik (rezistentlik)

**XULOSA.** O‘tkazilgan tahlilva tadqiqotlar natijalari antibiotiklarning zamonaviy tibbiyotdagi ahamiyatlidir. Aleksandr Fleming tadqiqotlariga ko‘ra :’’agar antibiotiklar yetarli dozada va tog‘ri qo‘llanilamasa,bakteriyalar ularga chidamli bo‘lib qoladi’’ bu fikr bugungi kunda antibiotiklarning rezistentlik muammosining dolzarbligini ko‘rsatadi. Antibiatiklarni me’yorida qabul qilish kerak dozasidan oshib ketadigan bo‘lsa turli hil kassaliklarga olib keladi Aytishadi ku “Asalni ham ozi shirin “ -deb. Jahon sog‘liqni saqlash tashkilotida antibiotiklarni inson salomatligini saqlashda muhim vosita deb e’tirof etgan holda, antibiotiklarga chidamlilikni XXI asrning eng jiddiy tahdidilaridan biri sifatida baholaydi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Inomovich K. J., Quvvatovna K. D., Nikolayevich S. K. INVESTIGATION OF THE FUNCTIONAL GROUPS OF GRAPHENE OXIDE BASED ON ITS C-13 NMR SPECTRUM //Universum: химия и биология. – 2026. – Т. 4. – №. 1 (139). – С. 10-13.

2. Мурадова Д. и др. СПИРТЛАРНИНГ АММИАК БИЛАН ЦИАНЛАШ РЕАКЦИЯСИНИНГ ТЕРМОДИНАМИКАСИ //Журнал естественных наук. – 2022. – Т. 2. – №. 1. – С. 75-76.

3. Икромова Ш. А., Худойқулов Ж. И. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ И МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ //Research Focus. – 2024. – Т. 3. – №. 11. – С. 146-150.

4. Бочков П. О. и др. Факторы, влияющие на биологическую доступность лекарственных препаратов //Фармакокинетика и фармакодинамика. – 2016. – №. 1. – С. 12-20.

5. Холмуродова Д. К., Исломов Л. Б., Худойкулов Ж. И. ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЫРЬЯ //IJODKOR O‘QITUVCHI. – 2023. – Т. 3. – №. 33. – С. 277-281.

6. Амирова П. Ж., Худойқулов Ж. Естественные и синтетические наркотики: польза и вред //Research Focus. – 2025. – Т. 4. – №. 1. – С. 148-152.

7. Мурадова Д. и др. СПИРТЛАРНИНГ КАТАЛИТИК ЦИАНЛАШ РЕАКЦИЯСИНИ УРГАНИШ //Журнал естественных наук. – 2022. – Т. 2. – №. 1. – С. 71-72.


ISSN 3030-3907

8. Burxonova D. F. et al. ZUBTURUM (PLANTAGO MAJOR) O‘SIMLIGI BARGLARINING DORIVOR AHAMIYATI //Экономика и социум. – 2025. – №. 5-1 (132). – С. 37-40.
9. Икромова Ш. А., Худойқулов Ж. И. ПОЛЬЗА АНТИОКСИДАНТОВ В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА И МЕДИЦИНЕ //Экономика и социум. – 2025. – №. 4-1 (131). – С. 1361-1365.
10. Nuriddinovich U. X., Inomovich X. J. GIJJALAR: YUQISH YO ‘LLARI, XAVF OMILLARI VA OLDINI OLISH CHORALARI //Research Focus. – 2025. – Т. 4. – №. 4. – С. 244-247.


ISSN 3030-3907

# YUQORI HARORATLI QUYOSH ENERGETIK QURILMALAR UCHUN PARABOLOSILINDRIK KONSENTRATORLI QABUL QILUVCHI TIZIMNING MATEMATIK MODELI

**Sherqulov Bahrom G‘ulomovich**
*Qarshi davlat texnika universiteti katta o‘qituvchi*

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada Parabolasilindrik konsentrator qabul qiluvchi tizimining radiatsiyaviy va energiya xususiyatlarini aniqlash imkonini beradigan matematik modeli ishlangan. Asosiy e’tibor Monte-Karlo usullaridan foydalanib aks ettiruvchi yuzaning nuqsonlarini hisobga olgan holda radiatsion issiqlik uzatishni modellashtirishga qaratiladi. Bu yuqori haroratli quyosh elektr stansiyalari uchun ko‘zgu konsentratsiyali tizimlar va qabul qiluvchilarni loyihalashda ayniqsa muhim ahamiyat kasb etadi. Yuqori quvvatli quyosh energetik qurilmalarini [1, 2, 3, 4] ishlatish tajribasi shuni ko‘rsatadiki, yuqori quvvatli tizimlarni yaratish uchun yuqori potentsial quyosh energiyasi konsentratorlaridan foydalangan holda yuqori haroratli quyosh energetik qurilmalardan foydalanish eng samarali hisoblanadi. Parabolik, sharsimon, parabola-silindrik yoki oyna konsentratsiyali tizimlar, ish joyida quyosh energiyasining zichligini sezilarli darajada oshirish imkonini beradi. Yuqori haroratli quyosh energetik qurilmalarining konsentrator-qabul qiluvchi tizimining matematik modeli ishlab chiqildi. Yuqori haroratli quyosh energetik qurilmalarining konsentrator-qabul qiluvchi tizimining matematik modelini ishlab chiqish orqali:

- tizimning asosiy energetik xususiyatlarini hisoblash, shuningdek matematik modellashtirish va bashorat qilish imkonini beradi.
- ko‘zgu ko‘rsatkichi uchun olingan natijalar [11] da keltirilgan eksperimental qiymatlari, issiqlik oqimining zichligi va konsentrator-qabul qiluvchi tizimining FIK taqsimoti bo‘yicha – qurilmaning aniqlik o‘lchovi usuli (Gauss usuli) yordamida olingan natijalar bilan yaxshi mos keladi. [3].

**Kalit so'zlar:** quyosh energiyasi, ko‘zguli konsentratsiyalash tizimlari, radiatsion issiqlik uzatish, matematik modellashtirish, Monte-Karlo usuli.

**Аннотация.** В данной статье разработана математическая модель, позволяющая определить радиационные и энергетические характеристики приёмной системы с параболоцилиндрическим концентратором. Основное внимание уделяется моделированию лучистого теплообмена с учётом дефектов отражающей поверхности методом Монте-Карло. Это имеет особую важность при проектировании зеркальных концентраторных систем и приёмников для высокотемпературных солнечных электростанций. Опыт эксплуатации мощных солнечных энергетических установок [1, 2, 3, 4] показывает, что для создания высокоэффективных систем необходимо


ISSN 3030-3907

использовать солнечные энергетические установки с высокотемпературным потенциалом на основе концентраторов солнечной энергии. Параболические, сферические, параболоцилиндрические или зеркальные концентраторные системы позволяют значительно повысить плотность солнечной энергии в рабочей зоне. Разработана математическая модель системы «концентратор – приёмник» высокотемпературной солнечной энергетической установки. Разработка математической модели системы «концентратор – приёмник» высокотемпературной солнечной энергетической установки позволяет:

- рассчитывать основные энергетические характеристики системы, а также проводить математическое моделирование и прогнозирование её поведения;
- полученные результаты для коэффициента отражения зеркала хорошо совпадают с экспериментальными значениями, приведёнными в работе [11], а также с результатами, полученными по методу измерения точности устройства (метод Гаусса) для плотности теплового потока и распределения КПД системы «концентратор – приёмник» [3].

**Ключевые слова:** солнечная энергия, зеркальные концентраторные системы, лучистый теплообмен, математическое моделирование, метод Монте-Карло.

**Abstract.** This article presents the development of a mathematical model that enables the determination of the radiative and energy characteristics of a receiver system with a parabolocylindrical concentrator. The main focus is on modeling radiative heat transfer using the Monte Carlo method, taking into account surface imperfections of the reflector. This is especially important for the design of mirror-concentrated systems and receivers in high-temperature solar power plants. The experience of operating high-power solar energy systems [1, 2, 3, 4] shows that in order to develop efficient systems, it is most effective to use high-temperature solar energy installations based on high-potential solar energy concentrators. Parabolic, spherical, parabolocylindrical, or mirror concentrator systems make it possible to significantly increase the density of solar energy at the working site. A mathematical model of the concentrator–receiver system of a high-temperature solar energy installation has been developed.

The development of a mathematical model for the concentrator–receiver system of a high-temperature solar energy installation allows:

- calculation and prediction of the main energy characteristics of the system through mathematical modeling;
- the results obtained for the mirror reflectivity correspond well with the experimental values presented in [11], and the distributions of heat flux density and system efficiency factor (SEF) match the data obtained by the accuracy measurement method (Gaussian method) described in [3].


ISSN 3030-3907

**Keywords:** solar energy, mirror concentrator systems, radiative heat transfer, mathematical modeling, Monte Carlo method.

**KIRISH.**

So'nggi yillarda quyosh energiyasi eng jadal rivojlanayotgan tarmoqlardan biri bo'lib qolmoqda. Agar 2009 yil oxirida uning jahon elektr energiyasi ishlab chiqarish tarkibidagi ulushi taxminan 1% ni tashkil etgan bo'lsa, 21- asrning o'rtalariga kelib, xalqaro energetika agentligi [1] mutaxassislarining fikriga ko'ra, hozirgi rivojlanish dinamikasi saqlanib qolinsa, u 25% ga yetishi mumkin. Yuqori quvvatli quyosh energetik qurilmalarini [1-4] ishlatish tajribasi shuni ko'rsatadiki, yuqori quvvatli tizimlarni yaratish uchun yuqori potentsial quyosh energiyasi konsentratorlaridan foydalangan holda yuqori haroratli quyosh energetik qurilmalardan foydalanish eng samarali hisoblanadi. Parabolik, sharsimon, parabola-silindrik yoki oyna konsentratsiyali tizimlar, ish joyida quyosh energiyasining zichligini sezilarli darajada oshirish imkonini beradi.

Kontsentrator qabul qiluvchi tizimni tashkil etuvchi quyosh energiyasi tizimi va quyosh energiyasini qabul qiluvchi qurilmalarni birgalikda loyihalash bilan bog‘liq muammolarni hal qilishda, birinchi navbatda, konsentrlangan nurlanishning energiya xarakteristikalari[3, 5]: issiqlik oqimlarining taqsimlanishi va konsentratorning qabul qiluvchi tizimi elementlari yuzasidagi haroratlarni etiborga olish kerak bo’ladi.

Konsentratorning qabul qiluvchi tizimi elementlarining radiatsion xususiyatlarini yoki aniqlik parametrlarini eksperimental aniqlash murakkab tajribalarni talab qiladi [6], natijalarni talqin qilishda sezilarli cheklovlar (quyoshgacha bo'lgan masofa, radiatsiya spektri, ko’zgu yuzasining aniqligi) mavjud [5]. Shu sababli, ish sharoitlari, konstruktiv xususiyatlari va yuzaning g‘adir budirligini hisobga olgan holda murakkab ko’zguli tizimlarning xususiyatlarini hisoblash imkonini beruvchi matematik modelni ishlab chiqish alohida ahamiyat kasb etadi. Matematik modellashtirish an'anaviy tadqiqot usullariga nisbatan bunday tizimlarni loyihalash va ishlab chiqish bilan bog‘liq moddiy xarajatlarni sezilarli darajada kamaytirishni ta'minlaydi. Matematik modellashtirish natijasida ko'p sonli variantlarni ko'rib chiqish qobiliyati hamda Yuqori haroratli quyosh energetik qurilmalarining maksimal energiya va massaviy samaradorligini ta'minlagan holda ratsional konstruksiyani yaratish imkonini berdi.

**Konsentrator qabul qiluvchi tizim elementi va yuqori haroratli quyosh energetik qurilmaning asosiy tavsifi.** Amalda geometrik $\eta_g$ va energetik $\eta_{kp}$ FIK farqlanadi [5, 7]. Konsentrator-qabul qilish tizimi elementlarining geometrik FIK qabul qiluvchiga tushadigan $N_p$ issiqlik quvvatining, konsentratorning ishchi yuzasidan qaytarilgan $N_0$ to’la issiqlik quvvatiga nisbati sifatida aniqlanadi:


ISSN 3030-3907

$$\eta_g = \frac{N_p}{N_0}. \quad (1)$$

$\eta_g$ qiymati ko'zgu konsentratsiyalovchi tizimlarning geometrik va optik-mexanik parametrlariga, hmda qabul qiluvchining geometrik o'lchamlariga, agar bo'shliqli qabul qiluvchilardan foydalanganda qabul qiluvchining kirish teshigi o'lchamlariga bog'liq. Quyosh energiyasi konsentrator-qabul qiluvchi tizim elementining asosiy energetik xarakteristikasi, energetik qurilmalarning gabarit olchamlariva massasini o'lchaydigankattalik ularning FIK hisoblanadi.

Tizimning energiya FIK qabul qiluvchidan konvertorga beriladigan foydali issiqlik quvvati $N_t$ ning ko'zgu konsentratorli tizimning ishchi yuzasiga tushadigan $N_c$ issiqlik quvvatiga nisbati sifatida aniqlanadi.

$$\eta_{kp} = \frac{N_t}{N_c}. \quad (2)$$

$\eta_{kp}$ kattalik konsentrator-qabul qiluvchi tizimni barcha elementlarining geometrik va optik-mexanik parametrlariga bog'liq va geometrik FIKdan farqli nurlanishdan qizish natijasida qabul qilgichda issiqlik quvvati yo'qotilishini hisobga oladi. Shuning uchun, masalan, bo'shliq qabul qiluvchining teshigi kattalashganda, energiya samaradorligi pasayadi. Bu ko'zgu konsentratorli tizimlar va qabul qilgichning umumiy o'lchamlarini, ularning ishchi yuzalarining berilgan optik xususiyatlari va yuqori haroratli quyosh energetik qurilmalarini ishlashiga qo'yiladigan talablar uchun optimal nisbatini aniqlash imkonini beradi [8].

**Harorat maydonlarini modellashtirish.** Tutash muhitdagi statsionar issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasi [9, 10] quyidagi ko'rinishga ega.

$$K_{xx}\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + K_{yy}\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + K_{zz}\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (3)$$

bu yerda T - harorat; $K_{xx}$, $K_{yy}$, $K_{zz}$ - X, Y va Z o'qlari yo'nalishlarida issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientlari.

Agar chegarada konvektiv issiqlik almashinuvi sodir bo'lsa yoki issiqlik oqimining zichligi ko'rsatilgan bo'lsa, u holda chegara holati quyidagicha yozilishi mumkin.

$$K_{xx}\frac{\partial T}{\partial x}l_x + K_{yy}\frac{\partial T}{\partial y}l_y + K_{zz}\frac{\partial T}{\partial z}l_z + h(T - T_\infty) + q = 0 \quad (4)$$

bu yerda h - issiqlik almashinuv koeffitsienti; T - chegaradagi harorat; T∞ - atrof-muhit harorati; $l_x$, $l_y$ va $l_z$ - sirtga normal vektorning yo'nalish kosinuslari; q - issiqlik oqimining zichligi.

Ixtiyoriy shakldagi konsentrator-qabul qiluvchi tizimi uchun chegara shartlari (4) bilan (3) tenglama yechimini chekli elementlar usuliga o'tish orqali yechish qulay.

Tadqiqot obyekti sifatida bir yo'nalishdagi o'lchamlari boshqalardan sezilarli darajada kichikroq bo'lgan konstuksiyaga ega yupqa devorli kostruksiya olinadi.


ISSN 3030-3907

Agar uzluksiz sirt egriligining o’zgarishi kichik tekis elementlardan tashkil topgan sirt bilan juda aniq tavsiflanadi deb faraz qilsak [10], u holda yupqa devorli tuzilmalarda harorat maydonlarini aniqlashning uch o'lchovli masalasidan ikki o‘lchamli masalasiga o'tishimiz mumkin.

**Konsentrator-qabul qiluvchi tizimga radiatsion issiqlik almashinuvini modellashtirish algoritmi.** Radiatsion issiqlik almashinuvini modellashtirish algoritmi quyidagi bosqichlardan iborat.

1. Tadqiqot obyektining geometrik modelini tayyorlash (ko'rib chiqilayotgan holatda - konsentrator-qabul qiluvchi tizim). Tadqiqot maqsadlariga qarab, geometrik model elementlarining mexanik, optik va boshqa xususiyatlarini hisobga olish.

2. Nurlanishning modelini tayyorlash (nurlanish bir nechta elementlardan iborat bo'lishi mumkin). Yorug‘lik maydonini va tushayotgan nurlanish yo'nalishini o'rnatish, kerakli hududlarni o'rganish va hisoblash ishlarini tejash imkonini beradi. Masalan, Quyosh uchun radiatsion to'lqin uzunligini monoxromatik nurlanish yoki spektrda o'rnatish. Har bir nurlanish elementi uchun chiqarilgan nurlar to’plami sonini hisobga olish.

3. Tadqiqot maqsadlariga qarab, boshlang‘ich va chegaraviy shartlarni belgilash.

4. Barcha elementlarni izchil ravishda chetlab o'tib, navbat bilan ularning yuzasida nurlanish mavjud deb qaraymiz. Buning uchun, Monte-Karlo usullariga xos bo'lgan yondashuvga muvofiq, noldan birgacha bir xil taqsimlangan raqamlar qatoridan R tasodifiy sonlarini mustaqil ravishda tanlaymiz, nurlanishning spektral va energiya xarakteristikalari uchun berilgan taqsimot qonunidan foydalanamiz. Nurlanish yo'nalishi markazi uning chiqarilish joyida bo'lgan sferik koordinatalar tizimidagi $\theta_i$ va $\beta_i$ burchaklar bilan tavsiflanadi.

5. Quyidagi amallarni bajarib, har bir nurning yo’nalishi u o'rganilayotgan tizimdan chiqib ketguncha yoki yutilib ketguncha kuzatib boramiz.

5.1. Nur to’plami traektoriyasining geometrik model bilan kesishish nuqtasini topamiz. Faraz qilaylik, α nur tushgan sirt maydoni yutilish qobiliyatiga ega. Umumiy holatda α ning qiymati to'lqin uzunligi va nur tushish yo'nalishiga, g‘adir-budirlik parametrlariga va sirt haroratiga bog‘liq bo'lishi mumkin. Biz noldan birgacha bo'lgan bir xil taqsimlangan raqamlar qatoridan $R_\alpha$ tasodifiy sonini tanlaymiz. Agar bu raqam quyidagi shartni qondirsa

$$0 \le R_\alpha \le \alpha,$$

energiyaning tushgan ulushi to’liq qaytariladi.

5.2. $R_\alpha$ tasodifiy soni quyidagi shartni qanoatlantirsa

$$\alpha < R_\alpha \le 1,$$

ko'rib chiqilayotgan energiya qismi ta'sir nuqtasida sirt tomonidan aks ettiriladi.


ISSN 3030-3907

5.3. Ko'zgu yo'nalishi yuzaning tushish nuqtasidagi optik xususiyatlariga qarab θ va β burchaklarning har bir mahalliy qiymati uchun $R_\theta$ va $R_\beta$ tasodifiy o'zgaruvchilarning taqsimlanish funktsiyalari quyidagi usul bilan aniqlanadi: agar sirt qaytaruvchi bolsa, u holda aks ettirish Dekart-Snell qonuniga muvofiq sodir bo'ladi [5]

$$\vec{l_r} = \vec{l_i} - 2\vec{l}(\vec{n} \cdot \vec{l_i}),$$

bu yerda $\vec{l_r}, \vec{l_i}$ - aks etuvchi va tushayotgan nurlarning yo‘nalish vektorlari, $\vec{n}$ - sirtga normal vektor.

- agar sirtning g‘adir-budirligi bo'lsa, u holda nurning aks ettirish yo'nalishi ko’zguli aks ettirishga o'xshash tarzda aniqlanadi, lekin g‘adir-budirlik parametrlariga muvofiq sirtga normalning standart og‘ish qiymatiga qo'shilishi bilan.

- tarqoq diffuzion aks ettirish holati uchun quyidagi tenglikni yozamiz:

$$sin^2\theta = R_\theta \text{ и } \beta = 2\pi R\beta$$

6. Barcha nurlarning traektoriyalarini kuzatib, to'plangan statistik ma'lumotlardan foydalanib, konsentrator-qabul qiluvchi tizim ishchi yuzalari orgali butun tizimning nurlanish xususiyatlarini aniqlaymiz. Natijada, ko'zgu (sirtning tarqalishi) ko'rsatkichlarini, burchak koeffitsientlarini va issiqlik oqimining taqsimlanishini olamiz.

7. Olingan issiqlik oqimlarining qiymatlari issiqlik almashinuv jrayonlarini hal qilishga imkon beradi. Harorat maydonlari ikki o'lchovli ifoda chekli elementlar usuli yordamida aniqlanadi.

Agar sirtlarning nurlanish xususiyatlarini, issiqlik oqimlarining taqsimlanishini va harorat maydonlarini aniqlash uchun oldingi bosqichda olingan harorat maydonlarining qiymatlarini chegara shartlari sifatida ishlatib, 3-7-bosqichlarni takrorlaymiz.

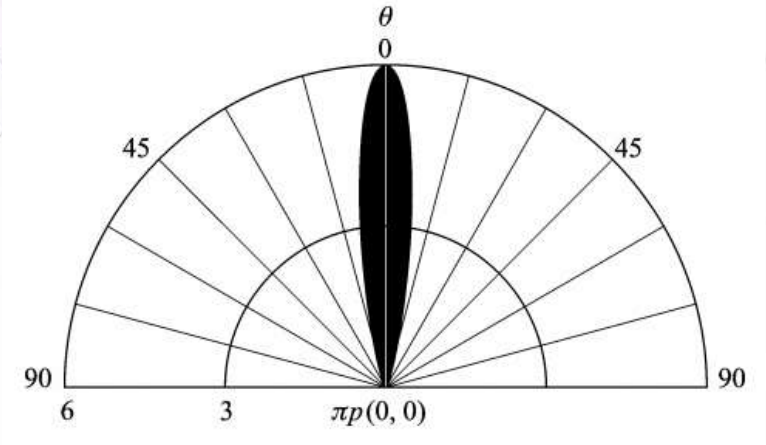
**Modellashtirish natijalari.** Yuqoridagi algoritmni amalga oshirish uchun dastur ishlab chiqildi. Ushbu dastur bizga quyidagilarni hisoblash imkonini beradi:

— konstruktiv elementlar uchun aks ettirish ko‘rsatkichlari (1-rasm) va ixtiyoriy geometrik tizimlari uchun burchak koeffitsientlari;

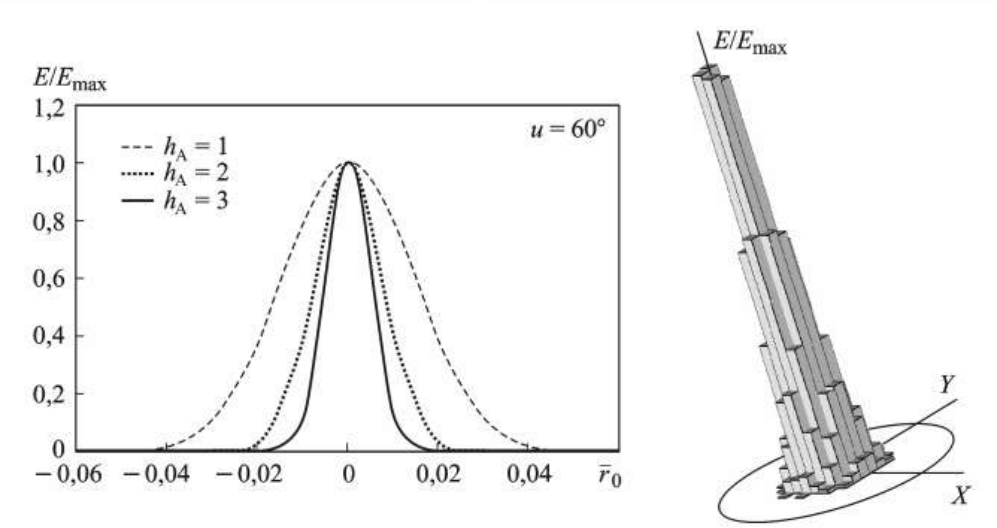
— ixtiyoriy o’lchamdagi kontsentrator-qabul qiluvchining ishchi yuzalarida issiqlik oqimi zichligini taqsimlash (2-rasm);

— ixtiyoriy o’lchamdagi konsentrator-qabul qiluvchi tizimi uchun geometrik (2) va energiya (3) samaradorligi (3-rasm).


ISSN 3030-3907



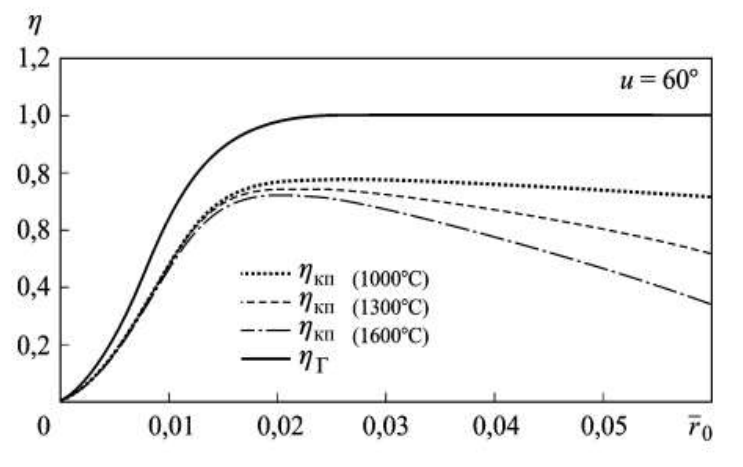

**1-rasm. Sirtga normal tushayotgan nurlanish sayqallangan alyuminiydan yasalgan yassi namunaning akslanish ko'rsatkichi.**




**2-rasm. Konsentratordan akslangan (a) va fazoda (b) proektsiyadagi issiqlik oqimi zichligining konsentrator-qabul qiluvchi tizimi uchun qabul qiluvchiga kirishda taqsimlanishi, 2-shakilda ko'rsatilgan.**

$\bar{r}_0$— qabul qiluvchi kirish radiusining kontsentrator radiusiga nisbati; E— konsentratsiyalangan issiqlik oqimining zichligi ; $E_{max}$ - markazlashtirilgan nuqta markazida konsentratsiyalangan issiqlik oqimining maksimal zichligi; $h_A$ – Qurilmaning aniqlik o'lchovi [3].


ISSN 3030-3907




**3-rasm. Konsentrator-qabul qiluvchi tizimining geometrik $\eta_g$ va energetik $\eta_{kp}$ FIK. ($\eta_{kp}$ qabul qiluvchining ishchi yuzasi haroratiga bog‘liq holda)**

**XULOSA.** Yuqori haroratli quyosh energetik qurilmalarining konsentrator-qabul qiluvchi tizimining ishlab chiqilgan matematik modelini ishlab chiqish orqali:

- tizimning asosiy energetik xususiyatlarini hisoblash, shuningdek matematik modellashtirish va bashorat qilish imkonini beradi.

- ko'zgu ko'rsatkichi uchun olingan natijalar [11] da keltirilgan eksperimental qiymatlari, issiqlik oqimining zichligi va konsentrator-qabul qiluvchi tizimining FIK taqsimoti bo'yicha – qurilmaning aniqlik o'lchovi usuli (Gauss usuli) yordamida olingan natijalar bilan yaxshi mos keladi. [3].

## ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Khuzhakulov S., Faiziev T., Sherkulov B., Murodov I., Samatova Sh., Analysis of scientific research conducted to improve the efficiency of solar concentrator systems. BIO Web of Conferences 71, 02033 (2023) https://doi.org/10.1051/bioconf/20237102033
2. Ruzikulov G., Ibragimov U., Ruzikulov A., Sherkulov B., Khidirov M. Mathematical modeling of the drying chamber of the combined solar dryer-cooler unit. BIO Web of Conferences 71, 02027 (2023) https://doi.org/10.1051/bioconf/20237102027
3. Leonov V. _ V. Quyosh energiyasini konsentrator-qabul qiluvchi tizimida radiatsiya orqali issiqlik almashinuvi jarayonini modellashtirish // Texnologiyadagi issiqlik jarayonlari. Fan va texnologiya. – 2009. – T. 1, No 8. – C . 340–342.
4. Skrebushevsky B. S. Quyosh energiyasini o'zgartiradigan kosmik elektr stantsiyalari . – M.: Mashinostroenie, 1992. – 224 b.
5. Santrifüj ramkasiz katta o'lchamli kosmik tuzilmalar. /G.G. Raykunov , V.A. Komkov, V.M. Melnikov va boshqalar - M.: Fizmatlit . 2009.– 448 b.
6. Zohidov R.A., Umarov G.A., Vayner A.A. Quyosh-texnik kontsentratsion tizimlarning nazariyasi va hisobi. – Toshkent: Fan, 1977. – 144 b .


ISSN 3030-3907

7. Z akh i d o v R. A. Quyosh kontsentratsiyasi tizimlarining texnologiyasi va sinovi. – Toshkent: Fan, 1978. – 184 b .
8. Favorskiy O.N. Kosmik elektr harakat tizimlari nazariyasi asoslari . – M.: Yuqori . maktab , 1970. – 488 b .
9. Mahan JR Radiatsion issiqlik uzatish: statistik yondashuv. - Nyu-York: Wiley & Sons, 2002. - 500 p.
10. Siegel R., Howel l JR Termal nurlanish issiqlik uzatish. - Nyu-York: Taylor & Frensis, 2002. - 857 p.
11. Zenkevich O. Texnologiyada chekli elementlar usuli: Tarjima. ingliz tilidan – M.: Mir, 1975. –538 b .
12. Sperrou E. M., Sess R. D. Radiatsiya orqali issiqlik uzatish: Tarjima. ingliz tilidan – L.: Energetika, 1977. – 294 b.


ISSN 3030-3907

# PARABOLASILINDRIK KONSENTRATORLI ISSIQLIK TA'MINOTI TIZIMIDA ISSIQLIK ALMASHINUVI JARAYONLARINI MATEMATIK MODELLASHTIRISH

**Sherqulov Bahrom G'ulomovich**
*Qarshi davlat texnika universiteti katta o'qituvchi*

**Annotatsiya.** Quyosh energiyasidan foydalanishga asoslangan issiqlik tizimlari, xususan parabola silindrik konsentratorlar yordamida issiq suv olish texnologiyalari bugungi kunda global energetika tizimining muhim yo'nalishlaridan biriga aylanmoqda. Bunga asosiy sabab — dunyo miqyosida issiq suvga bo'lgan talabning keskin ortib borayotgani va an'anaviy yoqilg'ilar hisobiga ishlab chiqariladigan issiqlik energiyasining ekologik va iqtisodiy jihatdan tobora qimmatlashib borayotganidir. So'nggi yillarda olib borilgan tahlillar shuni ko'rsatadiki, global miqyosda suvni isitish uchun har yili trillionlab kilovatt-soat energiya sarflanadi[1]. Masalan, Xalqaro qayta tiklanuvchi energiya agentligi hisobotlariga ko'ra, faqatgina maishiy issiq suv ta'minoti uchun sarflanadigan energiya hajmi yiliga 4000–5000 TWh atrofida baholanadi. Bu ko'rsatkich ayrim rivojlangan davlatlarda umumiy elektr energiyasi iste'molining 15–25% ini tashkil etadi. Shu bilan birga, issiq suvga bo'lgan talab aholi sonining o'sishi, urbanizatsiya jarayonlari va sanoatning kengayishi natijasida yiliga o'rtacha 2–3% ga ortib bormoqda. Quyosh energiyasidan issiqlik olish texnologiyalari, xususan parabola silindrik konsentratorlar bu muammoning samarali yechimlaridan biri hisoblanadi. Ushbu qurilmalar quyosh nurlarini fokus chizig'iga jamlash orqali yuqori issiqlik zichligini hosil qiladi va natijada issiqlik tashuvchi muhit (masalan, transformator moyi) orqali katta miqdordagi issiqlik energiyasini olish imkonini beradi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, bunday tizimlar yordamida issiqlik tashuvchi moy haroratini 200–250°C gacha, suv haroratini esa 80–100°C gacha yetkazish mumkin[1-3-4]. Bu ko'rsatkichlar issiq suv ta'minoti va texnologik jarayonlar uchun yetarli darajada hisoblanadi.

**Kalit so'zlar:** parabola silindrik konsentrator (ptc), quyosh issiqlik energiyasi, issiq suv ta'minoti, issiqlik tashuvchi suyuqlik (htf), qayta tiklanuvchi energiya, energiya samaradorligi, sanoat issiqlik jarayonlari.

**Abstract.** Solar-driven thermal systems, particularly hot water production technologies utilizing parabolic trough collectors (PTCs), are emerging as a pivotal component of the global energy landscape. This shift is primarily driven by the escalating global demand for domestic hot water and the increasing environmental and economic burdens associated with heat generation from conventional fossil fuels. Current longitudinal analyses indicate that water heating accounts for trillions of kilowatt-hours of energy consumption annually on a global scale. Specifically, according to the International Renewable Energy Agency (IRENA),

energy consumption for domestic hot water (DHW) is estimated at approximately 4,000–5,000 TWh per annum. In several developed economies, this figure represents 15–25% of the total residential electricity load. Furthermore, driven by demographic growth, rapid urbanization, and industrial intensification, the demand for hot water is projected to grow at an average annual rate of 2–3%. Concentrating solar power (CSP) technologies, specifically parabolic trough collectors, offer a highly efficient solution to mitigate these challenges. By concentrating direct normal irradiance (DNI) onto a focal line, these systems achieve high flux density, facilitating the transfer of significant thermal energy to a heat transfer fluid (HTF), such as transformer oil. Empirical research demonstrates that such configurations can elevate HTF temperatures to 200–250°C, subsequently yielding water temperatures in the range of 80–100°C. These thermal performance indicators are highly suitable for both large-scale hot water supply and diverse industrial process heat (IPH) applications.

**Keywords:** Parabolic trough collector (PTC), solar thermal energy, hot water supply, heat transfer fluid (HTF), renewable energy, energy efficiency, industrial process heat (IPH).

**Аннотация.** Тепловые системы на основе использования солнечной энергии, в частности технологии получения горячей воды с применением параболоцилиндрических концентраторов (ПЦК), становятся одним из важнейших направлений современной глобальной энергетической системы. Основными факторами этого процесса являются резкий рост мирового спроса на горячее водоснабжение, а также возрастающие экологические и экономические издержки производства тепловой энергии на базе традиционных видов топлива. Анализ последних лет показывает, что в глобальном масштабе на нагрев воды ежегодно затрачиваются триллионы киловатт-часов энергии. В частности, согласно отчетам Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), объем энергопотребления исключительно для нужд бытового горячего водоснабжения оценивается в пределах 4000–5000 ТВтч в год. В ряде развитых стран данный показатель составляет 15–25% от общего потребления электроэнергии. Параллельно с этим, вследствие роста численности населения, процессов урбанизации и расширения промышленного сектора, спрос на горячую воду увеличивается в среднем на 2–3% в год. Технологии гелиотермальной генерации, в особенности параболоцилиндрические концентраторы, рассматриваются как одно из эффективных решений данной проблемы. Эти устройства обеспечивают высокую плотность теплового потока за счет фокусировки солнечного излучения на фокальной линии, что позволяет получать значительное


ISSN 3030-3907

количество тепловой энергии через теплоноситель (например, трансформаторное масло). Исследования демонстрируют, что при использовании таких систем температура теплоносителя может достигать 200–250°C, а температура воды — 80–100°C. Данные показатели являются достаточными как для систем горячего водоснабжения, так и для различных технологических процессов.

**Ключевые слова:** параболоцилиндрический концентратор (ПЦК), гелиотермальная энергия, горячее водоснабжение, теплоноситель, возобновляемые источники энергии, энергоэффективность, промышленное тепло.

**KIRISH.**

Mazkur ishda parabola silindrik konsentrator asosida ishlaydigan issiqlik tizimining matematik modeli ishlab chiqildi va uning asosiy parametrlarining tizim samaradorligiga ta’siri o‘rganildi. Modelda issiqlik qabul qilgich, transformator moyi va suvli akkumulyator o‘rtasidagi issiqlik almashinuvi differensial tenglamalar tizimi orqali ifodalandi.

Issiqlik qabul qilgich metall bo‘lganligi uchun, uning issiqlik-fizikaviy hossalari asosida issiqlik balansini quyidagicha yoza olamiz:

$$m_m \cdot c_m \cdot \frac{dt_m}{dt} = Q_{nur} - Q_{d-moy} - Q_{yo'q} \qquad (1)$$

bu yerda, $Q_{nur}$ – Quyosh konsentratori yordamida fokusga jamlangan issiqlik nurlanishi, Vt; $Q_{d-moy}$ – issiqlik qabul qilgichidan moyga uzatiladigan issiqlik quvvati, Vt; $Q_{yo'q}$ – issiqlik qabul qilgich devoridan atrof muhitga yo‘qotiladigan issiqlik oqimi, Vt; $m_m$ – issiqlik qabul qilgich metall massasi, kg; $c_m$ – issiqlik qabul qilgich (metal) ning solishtirma issiqlik sig‘imi, $J/kg \cdot ℃$ ; $\frac{dt_m}{d\tau}$ – issiqlik qabul qilgich haroratining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi. (1) ifodaning chap tomondagi hadi devorda vaqt birligida to‘planayotgan yoki kamayayotgan issiqlik miqdorini bildiradi.

Quyosh konsentratori yordamida issiqlik qabul qilgichga nurlanish orqali beriladigan issiqlik oqimini quyidagicha yozamiz:

$$Q_{nur} = I(\tau) \cdot A_k \cdot \eta_{opt} \qquad (1a)$$

bu yerda, $I(\tau)$ – yuza birligiga tushadigan quyosh radiatsiyasi, $\frac{Vt}{m^2}$; $A_k$ – konsentrator maydoni, $m^2$; $\eta_{opt}$ – konsentratorning optik samaradorligi.

Issiqlik qabul qilgich devori bilan moy orasidagi issiqlik almashinuvini quyidagi ifoda orqali hisoblaymiz

$$Q_{d-moy} = U_{d-moy} \cdot A_{d-moy} \cdot (t_d - t_{moy}), \qquad \frac{1}{U_{d-moy}} = \frac{1}{h_{moy}} + \frac{\delta_d}{\lambda_d} \qquad (2)$$


ISSN 3030-3907

bu yerda, $U_{d-moy}$ – devordan moyga issiqlik uzatish koeffitsienti, $(Vt/m^2 \cdot ℃)$; $h_{moy}$ – devor-moy orasidagi konvektiv issiqlik uzatish koeffitsienti, $(Vt/m^2 \cdot ℃)$; $\delta_d$, $\lambda_d$ – mos ravishda metalning qalinligi (m) va issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsienti, $Vt/m^2 \cdot ℃$; $A_{d-moy}$ – devor va moy tutashgan issiqlik almashinuv yuzasi, $m^2$; $t_d$ – devor harorati, ℃; $t_{moy}$- moy harorati ℃;

Issiqlik qabul qilgich devoridan atrof-muhitga yo‘qotiladigan issiqlikni quyidagicha yoza olamiz

$$Q_{yo'q} = U_{yo'q} \cdot A_m \cdot (t_d - t_{a-m}) \quad (3)$$

bu yerda, $A_m$ – devorning tashqi issiqlik almashinuv yuzasi $(m^2)$ bo‘lib, amaliy hisoblashlarda ichki issiqlik almashinuv yuzasiga $(A_m = A_{d-moy})$ deb qabul qilish mumkin; $t_{a-m}$ – atrof-muhit harorati, ℃; $U_{yo'q}$ – issiqlik qabul qilgichdan atrof-muhitga issiqlik yo‘qotish koeffitsienti bo‘lib, uni quyidagicha hisoblash mumkin.

$$U_{yo'q} = h_{kon} + h_{nur}\,, \quad h_{kon} = 5.7 + 3.8 \cdot v\,, \quad h_{nur} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_d^2 - T_{a-m}^2)(T_d - T_{a-m}) \quad (3a)$$

bu yerda, $h_{kon}$ – issiqlik qabul qilgichdan atrof-muhitga konveksiya orqali (konvektiv) issiqlik berish koeffitsienti, $Vt/m^2 \cdot ℃$; $h_{nur}$ – sirtdan atrof-muhitga nurlanish orqali issiqlik yo‘qotish koeffitsienti, $Vt/m^2 \cdot ℃$; $v$ – shamol tezligi, $\frac{m}{s}$; $\varepsilon$ – sirtning nurlanish qobiliyati; $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ $\frac{Vt}{m^2K^4}$ – Stefan-Boltsman doimiysi; $T_d, T_{a-m}$ – devor va atrof-muhit haroratlarining absolyut haroratlari, K.

Moy quvur yoki kvadrat shakldagi profilda harakatlanganda haroratining uzunlik bo‘yicha yoki vaqt bo‘yicha o‘zgarishini quyidagicha ifodalashimiz mumkin:

$$m_{moy} \cdot c_{moy} \frac{dt_{moy}}{dx} = U_{d-moy} \cdot p_d\left(t_d - t_{moy}\right),$$

$$m_{moy} \cdot c_{moy} \frac{dt_{moy}}{d\tau} = U_{d-moy} \cdot A_{d-moy}\left(t_d - t_{moy}\right) - U_{moy-suv} \cdot A_{moy-suv} \cdot \left(t_{moy} - t_{suv}\right) \quad (4)$$

bu yerda, $m_{moy}$ , $c_{moy}$ – mos ravishda issiqlik qabul qilgich ichida harakatlanadigan moyning massasi (kg) va solishtirma issiqlik sig‘imi $j/kg \cdot ℃$; $A_{moy-suv}$ – Bak-akkumulyator ichida joylashgan issiqlik almashtirgich (zmeyvik) yuzasi, $m^2$ ; $t_{moy}$ – moyning o‘rtacha harorati, ℃; $t_{suv}$ – suvning harorati, ℃; $U_{moy-suv}$ – maydon suvga issiqlik uzatish koeffitsienti $(Vt/m^2 \cdot ℃)$ bo‘lib, uni quyidagi ifoda orqali hisoblash mumkin:

$$\frac{1}{U_{moy \cdot suv}} = \frac{1}{h_{moy}} + \frac{\delta_q}{\lambda_q} + \frac{1}{h_{suv}},\ \frac{\delta_q}{\lambda_q} \ll \frac{1}{h_{moy}},\ \frac{1}{h_{suv}},\ U_{moy-suv} \approx \left(\frac{1}{h_{moy}} + \frac{1}{h_{suv}}\right)^{-1}$$


ISSN 3030-3907

bu yerda, $h_{moy}$ – maydon issiqlik almashinuv quvuriga issiqlik berish koeffitsienti, $\frac{Vt}{m^{2}\cdot℃}$; $h_{suv}$ – issiqlik amashinuv quvuridan suvga issiqlik berish koeffitsienti, $\frac{Vt}{m^{2}\cdot℃}$; $\delta_q$ , $\lambda_q$ – mos ravishda issiqlik almashinuv quvurining qalinligi (m) va issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsienti (4) ifodani moyning o‘rtacha harorati bilan ishlasak ikkinchi tenglama orqali ifodalasak bo‘ladi.

Suvli bak issiqlik akkumulyator uchun energiya balansini quyidagicha yozishimiz mumkin.

$$m_{suv}\cdot c_{suv}\frac{dt_{suv}}{d\tau}=U_{moy-suv}\cdot A_{moy-suv}\left(t_{moy}-t_{suv}\right)-U_{d.bak}\cdot A_{d.bak}\cdot \left(t_{suv}-t_{a-m}\right) \quad (5)$$

bu yerda, $m_{suv}$ , $c_{suv}$ – mos ravishda bak akkumulyatordagi suvning massasi (kg) va solishtirma issiqlik sig‘imi, $j/kg\cdot℃$ ; $t_{suv}$ – suv harorati, ℃ ; $A_{d.bak}$ – suvli bakning tashqi devor sirtining yuzasi, $m^2$; $U_{d.bak}$ – suvli bakning tashqi yuzasidan atrof-muhitga issiqlik uzatish (yo‘qotish) koeffitsienti ($\frac{Vt}{m^{2}\cdot℃}$) bo‘lib quyidagi ifoda orqali hisoblanadi[1-2-5-7-12].

$$\frac{1}{U_{d.bak}}=\frac{\delta_d}{\lambda_d}+\frac{\delta_{i2}}{\lambda_{i2}}+\frac{1}{h_{a-m}} \quad (5a)$$

bu yerda, $\delta_d$, $\delta_{i2}$, va $\lambda_d$, $\lambda_{i2}$ – mos ravishda bak akkumulyator materialining va izolyatsiya qatlamining qalinliklari (m) hamda o‘tkazuvchanlik koeffitsientlari $\frac{Vt}{m\cdot℃}$; $h_{a-m}$ – bak akkumulyator tashqi devoridan atrof muhitga issiqlik berish koeffitsienti ($\frac{Vt}{m^{2}\cdot℃}$) bo‘lib, amaliy hisoblashlarda (3a) ifodadagi konvektiv issiqlik berish koeffitsientiga teng ($h_{kon}=h_{a-m}$) deb qabul qilish mumkin[1-9-15-18].

Yuqoridagilarni hisobga olib, (1), (4), (5) differensial tenglamalarni (2), (3) ifodalarni hisobga olib tizimli ko‘rinishda quyidagicha yoza olamiz

$$\begin{cases} m_m\cdot c_m\frac{dt_d}{d\tau}=I(\tau)\cdot A_k\cdot\eta_{opt}-U_{d-moy}\cdot A_{d-moy}\cdot\left(t_d-t_{moy}\right)-U_{yo'q}\cdot A_{d-moy}\cdot\left(t_d-t_{a-m}\right) \\ m_{moy}\cdot c_{moy}\frac{dt_{moy}}{d\tau}=U_{d-moy}\cdot A_{d-moy}\cdot\left(t_d-t_{moy}\right)-U_{moy-suv}\cdot A_{moy-suv}\cdot\left(t_{moy}-t_{suv}\right) \\ m_{suv}\cdot c_{suv}\frac{dt_{suv}}{d\tau}=U_{moy-suv}\cdot A_{moy-suv}\cdot\left(t_{moy}-t_{suv}\right)-U_{d.bak}\cdot A_{d.bak}\cdot\left(t_{suv}-t_{a-m}\right) \end{cases} \quad (6)$$

(6) tenglamalar sistemasini[1-3-11-17-20] yechishdan oldin kanonik ko‘rinishga keltiramiz va quyidagicha yozamiz.

$$\begin{cases} \frac{dt_d}{d\tau}=-\frac{A_{d-moy}\left(U_{d-moy}+U_{yo'q}\right)}{m_m\cdot c_m}\cdot t_m+\frac{U_{d-moy}\cdot A_{d-moy}}{m_m\cdot c_m}\cdot t_{moy}+\frac{U_{yo'q}\cdot A_{d-moy}}{m_m\cdot c_m}\cdot t_{a-m}+\frac{I(\tau)\cdot A_k\cdot\eta_{opt}}{m_m\cdot c_m} \\ \frac{dt_{moy}}{d\tau}=\frac{U_{d-moy}\cdot A_{d-moy}}{m_{moy}\cdot c_{moy}}\cdot t_d-\frac{U_{d-moy}\cdot A_{d-moy}+U_{moy-suv}\cdot A_{moy-suv}}{m_{moy}\cdot c_{moy}}\cdot t_{moy}+\frac{U_{moy-suv}\cdot A_{moy-suv}}{m_{moy}\cdot c_{moy}}\cdot t_{suv} \\ \frac{dt_{suv}}{d\tau}=\frac{U_{moy-suv}\cdot A_{moy-suv}}{m_{suv}\cdot c_{suv}}\cdot t_{moy}-\frac{U_{moy-suv}\cdot A_{moy-suv}+U_{d-bak}\cdot A_{d-bak}}{m_{suv}\cdot c_{suv}}\cdot t_{suv}+\frac{U_{d-bak}\cdot A_{d-bak}}{m_{suv}\cdot c_{suv}}\cdot t_{a-m} \end{cases} \quad (7)$$


ISSN 3030-3907

(7) tenglamalar sistemasini matritsa ko‘rinishida yozib olishdan oldin, sistemadagi haroratlar vektorini A va B koeffitsientlarini belgilab olamiz.

$$T(\tau) = \begin{bmatrix} t_d \\ t_{moy} \\ t_{suv} \end{bmatrix}, \quad \frac{dt}{d\tau} = At + B \qquad (8)$$

$$A\begin{bmatrix} -\frac{A_{d-moy}\left(U_{d-moy} + U_{yo'q}\right)}{m_m \cdot c_m}, & \frac{U_{d-moy} \cdot A_{d-moy}}{m_m \cdot c_m}, & 0 \\ \frac{U_{d-moy} \cdot A_{d-moy}}{m_{moy} \cdot c_{moy}}, & -\frac{U_{d-moy} \cdot A_{d-moy} + U_{moy-suv} \cdot A_{moy-suv}}{m_{moy} \cdot c_{moy}}, & \frac{U_{moy-suv} \cdot A_{moy-suv}}{m_{moy} \cdot c_{moy}} \\ 0, & \frac{U_{moy-suv} \cdot A_{moy-suv}}{m_{suv} \cdot c_{suv}}, & -\frac{U_{moy-suv} \cdot A_{moy-suv} + U_{d-bak} \cdot A_{d-bak}}{m_{suv} \cdot c_{suv}} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{I(\tau) \cdot A_k \cdot \eta_{opt} + U_{yo'q} \cdot A_{d-moy} \cdot t_{a-m}}{m_m \cdot c_m} \\ 0 \\ \frac{U_{d.bak} \cdot A_{d.bak} \cdot t_{a-m}}{m_{suv} \cdot c_{suv}} \end{bmatrix}$$

Yuqoridagi tenglamalar sistemasidagi o‘zgarmas qiymatlarni 1- jadvalda keltiramiz [1-21-23-25].

**1-jadval**

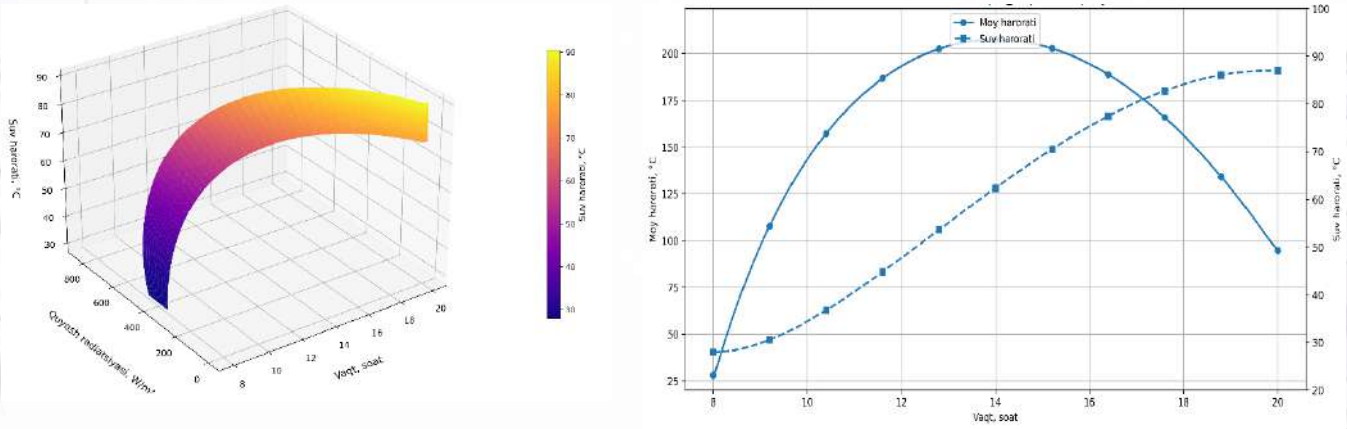
**Parametrlar jadvali**

| № | Parametr nomi | Belgilanishi | Birligi | Qiymati |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Konsentrator maydoni | $A_k$ | m² | 1 |
| 2. | Optik samaradorlik | $\eta_{opt}$ | - | 0,82 |
| 3. | Devor va moy tutashgan issiqlik almashinuv yuzasi | $A_{d-moy}$ | m² | 0,15 |
| 4. | Bak-akkumulyator ichida joylashgan issiqlik almashtirgich (zmeyvik) yuzasi | $A_{moy-suv}$ | m² | 0,1 |
| 5. | Suvli bakning tashqi devor sirtining yuzasi | $A_{d.bak}$ | m² | 1,8 |
| 6. | Issiqlik qabul qilgich metal massasi | $m_m$ | kg | 3,9 |
| 7. | Metall (po‘lat) solishtirma issiqlik sig‘imi | $c_m$ | $J/kg \cdot ℃$ | 460 |
| 8. | Moy massasi | $m_{moy}$ | kg | 8 |
| 9. | Moy solishtirma issiqlik sig‘imi | $c_{moy}$ | $J/kg \cdot ℃$ | 5500 |
| 10. | Suv massasi | $m_{suv}$ | kg | 80 |
| 11. | Suvning solishtirma issiqlik sig‘imi | $c_{suv}$ | $J/kg \cdot ℃$ | 4180 |

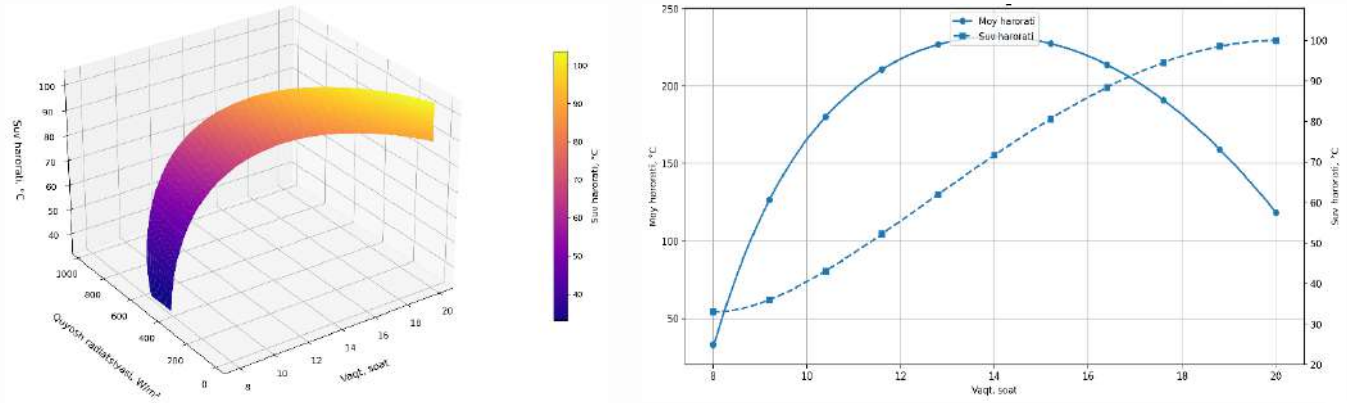

ISSN 3030-3907

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 12. | Stefan-Boltsman doimiysi | $\sigma$ | $\frac{Vt}{m^2K^4}$ | $5{,}67 \cdot 10^{-8}$ |
| 13. | Sirtning nurlanish qobiliyati | $\varepsilon$ | - | 0,78 |

Tashqi havo harorati va quyosh raditasiyasini Qarshi shahri sharoiti uchun 2025 yil 15-may, 15-iyun, 15-iyul, 15-avgust sanalaridagi ma’lumotlari asosida (7), (8) ifodalarning hisoblash natijalarini 1-4 rasmlarda keltiramiz.

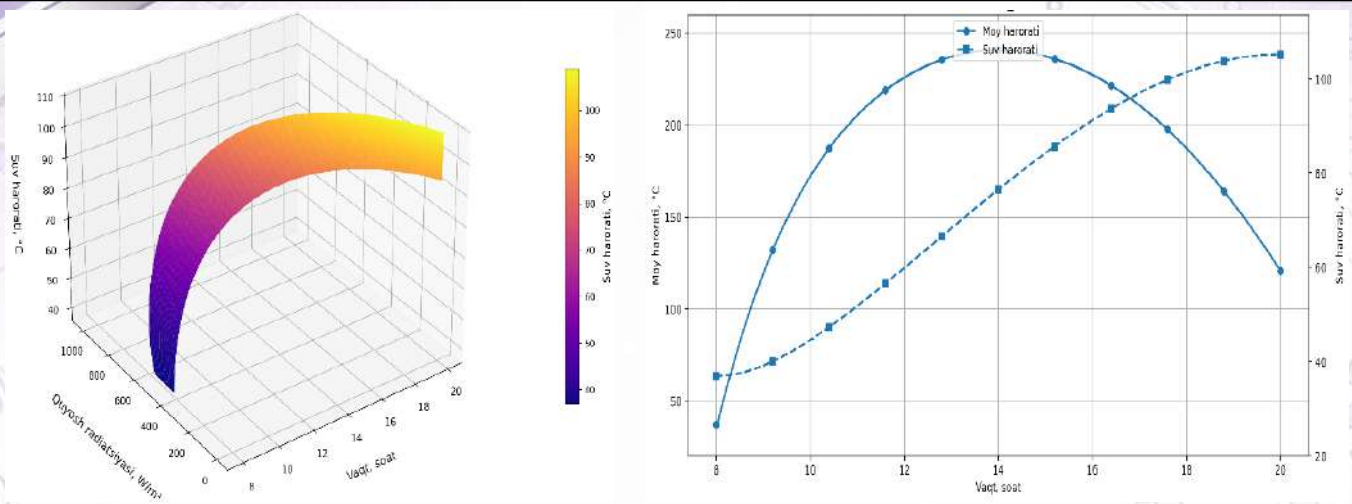



**1-rasm. Qarshi shahri sharoti uchun (15.05.2025) parabolasilindrik konsentrator issiqlik qabul qilgichidagi moy hamda bak-akkumulyatordagi suv haroratining sutkalik vaqt davomida o‘zgarishi**

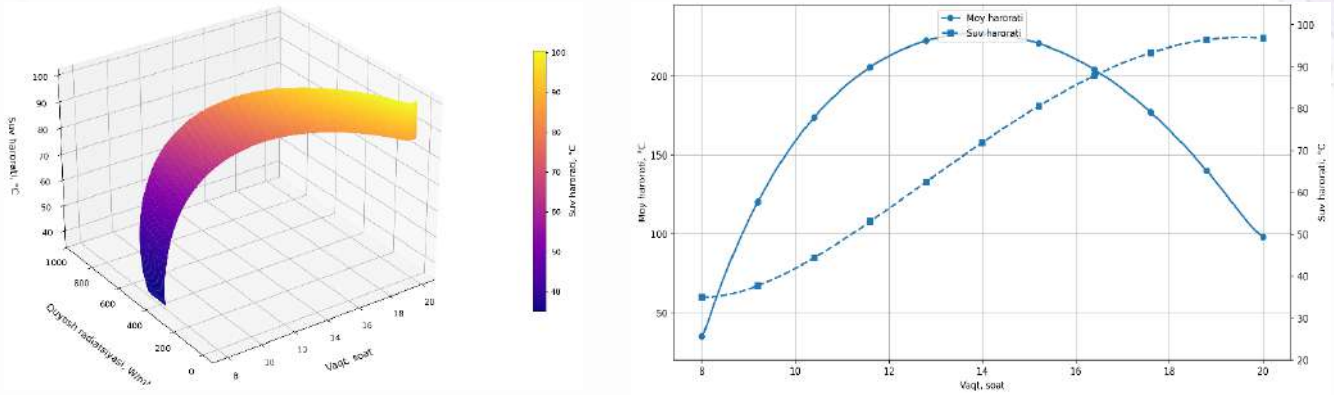



**2-rasm. Qarshi shahri sharoti uchun (15.06.2025) parabolasilindrik konsentrator issiqlik qabul qilgichidagi moy hamda bak-akkumulyatordagi suv haroratining sutkalik vaqt davomida o‘zgarishi**


ISSN 3030-3907




**3-rasm. Qarshi shahri sharoti uchun (15.07.2025) parabolasilindrik konsentrator issiqlik qabul qilgichidagi moy hamda bak-akkumulyatordagi suv haroratining sutkalik vaqt davomida o‘zgarishi**




**4-rasm. Qarshi shahri sharoti uchun (15.08.2025) parabolasilindrik konsentrator issiqlik qabul qilgichidagi moy hamda bak-akkumulyatordagi suv haroratining sutkalik vaqt davomida o‘zgarishi**

1-rasmdan ko‘rish mumkinki, moyning harorati 200 °C dan yuqori qiymatlarga ko‘tariladi. Suv haroratining o‘zgarishi esa nisbatan inertroq xarakterga ega bo‘lib kun davomida asta-sekin ortib boradi va maksimal qiymati 85–90 °C atrofida ko‘tariladi. 2-rasmda esa moy haroratining 230 °C ga yaqin, suv harorati esa 90–100 °C oralig‘ida, 3-rasmda moy harorati 240 °C dan yuqori, suv harorati esa 100 °C dan oshishini, 4-rasmda moy harorati 225–230 °C, suv harorati esa 90–98 °C oralig‘ida shakllanishi nazariy hisoblashlar natijasida aniqlandi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Khuzhakulov S., Faiziev T., Sherkulov B., Murodov I., Samatova Sh., Analysis of scientific research conducted to improve the efficiency of solar concentrator systems. BIO Web of Conferences 71, 02033 (2023) https://doi.org/10.1051/bioconf/20237102033

2. Ruzikulov G., Ibragimov U., Ruzikulov A., Sherkulov B., Khidirov M. Mathematical modeling of the drying chamber of the combined solar dryer-cooler

unit. BIO Web of Conferences 71, 02027 (2023) https://doi.org/10.1051/bioconf/20237102027

3. Senthil, R., & Cheralathan, M. (2019). Enhancement of the thermal energy storage capacity of a parabolic dish concentrated solar receiver using phase change materials. Journal of Energy Storage, 25, 100841. https://doi.org/10.1016/j.est.2019.100841

4. Ali, B. F. (1990). Theoretical study of main factors affecting the heliostat field design of tower power plant. Energy Conversion and Management, 30(2), 101e106. https://doi.org/10.1016/0196-8904(90)90019-U

5. ASHRAE. (2003). ANSI/ASHRAE standard 93-2003: Methods of testing to determine the thermal performance of solar collectors. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Airconditioning Engineers (ASHRAE).

6. ASTM. (2021). ASTM E905-87(2021) standard test method for determining thermal performance of tracking concentrating solar collectors. Conshohocken: American Society for Testing and Materials.

7. Aurousseau, A., Vuillerme, V., & Bezian, J. (2016). Control systems for direct steam generation in linear concentrating solar power plants - a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 56, 611e630. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.083

8. Avila-Marin, A. L. (2011). Volumetric receivers in solar thermal power plants with central receiver system technology: A review. Solar Energy, 85(5), 891e910. https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.02.002

9. Becker, M., & Sanchez, M. (1989). Wire pack volumetric receiver tests performed at the Plata-forma Solar de Almeria, Spain in 1987 and 1988, SSPS Technical Report, No. 2/89.

10. Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2011). Fundamentals of heat and mass transfer (7th ed.). New Jersey: John Wiley & Sons. Cai, Y. (2013). Measuring gas flow with MEMS sensors. Electronic Products. http://www.electronicproducts.com.

11. Delta-T Devices. (2000). User manual for DL2e data logger. Cambridge: Delta-T Devices. Dunham, M. T., & Iverson, B. D. (2014). High-efficiency thermodynamic power cycles for concentrated solar power systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 30, 758e770. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.010

12. Dutta, P. (2017). High temperature solar receiver and thermal storage systems. Applied Thermal Engineering, 124, 624e632. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.06.028


ISSN 3030-3907

13. Ebert, M., Benitez, D., Ro¨ger, M., Korzynietz, R., & Brioso, J. A. (2016). Efficiency determination of tubular solar receivers in central receiver systems. Solar Energy, 139, 179e189. https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.08.047
14. Fricker, H. W. (1986). Tests with a small volumetric wire receiver. In Proceedings of the third international Workshop on solar thermal central receiver systems. Konstanz, Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
15. Grasse, W. (1991). PHOEBUS international 30 MWe solar tower plant. Solar Energy Materials, 24, 82e94. https://doi.org/10.1016/0165-1633(91)90050-U
16. Grove, D. M., & Davis, T. P. (1992). Engineering, quality and experimental design. Essex: Longman Scientific & Technical.
17. Hans, V., & Windorfer, H. (2003). Comparison of pressure and ultrasound measurements in vortex flow meters. Measurements, 33, 121e133.
18. Henry, M., Tombs, M., Zamora, M., & Zhou, F. (2013). Coriolis mass flow metering for threephase flow: A case study. Flow Measurement and Instrumentation, 30, 112e122. https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2013.01.003
19. Ho, C. K. (2016). A review of high-temperature particle receivers for concentrating solar power. Applied Thermal Engineering, 109, 958e969. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.04.103
20. Ho, C. K. (2017). Advances in central receivers for concentrating solar applications. Solar Energy, 152, 38e56. https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.03.048
21. Islam, M. T., Huda, N., Abdullah, A. B., & Saidur, R. (2018). A comprehensive review of state-ofthe-art concentrating solar power (CSP) technologies: Current status and research trends.
22. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 91, 987e1018. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.097
23. ISO. (2017). ISO Standard 9806:2017 Solar energy- solar thermal collectors - test methods. Geneva: International Organization of Standardization (ISO).
24. Janotte, N., Wilbert, S., Sallaberrt, F., Schroedter-Homscheidt, M., & Ramirez, L. (2017). Principles of CSP performance assessment. In P. Heller (Ed.), The Performance of concentrated
25. solar power (CSP) systems: modelling, measurement and assessment (pp. 31e64). Woodhead Publishing.
26. Karni, J., Kribus, A., Doron, P., Rubin, R., Fiterman, A., & Sagie, D. (1997). The DIAPR: A high pressure high-temperature solar receiver. Transactions of ASME Journal of Solar Energy Engineering, 119, 74e78. https://doi.org/10.1115/1.2871853
27. Korzynietz, R., Brioso, J. A., del Rı´o, A., Quero, M., Gallas, M., Uhlig, R., Ebert, M., Buck, R., & Teraji, D. (2016). Solugas - comprehensive analysis of the


ISSN 3030-3907

solar hybrid Brayton plant. Solar Energy, 135, 578e589. https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.06.020

28. Madhlopa, A. (2018). Principles of solar gas turbines for electricity generation. Springer International Publishing AG. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68388-1_7

# ГЕЛИОИССИҚХОНАДА ИССИҚЛИК ЙЎҚОТИЛИШЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ ВА ТАДҚИҚОТ ҚИЛИШ

**Шерқулов Баҳром Ғуломович**
*Қарши давлат техника университети катта ўқитувчи*

**Аннотация.** Мақолада гелиоиссиқхонада йўқотиладиган иссиқлик миқдорлари бўйича илмий тадқиқот натижалари, ҳисоблаш услублари ва уларга таъсир қилувчи омиллар келтирилган. Гелиоиссиқхоналарда келтирилган ва йўқотиладиган иссиқлик миқдорларининг узатилиш усуллари келтирилган. Гелиоиссиқхона тиниқ юзаси конвекция коэффициентини ҳисоблаш натижалари ва йўқотиладиган иссиқлик миқдорларининг суткалик миқдорлари бўйича тажриба тадқиқоти натижалари келтирилган.

**Калит сўзлар:** иссиқлик узатиш коэффициенти, иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти, иссиқлик йўқотилиши, иссиқлик юкламаси.

**Abstract.** This paper presents the results of scientific research on heat loss parameters in solar greenhouses, along with computational methodologies and key influencing factors. The mechanisms of heat gain and loss distribution within solar greenhouse systems are systematically analyzed. Furthermore, the study provides calculation results for the convection coefficient of the greenhouse's transparent cover and empirical data on the daily dynamics of total heat loss. The findings offer critical insights into the thermal performance and energy efficiency of solar-driven agricultural structures.

**Keywords:** heat transfer coefficient, thermal conductivity, heat loss, thermal load, solar greenhouse.

**Аннотация.** В данной статье представлены результаты научных исследований величин теплопотерь в гелиотеплицах, методы их расчета и факторы, оказывающие на них влияние. Рассмотрены способы передачи подводимого и теряемого тепла в гелиотеплицах. Приведены результаты расчета коэффициента конвекции прозрачной поверхности гелиотеплицы и результаты экспериментальных исследований суточной динамики тепловых потерь. Полученные данные позволяют оценить тепловую эффективность и энергетические характеристики гелиотехнических сооружений.

**Ключевые слова:** коэффициент теплоотдачи, коэффициент теплопроводности, теплопотери, тепловая нагрузка, гелиотеплица.

## КИРИШ.

Қуёш иссиқхоналаридаги иссиқлик йўқотилишини ҳисоблаш кам ўрганилган соҳалардан биридир, чунки бу қурилмалар ичидаги ва атрофидаги ҳаво ҳарорати сутка давомида даврий равишда ўзгариб туради. Натижада ички ва ташқи ҳавонинг ҳароратлари фарқи $\Delta t = t_{f1} - t_{f2}$ ҳам


ISSN 3030-3907

даврий ўзгариб туради. Даврий иссиқлик таъсирида (гармоник тўлқинлар ҳолати) иссиқлик йўқотилишини ҳисоблаш А.М.Шкловер, К.Ф.Фокин ва бошқалар томонидан қаралган. А.М.Фокин усули амалий ҳисоблаш учун кўп меҳнат талаб қилади, ундан ташқари қуёш иссиқхоналарида ҳарорат аниқ гармоник ҳолда ўзгармайди. Иккинчи томондан А.М.Фоник усулидан фойдаланиш учун ҳарорат эгри чизиғини Фурье қаторига ёйиш керак, бу эса ҳисоблашларни мураккаблаштиради [1-4].

Аммо ташқи ва ички ҳавонинг ҳароратлар фарқи $\Delta t$ катта бўлмаганда иссиқлик балансида энергиянинг нурланиш орқали йўқолиши кам бўлиши сабабли, иссиқлик бериш коэффициенти $\alpha, \tau$ давр ичида ўзининг максимал ва минимал қийматларидан кам фарқ қилади. Шунинг учун ҳам қуёш иссиқхоналаридаги иссиқлик йўқотилишини ҳисоблаш учун ўртача ҳароратдан фойдаланиш мумкин. Бу усул содда бўлиб, амалий ҳисоблаш учун етарлидир.

Қуйида шу усулга асосланиб бажариладиган ҳисоблашларга тўхталамиз. Гелиоиссиқхонадан жами йўқотиладиган иссиқлик миқдори қуйидаги ташкил этувчилардан иборат бўлади [6].

$$\sum Q_{Й} = Q_{Т.Ю} + Q_{П} + Q_{Ф} + Q_{Т} \qquad (1)$$

бу ерда $\sum Q_{Й}$ - жами йўқотилган иссиқлик миқдори, Вт; $Q_{Т.Ю}$ - тиниқ юза орқали йўқотилган иссиқлик миқдори, Вт; $Q_{П}$ - иссиқхонанинг тиниқ бўлмаган юзаси орқали йўқотилган иссиқлик миқдори, Вт; $Q_{Ф}$ - фундамент орқали йўқотилган иссиқлик миқдори, Вт; $Q_{Т}$ - тирқишлар орқали йўқотилган иссиқлик миқдори, Вт;

Ҳар бир ташкил этувчини ҳисоблашни алоҳида-алоҳида кўриб ўтамиз. Иссиқхонанинг катта қисми шиша билан қоплангани сабабли иссиқлик йўқотиш ҳам катта бўлади. Мазкур ҳолда иссиқхона ичидаги ҳаво конвекция йўли билан ички қатламдаги шишага берилади. Иссиқхона ичидаги ҳаводан шишага конвекция орқали, оралиқдаги ҳавога иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан, оралиқдаги ҳаво ташқи қаватдаги шишага конвекция йўли билан, ундан конвекция орқали атрофдаги муҳитга тарқалади. Ҳароратлар фарқи катта бўлмагани учун нурланиш орқали иссиқлик йўқотилиши кам бўлади.

$Q_{Ш}$ ни ҳисоблаш учун олдин шу юзадан ўтаётган солиштирма иссиқлик оқими $q$ ни топамиз. Қўшни вақт бўлаклари орасида, яъни бир соат давомида ҳарорат фарқи жуда катта бўлмагани учун жараённи, тахминан стационар деб қабул қиламиз. Иссиқликнинг берилиши узлуксиз бўлгани учун барча тўсиқлардан бир хил иссиқлик миқдори ўтади. Шунга кўра қуйидагидарни ёза оламиз [6-8]:

$$q = \alpha_1 (t_{f1} - t_{w1})$$


ISSN 3030-3907

$$q = \frac{\lambda_1}{\delta_1}(t_{w1} - t_{w2})$$
$$q = \frac{\varepsilon_R \lambda x + \alpha_л \delta_X}{\delta_X}(t_{w2} - t_{w1}) \quad (2)$$
$$q = \frac{\lambda_2}{\delta_2}(t_{w3} - t_{w4})$$
$$q = \alpha_2(t_{w4} - t_{f2})$$

бу ерда: $\alpha_1$ - ички ҳавонинг иссиқлик бериш коэффициенти, Вт/(м²°С); $\alpha_2$ - ташқи ҳавога иссиқлик бериш коэффициенти, Вт/(м²°С); $\lambda_1, \lambda_2$ - шишанинг ва ҳавонинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти, Вт/(м°С); $t_{f1}$ - ички ҳаво ҳарорати, °С; $t_{f2}$ - ташқи ҳаво ҳарорати, °С; $t_{w1}, t_{w2}, t_{w3}, t_{w4}$ - тегишли қатламдаги шиша ҳароратлари, °С; $\delta_1$, $\delta_2$- шишанинг қалинликлари, мм.

(2) ифодаларни ўнг томонидаги ҳароратлар айирмаларини топиб олиб, ҳадлаб қўшамиз

$$q\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_X}{\lambda_{ЭКВ}} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}\right) = t_{f1} - t_{f2} \quad (3)$$

бу ерда $\lambda_{ЭКВ} = \varepsilon_К \lambda_X + \alpha_\lambda \cdot \delta_X$ шишалар орасидаги ҳаво қатламининг эквивалент иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти. Шишалар қалинлиги ва иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти бир ҳил, яъни $\delta_1 = \delta_2 = \delta$ ва $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$ бўлади. Буларни эътиборга олиб (3) ни қуйидагича ёза оламиз.

$$q\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{2\delta}{\lambda} + \frac{\delta_X}{\lambda_{ЭКВ}} + \frac{1}{\alpha_2}\right) = t_{f1} - t_{f2} \quad (4)$$

ва

$$k = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{2\delta}{\lambda} + \frac{\delta_X}{\lambda_{ЭКВ}} + \frac{1}{\alpha_2}\right)}; \quad (5)$$

ни белгилаб оламиз ва бунга иссиқлик ўтказиш коэффициенти дейилади. Солиштирма иссиқлик оқими эса

$$q = k(t_{f1} - t_{f2}) \quad (6)$$

га тенг бўлади.

Демак, тиниқ юза орқали сутка давомида тўла иссиқлик йўқотилиши

$$Q_ш = K_ш \Delta t_ш \cdot F_ш \cdot \tau \quad (7)$$

ифода орқали ҳисобланади [9].

Ҳисоблашларни амалга ошириш учун (7) формулада $F_Ш$ ва $\tau$ маълум, $\Delta \bar{t}_Ш$ термографлар ёзувининг суткалик ўртача қиймати асосида топилади. Аммо К нинг ўртача қийматини топиш учун (5) ифодадаги $\alpha_1, \alpha_2$ ва $\lambda_{экв.}$ ларни билиш керак.

Бу миқдорлар қуйидагича аниқланади: гелиоиссиқхонада эшик, форточка ва қувур ёпиқ бўлган пайтда ҳаво ҳаракати эркин конвекция


ISSN 3030-3907

натижаси бўлиб қуйидагича ҳосил бўлади: эрталаб қуёш энергияси шиша юзаси орқали ўта бошлагач ҳаво исий бошлайди. Исиган ҳаво юқорига кўтарилади ва аккумулятор орқали совуб пастга тушади. Бу ҳароратлар фарқига боғлиқ бўлиб, қанчалик катта бўлса, конвекция ҳам шунча катта бўлади. Шунга кўра ҳавонинг ҳаракати ламинар ёки турбулент бўлиб, эркин конвекция Грасгоф ва Прандтель критериялари асосида ўзгаради. Грасгоф критерияси қуйидаги ифода билан аниқланади [8-10].

$$Gr = g\beta\Delta t\frac{l^3}{v^2}; \qquad (8)$$

бу ерда $g$ - эркин тушиш тезланиши, м/сек$^2$; $\beta$ - ҳажм кенгайишининг термик коэффициенти, $\frac{1}{^\circ C}$; $\Delta t$ - ҳароратлар фарқи, $^0$C; $l$ - системанинг характерли узунлиги ўлчови, $м$; $v$ - кинематик ёпишқоқлик коэффициенти, $\frac{м^2}{сек}$.

Прандтель критерияси эса: $Pr = \frac{v}{a}$; $a$ - ҳарорат ўтказувчанлик коэффициенти, $\frac{м^2}{сек}$; Агар $Gr_f\, Pr_f \rangle 10^9$ бўлса, оқим турбулент, $Gr_f\, Pr_f \langle 10^3$ бўлганда эса ламинар бўлади. Кўп ҳолларда гелиоиссиқхоналарда $Gr_f\, Pr_f \rangle 10^9$ бўлади. Шунинг учун ҳам $\alpha_1$ ни аниқлашда қуйидаги

$$Nu_{f;t} = 0{,}15(Gr_{f,l}\cdot Pr_{j,l})^{0{,}33}\left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0{,}25};\ \alpha_1 = \frac{Nu_{f,l}\cdot\lambda_f}{l}; \qquad (9)$$

Нуссельт критериясидан фойдаланилади [3]. Ҳисоблаш учун $\lambda, v, a$ жадвалдан олинади. Одатда гелиоиссиқхона учун характерли узунлик ўлчови $l$ сифатида тиниқ юза кўндаланг кесими узунлиги олинади.

Иссиқхонанинг ташқи қават шиша юзасидан атрофдаги ҳавога иссиқлик бериш коэффициенти ҳам критериал тенгламалар ёрдамида ҳисобланади. Ташқи совуқ ҳаво иссиқхона юзаси бўйича ҳаракат қилганда, шу юза билан ҳаракатланувчи ҳаво ўртасида иссиқлик алмашиш содир бўлади. Бунда юза томонидан ташқи ҳавога бериладиган иссиқлик миқдори Рейнольдс сонига (Re) боғлиқ. Агар Рейнольдс сони $Re \rangle 4\cdot 10^4$ бўлса, оқим турбулент бўлади. Бу ҳолда $\alpha_2$ ни аниқлаш учун қуйидаги критериал тенгламадан фойдаланилади [11].

$$Nu_{f;t} = 0{,}037\,Re^{0{,}8}{}_{f,l}\cdot Pr^{0{,}43}\left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0{,}25};\ a_2 = \frac{Nu_{f\cdot l}\cdot\lambda_f}{l}; \qquad (11)$$

Бу ҳисоблашлар ва аниқловчи ҳарорат учун ташқи ҳаво ҳароратининг ўрта арифметик қиймати, аниқловчи ўлчов сифатида шиша билан қопланган юзанинг кенглиги олинади. Ҳавонинг тезлиги аниқ ҳолда анимометр билан ўлчаниб, ҳарорат сингари ўрта қийматидан фойдаланилади.


ISSN 3030-3907

Қурилманинг иссиқлик узатиш коэффициенти К ни ҳисоблаш учун зарур бўлган навбатдаги иссиқлик ўтказувчанликнинг эквиваленти $\lambda$ экв, қуйидагича ҳисобланади. Маълумки, илмий адабиётларда горизонтал ва вертикал жойлашган иккита тўсиқ билан чегараланган ҳаво қатламлари орқали иссиқликнинг берилиши яхши ёритилган. Аммо шу қатламлар гелиоиссиқхоналардагидек қиялатиб жойлаштирилгандаги ҳол етарли ёритилмаган. Бундай ҳаво қатламларида бир вақтнинг ўзида иссиқлик ўтказувчанлик ва конвекция ҳодисалари содир бўлади. Бундай мураккаб иссиқлик алмашиш жараённи ҳисоблашни осонлаштириш учун иссиқлик ўтказувчанлик эквивалент коэффициенти

$$\lambda_{экв} = \frac{Q_\delta}{l \cdot \Delta t}; \qquad (12)$$

киритилади.

Бу миқдорнинг муҳит иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентига нисбати конвекция коэффициентига тенг бўлади, яъни [12]

$$\varepsilon_R = \frac{\lambda_{ЭКВ}}{\lambda_{МУХТ}};$$

Иккинчи томондан $\varepsilon_R$ - Грасгоф ва Прандтл критерияларига боғлиқ, яъни

$$\varepsilon_R = f(Gr_X \cdot Pr_X); \qquad (13)$$

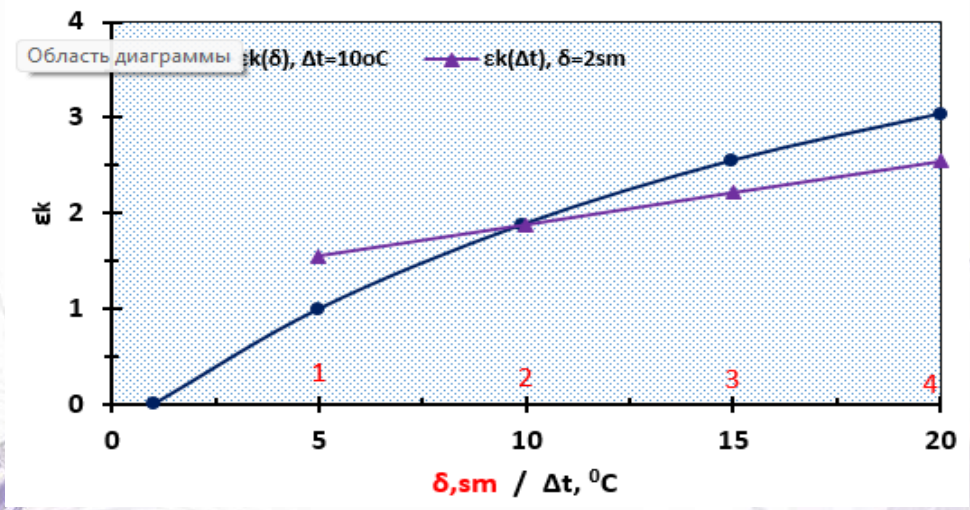
Агар $Gr_{X1}\, Pr_{X1} \langle 10^3$ бўлса, $\varepsilon = 1$ бўлиб $\lambda_{ЭКВ} =; \lambda_{МУХ}$ бўлади.

$$Gr_f \cdot Pr_f \langle 10^3$$

бўлган ҳолларда тахминий ҳисоблашлар учун [13]

$$\varepsilon_R = 0{,}18(Gr_{X1} \cdot Pr_{X1})^{0{,}25};\ \varepsilon_R = A\sqrt{\delta^3 \Delta t}; \qquad (14)$$

фойдаланилади. Бундан $A = 0{,}18\frac{(g\beta\, Pr)^{0{,}25}}{v^{0{,}5}}$; гелиоиссиқхонанинг иккала шиша оралиғи ва ҳароратлар фарқи турлича бўлган ҳол учун $\varepsilon_R$ нинг $\delta$ ва $\Delta t$ қараб ўзгариш графиги 1-расмда келтирилган.




**1-расм. Иссиқхонада конвекция коэффициентининг ҳаво қалинлиги ва ҳароратлар фарқига қараб ўзгариши.**


ISSN 3030-3907

Юқорида $\alpha_1, \alpha_2$ $\lambda_{экв}$ ларни ҳисоблаганда фақат конвекция ва иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан иссиқлик йўқотилиши ҳисобга олинади. Аммо иссиқлик йўқотилиши нурланиш йўли билан ҳам бўлади. Жисмларнинг энергия нурланишлари Стефан-Больцман қонунига асосланади, яъни [13]

$$Q_0 = \sigma T^4; \qquad (15)$$

бу ерда $\sigma_0 = 5{,}7 \cdot 10^{-8} \frac{вт}{м^2 \cdot °K^4}$; - Стефан-Больцман доимийси;

Техник ҳисоблашларда Стефан-Больцман қонуни бошқача кўринишда ҳам берилади.

$$Q_0 = c_0 \left(\frac{T}{100}\right)^4;$$

бу ерда $c_0 = \sigma_0 \cdot 10^8 = 5{,}7 \frac{вт}{м^2 \cdot °K^4}$;

Буни иссиқхонанинг тиниқ сиртига тадбиқ этсак

$$Q_{1,2} = \varepsilon_{КЕЛ} \cdot c_0 F \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right] \qquad (16)$$

бўлади. Бу ерда $T_1, T_2$ биринчи ва иккинчи қаватларнинг ўртача ҳароратлари $\varepsilon_{КЕЛ}$ га системанинг келтирилган қоралик даражаси дейилади ва у қуйидагига тенг бўлади.

$$\varepsilon_{КЕЛ} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1};$$

бу ерда $\varepsilon_1$ ва $\varepsilon_2$ шишанинг қоралик даражаси. Одатда шишалар учун $\varepsilon_1 = \varepsilon^2 = \varepsilon = 0{,}9$ бўлгани учун $\varepsilon_{КЕЛ}$=0,818 га тенг.

Нурланиш йўли билан иссиқлик бериш коэффициенти эса $\alpha_H = \frac{Q_{1,2}}{T_1 - T_2}$; га тенг бўлади. Худди шунингдек ҳароратлар фарқи катта бўлганда шишалар орасидаги ҳаво қатламини ҳам ҳисобга олиш зарур. Бундай ҳолда вертикал қатламлар учун [14]

$$\lambda_{ЭКВ} = \lambda_X \varepsilon_R + \alpha_H \cdot \delta_X \qquad (19)$$

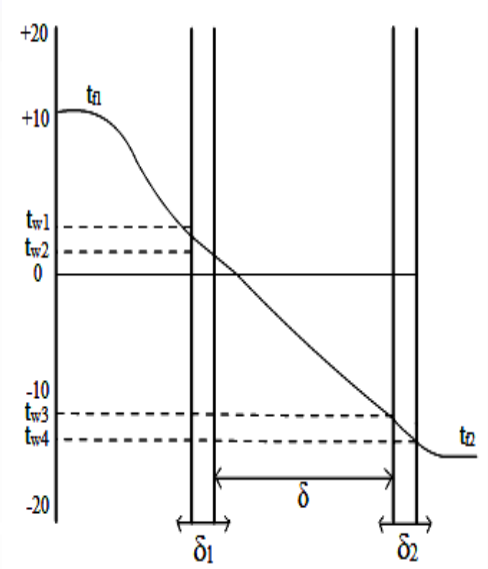
горизонтал қатламлар учун қуйидаги шаклда

$$\lambda_{экв} = \lambda_X \varepsilon_R K(\Delta t) + \alpha_H \delta_{X1} \qquad (20)$$

бўлади. Бу ерда $K(\Delta t)$ коэффициент бўлиб, ҳароратлар фарқига боғлиқ $K(\Delta t)$ нинг сон қийматлари махсус адабиётдаги жадвалда берилган. Гелиоиссиқхонада (юза горизонтга қиялатилган) ҳароратлар фарқи кам бўлгани учун $K(\Delta t) = 1$ олинади.

Юқорида айтилгандек ташқи ва ички ҳавонинг ҳароратлари термографлар ёрдамида ёзиб олиб аниқланади. $t_{w1}, t_{w2}, t_{w3}, t_{w4}$ ларнинг қийматлари керак бўлганда график усулдан фойдаланиб топиш мумкин. Қуйидаги 2-расмда январь ойининг бошида (энг совуқ йил 2023 йил) график равишда юзада ўртача ҳароратларнинг тақсимланишлари келтирилган.


ISSN 3030-3907




**2-расм. Иссиқхона шиша қатламларида ҳароратнинг тақсимланиши.**

Шундай қилиб, тажрибадан олинган миқдорлар ёки олдиндан берилган миқдорларга кўра, қараб ўтилган усул ёрдамида $\alpha_1, \alpha_2$ ва $\lambda_{экв}$ ҳисобланиб, тиниқ юзанинг иссиқлик узатиш коэффициенти К - нинг ўртача қиймати аниқланиб сўнгра $Q_{Ш}$ ҳисоблаб чиқилади. Берилган қурилма учун ташқи минимал ҳарорат – $18^0$C ва ички минимал ҳарорат $+4^0$C бўлганда суткалик иссиқлик йўқотиш $Q_Ш$=110352 ккал=463,5 МЖ тенг.

Қуёш иссиқхонасининг тиниқ юзасидан иссиқлик йўқотилишини сутка давомида ҳар бир соат учун ҳисоблаб чиқиб, ҳароратни ўртача усул билан солиштириш мумкин. Гелиоиссиқхоналарнинг бошқа тиниқ бўлмаган қисмлари, девор, фундамент тўсиқлари орқали иссиқлик йўқотилиши юқоридаги усул ёрдамида ҳисобланади. Фақат буларда ҳаво қатлами бўлмагани учун масала осонлашади.

Қурилманинг тиниқ бўлмаган қисми орқали иссиқлик йўқотилиши

$$Q_n = \bar{K}_n \cdot \Delta \bar{t}_n \cdot F_n \cdot \tau \qquad (21)$$

бўлади, бу ерда $K_n = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1}+\sum\frac{\delta_i}{\lambda_i}+\frac{1}{\alpha_2}}$. $Q_n$ - ҳам ўз навбатида 3 та қўшилувчидан иборат бўлади.

$$Q_n = Q`_1 + Q`_2 + Q`_3 \qquad (22)$$

$Q_1'$ - иссиқхонанинг тиниқ бўлмаган шимолий нишаби орқали, $Q_2'$ - аккумулятор томи орқали, $Q_3'$ - аккумуляторнинг ташқи девор орқали йўқотилган иссиқлик миқдорлари (Ж).

Шимолий нишаб, аккумулятор томи ва шимолий ташқи девор иссиқликни кам йўқотиши учун бир неча қават қилиб ясаган ва улар ҳар қайсисининг термик қаршилиги, $R = \frac{\lambda}{\delta}$ ҳам ҳар хил. Шунинг учун ҳар қайси қатлам учун $\frac{\lambda}{\delta}$ ҳисобланиб $\bar{K}$ учун уларнинг йиғиндиси $\sum\frac{\lambda i}{\sigma i}$ олинади.


ISSN 3030-3907

Берилган кун учун ҳисоблашлар $Q_п$=2700 ккал/сутка=11,3 МЖ/сутка га тенг эканлигини кўрсатди.

Умумий иссиқлик йўқотилишига яна бир қўшилувчи, фундамент орқали иссиқликнинг йўқотилиши киради, у (23) ва (24) формулалар[15]

$$Q_Ф = \bar{K}_Ф \cdot \Delta\bar{t}_Ф \cdot F_Ф \cdot \tau; \quad (23)$$

$$K_Ф = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1}+\frac{\delta}{\lambda}+\frac{1}{\alpha_2}}; \quad (24)$$

орқали ҳисобланади. Сутка давомида фундамент орқали иссиқлик йўқотилиши $Q_ф$=5520 ккал/сутка=23,2 МЖ/сутка ташкил қилади.

Қуёш иссиқхонасининг муваффақиятли ишлаши унинг герметик бўлишига боғлиқ, чунки унда иссиқлик манбаи бўлмайди. Амалиёт шуни кўрсатадики, рамаларга ойналарни ўтказиш пайтида кичик тирқишлар қолса, қуёшдан олинган энергиянинг бир қисми шу тирқишлар орқали ташқи муҳитга тарқалади. Гелиоиссиқхона учун тирқишлар орқали иссиқлик йўқотилишини аниқлашнинг етарли услуби ишлаб чиқилмаган.

Бу масала П.А.Жубалиева томонидан сув чучутгич учун қаралган П.Р.Ризаев эса қуйидаги формуладан фойдаланди [4].

$$Q_2 = j\varphi pl\{\int_0^{\tau} [c(t_1 - t_H)q_B^0 \cdot i_B^0 - q_n i_H]d\tau + \int_{\tau}^{\tau 1}[c(t_T^0 - t_T^0) + q_B^0 i_B^0 - q_H^0 i_H^0]\, d\tau \quad (25)$$

Шунинг учун ҳам шишанинг нур ўтказиш сифатига ва иссиқхонанинг қанча йил ишлатилишига қараб, бу қўшилувчини 5-15 фоизга олиш мумкин.

$Q_T$ ни аниқлаш учун қуйидаги баланс тенгламасидан фойдаланиш мумкин

$$Q_T = \sum Q_{Й} - Q_{Ш} - Q_{П} - Q_{Ф} \quad (26)$$

Шунга кўра, олинган кун учун $Q_T$=15200 ккал/сутка=63,84 МЖ/сутка келиб чиқади.

Барча тўсиқларнинг иссиқлик ўтказиш коэффициентларининг ўртача қийматлари бўйича гелиоиссиқхонанинг иссиқлик йўқотилишини ҳисоблаш янада соддалашади. Бизнинг ҳол учун бу қурилманинг иссиқлик узатиш коэффициенти

$$\overline{K}_o = \frac{K_c F_c + K_n F_n + K_ф F_n}{F_c + F_n + F_ф} = 1{,}3\frac{ккал}{м^2 \cdot соат \cdot {}^o C} = 1{,}51\frac{Вт}{м^2 \cdot {}^o C}$$

бўлади ва йиғинди йўқотилган иссиқлик миқдори

$$\sum Q_{Й} = \bar{K}\sum F_0(\bar{t}_{f1} - \bar{t}_{f2})\tau;$$

орқали ҳисобланади. Қуйида 1-жадвалда (6-7 январ) сутка давомида йўқотилган иссиқликнинг ҳисоб бўйича миқдори келтирилган.

**1-жадвал**

| | **МЖ** | | **МЖ** |
|---|---|---|---|


ISSN 3030-3907

| Соатлар | Соат $\sum Q_{й}$ | Соатлар | Соат $\sum Q_{й}$ |
|---|---|---|---|
| 8 | 20,95 | 20 | 27,24 |
| 9 | 19,69 | 21 | 24,72 |
| 10 | 19,27 | 22 | 23,34 |
| 11 | 23,05 | 23 | 22,63 |
| 12 | 28,28 | 24 | 22,00 |
| 13 | 33,90 | 1 | 21,16 |
| 14 | 37,92 | 2 | 20,95 |
| 15 | 37,92 | 3 | 20,53 |
| 16 | 35,99 | 4 | 20,41 |
| 17 | 32,68 | 5 | 20,36 |
| 18 | 29,54 | 6 | 20,32 |
| 19 | 27,65 | 7 | 20,28 |

П.Ф.Ризаев гелиоиссиқхоналардан иссиқлик йўқотилишини ҳисоблашда Г.С.Карслоу формуласидан фойдаланади, яъни [4,16]

$$Q_1 = K_1 F_1 \left[\int_0^{\tau} (t_{\tau} - t_H)d\tau + \int_{\tau}^{\tau 1} (t_T^0 - t_H^0)dt\right]; \qquad (27)$$

бу ерда $t_T, t_H$ ва $t_T^0, t_H^0$ лар гелиоиссиқхонадаги ва очиқ майдондаги кундузги, кечки ҳаво ҳароратлари. П.Ф.Ризаевнинг кўрсатиши бўйича 60 % иссиқлик тиниқ юза ва 30 % иссиқлик иссиқхона асоси орқали йўқотилади.

Иситилмайдиган, одатдаги парниклар, иссиқхоналарнинг иссиқлик режимлари бўйича Л.Н.Ануфриев ва бошқалар текшириш ишлари олиб борганлар. Уларнинг кўрсатишларича, одатдаги иссиқхоналарнинг термик қаршиликлари жуда кам, нолга яқин бўлади, яъни иссиқлик йўқотишлари гелиоиссиқхонага қараганда қисқа муддат ичида кўп бўлиб, ички ҳаво ҳарорати тезлик билан пасайиб кетади.

## ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. Фокин Ф.Ю. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий, М., Госстройиздат, 1953.
2. Умаров Ғ.Ё., Ершов А.А. Қуёш инсон хизматида, Тошкент, “Фан”, 1972.
3. Якубов Ю.Н. Исследование по аккумулированию энергии в гелиотеплицах, Автореферат канд.дисс., Ташкент, 1972.
4. Рзаев П.Ф. Исследование теплового режима гелиотеплицы, технико-экономическое обоснование использования в ней для обогрева естественных источников энергии на примере Апшеронского района, Автореферат канд.дисс., Баку, 1967.
5. Ergashev, Sh.H., Faiziev, T.A., Mamedova, D.N., Khuzhakulov, S.M. Results of mathematical modeling of nostatic temperature temperature heating of "Livestock heat complex" through the use of solar and bio energy (2022)


ISSN 3030-3907

Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 12296, art. no. 122960U,.
6. Ergashev, Sh.H., Fayziev, T.A., Tilavov, Yu.S., Sattorov, B.N., Khidirov, M.M., Mirzayorova, S.U. Mathematical modeling of greenhouse-livestock complex heated by solar and bioenergy sources (2022) IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1070 (1), art. no. 012031, .
7. Khusenov, A.A., Davlonov, K.A., Ergashev, S.H. Heat balance modeling of heat pipe biogas-biofertilizer device reactor (2022) IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1070 (1), art. no. 012032, .
8. Ergashev, Sh.H., Fayziev, T.A., Khusenov, A.A. Mathematical modeling of heat regime of underground heat accumulator (2023) AIP Conference Proceedings, 2612, art. no. 030019,.
9. Khamraev S. I, Ibragimov U. Kh Kamolov B.I. Removal of hydrodynamic lesions of a heated floor with a solar collector // APEC-V-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1070(2022) 012018 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/1070/1/012018.
10. Sh Mirzaev, J Kodirov, S I Khamraev. Method for determining the sizes of structural elements and semi-empirical formula of thermal characteristics of solar dryers// APEC-V-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1070(2022) 012021 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/1070/1/012021.
11. G. Uzakov, S. Mamatkulova, S. Ergashev. Thermal mode of the condenser of a pyrolysis bioenergy plant with recuperation of secondary thermal energy. E3S Web of Conferences, 411, 01021 (2023).
12. S. Ergashev, T. Faiziev, S. Yakhshiboev, I. Fayzullaev. Modeling and optimization of the parameters of the heat accumulator of the combined livestock-heliogreenhouse complex. BIO Web of Conferences, 71, 01121 (2023).
13. G. Uzakov, S. Mamatkulova, S. Ergashev, F. Qodirov, A. Turayev. Modeling of heat exchange processes in a condenser of a pyrolysis bioenergy plant. BIO Web of Conferences, 71, 02021 (2023).
14. I. Nematov, B. Khairiddinov, S. Ergashev. Modeling the temperature regime of the heat accumulator. BIO Web of Conferences, 71, 02036 (2023).
15. A.A. Khusenov and et al. Evaluation of heat losses of the solar greenhouse during the heating season. E3S Web of Conferences, 411, 01025 (2023).
16. Sh.H. Ergashev, T.A. Fayziev, A.A. Khusenov. Mathematical modeling of heat regime of underground heat accumulator. AIP Conference Proceedings, 2612, 030019 (2023).


ISSN 3030-3907

# TO‘QIMACHILIK SANOATIDA YASHIL TRANSFORMATSIYA VA RAQOBATBARDOSHLIKNI OSHIRISH STRATEGIYALARI

**Do‘stqobilov Ulug`bek Ibroximovich**
*Toshkent to‘qimachilik va yengil sanoat instituti Tayanch doktorant*
*Tel.: +998 97 330 98 93*
*E-mail: dustkobilovulugbek@gmail.com*

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada O‘zbekiston to‘qimachilik sanoatida yashil transformatsiyani amalga oshirish va raqobatbardoshlikni oshirishning asosiy yo‘nalishlari tahlil qilinadi. Tadqiqotda energiya tejash texnologiyalari, ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirish usullari, sifat menejmenti tizimlari (ISO 9001, Kaizen, Lean) va ularning iqtisodiy samaradorligi ko‘rib chiqilgan. Shuningdek, Yevropa Ittifoqining CBAM mexanizmi va uning O‘zbekiston eksportchilari uchun yuzaga keltirishi mumkin bo‘lgan uglerod solig‘i xavflari o‘rganilgan. Maqolada 2025 yil yakunlari bo‘yicha eksport hajmi 2,5 mlrd dollarga yetgan, 623 ming kishi band bo‘lgan tarmoqning 2028 yilga mo‘ljallangan 7 mlrd dollarlik eksport maqsadiga erishish strategiyalari taklif etiladi. Muallif yashil o‘tishni nafaqat ekologik majburiyat, balki uzoq muddatli iqtisodiy foyda keltiruvchi investitsiya sifatida baholaydi. Xulosa qilib, maqolada klasterlararo hamkorlik, kadrlar malakasini oshirish va qayta tiklanadigan energiyaga bosqichma-bosqich o‘tish bo‘yicha amaliy tavsiyalar berilgan.

**Kalit so‘zlar:** yashil transformatsiya, CBAM, NABC-metod, ISO 9001, Kaizen, to‘qimachilik sanoati, barqaror rivojlanish.

**Аннотация.** В статье рассматриваются основные направления «зеленой» трансформации и повышения конкурентоспособности текстильной промышленности Узбекистана. Анализируются технологии энергосбережения, методы оптимизации производственных процессов, системы менеджмента качества (ISO 9001, Kaizen, Lean) и их экономическая эффективность. Особое внимание уделяется механизму CBAM Европейского союза и возможным рискам введения углеродного налога для узбекских экспортеров. Приведены актуальные статистические данные: объем экспорта в 2025 году достиг 2,5 млрд долл., в отрасли занято 623 тыс. человек. Предложены стратегии достижения целевого показателя экспорта в 7 млрд долл. к 2028 году. Автор обосновывает, что «зеленый» переход — это не только экологическое требование, но и долгосрочная инвестиция, обеспечивающая доступ на международные рынки. В заключение даются практические рекомендации по развитию межкластерной кооперации, повышению квалификации кадров и постепенному переходу на возобновляемые источники энергии.


ISSN 3030-3907

**Ключевые слова:** зеленая трансформация, CBAM, энергоэффективность, текстильная промышленность, Kaizen, ISO 9001, конкурентоспособность

**Abstract.** This article examines the key directions of green transformation and competitiveness enhancement in Uzbekistan's textile industry. The study analyzes energy-saving technologies, production process optimization methods, quality management systems (ISO 9001, Kaizen, Lean), and their economic impact. Particular attention is given to the EU's Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) and the potential carbon tax risks for Uzbek exporters. The paper presents current statistical data: export volume reached USD 2.5 billion in 2025, with 623 thousand people employed in the sector. Strategies for achieving the targeted USD 7 billion export goal by 2028 are proposed. The author argues that green transition is not merely an environmental obligation but a long-term investment that ensures access to international markets. Practical recommendations are provided on inter-cluster cooperation, workforce skill development, and gradual adoption of renewable energy sources.

**Keywords:** green transformation, CBAM, energy efficiency, textile industry, Kaizen, ISO 9001, competitiveness.

**KIRISH.**

XXI asr boshlaridagi global iqlim inqirozi va resurslar tanqisligi to‘qimachilik sanoatini tubdan qayta ko‘rib chiqishga majbur qilmoqda. Jahon to‘qimachilik sanoati yiliga taxminan 93 milliard kubometr suv sarflab, global sanoat chiqindi suvlarining 20% ini hosil qiladi; CO2 emissiyalari bo‘yicha esa aviatsiya va dengiz transporti yig‘indisidan ham ko‘proq ifloslantiradi. Bu raqamlar «yashil transformatsiya» tushunchasini abstrakt siyosat hujjatidan real ishlab chiqarish zaruriyatiga aylantirdi. Barqaror ishlab chiqarishga o‘tmagan korxonalar uchun xalqaro bozorlarga kirish tobora qiyinlashmoqda: xaridorlar, hukumatlar va moliyalashtiruvchi tashkilotlar bu talabni shartnoma majburiyatiga aylantirib bo‘ldi [1].

O‘zbekiston to‘qimachilik sanoati uchun bu masala ayniqsa dolzarbdir. Respublika 2025 yilda 2,5 milliard dollar eksport qildi va 2028 yilga qadar bu ko‘rsatkichni 7 milliard dollarga yetkazishni rejalashtirmoqda — ya'ni uch yil ichida eksportni uch baravar oshirish lozim. Biroq asosiy eksport bozori — Yevropa Ittifoqi — CBAM mexanizmi orqali uglerod zahira moslashtirish talabini joriy qildi. Yevropa standartlarini bajarolmaydigan yetkazib beruvchilar import imtiyozlarini yo‘qotishi yoki qo‘shimcha «uglerod solig‘i» to‘lashi muqarrar. Bundan tashqari, yirik xalqaro brendlar — H&M, Zara, Primark kabi kompaniyalar — o‘z ta'minotchilaridan 2030 yilga qadar qayta tiklanadigan energiyaga to‘liq o‘tishni talab qila boshladi. Bu esa O‘zbekiston korxonalari uchun yashil o‘tishni orqaga surib bo‘lmaydigan strategik ustuvorlikka aylantirmoqda [2].


ISSN 3030-3907

Ushbu maqola iqtisodiy rivojlanish va ekologik javobgarlikni bir-biriga zid deb emas, aksincha, o‘zaro to‘ldiruvchi jarayon sifatida ko‘rib chiqadi. Zamonaviy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, energiya samaradorligiga qilingan har bir dollar investitsiya o‘rtacha 2,5 dollar tejash imkonini beradi; sifat menejmenti tizimlari mahsulot nuqsonlarini 30–50% kamaytiradi; kooperativ tarmoqlarga kirishgan korxonalar yangi bozorlarga chiqishda yolg‘iz faoliyat yuritayotgan raqobatchilariga nisbatan 40% kam xarajat sarflaydi. Demak, O‘zbekiston to‘qimachilik sanoatining kelajagi — raqobatbardoshlik va barqarorlikni birgalikda ta'minlaydigan «yashil transformatsiya» modelini qanchalik tez va izchil joriy eta olishga bog‘liq [3].

Bugungi kunda to‘qimachilik sanoati global iqtisodiyotning eng muhim tarmoqlaridan biri bo‘lib, u bir vaqtning o‘zida ekologik, iqtisodiy va ijtimoiy barqarorlik muammolariga duch kelmoqda. Zamonaviy tadqiqotchilar barqarorlikning uchta asosiy qirrasini ajratib ko‘rsatadilar:

• Ekologik barqarorlik — biosfera va atmosferaning funksional holatini saqlab qolish;

• Iqtisodiy barqarorlik — salbiy ta'sirlarsiz uzoq muddatli iqtisodiy o‘sishni ta'minlash;

• Ijtimoiy barqarorlik — inklyuzivlik, tenglik va ijtimoiy hamjihatlik asosidagi jamiyatni shakllantirish.

O‘zbekiston to‘qimachilik sanoati so‘nggi yillarda ulkan o‘zgarishlarga uchradi: 2025 yilda eksport hajmi 2,5 milliard dollarga yetdi, 623 ming kishi ish bilan ta'minlandi. Biroq yashil transformatsiya talablari nafaqat imkoniyat, balki majburiyatga aylanmoqda. O‘zbekiston 2030 yilga qadar qayta tiklanadigan energiya ulushini 40% ga yetkazish va CO2 emissiyasini 34 Mt ga kamaytirish maqsadini belgilagan.

**ADABIYOTLAR TAHLILI.**

To‘qimachilik sanoati global ekologik muammolarning markazida turadi. Leal Filho va boshq. o‘tkazgan keng ko‘lamli tadqiqot shuni ko‘rsatadiki, to‘qimachilik sanoati yiliga 93 milliard kubometr suv iste’mol qilib, global sanoat chiqindi suvlarining 20% ini hosil qiladi va uglerod chiqindilarining sezilarli ulushini tashkil etadi. Ushbu raqamlar to‘qimachilik korxonalari uchun yashil transformatsiyani majburiy va shoshilinch masalaga aylantirib qo‘ydi.

Xitoy to‘qimachilik sanoatining o‘n yillik ma'lumotlari asosida olib borilgan tadqiqotda yashil texnologiya innovatsiyasi samaradorligi o‘lchangan va System-GMM baholash usuli qo‘llangan. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, aylanma iqtisodiyot, yashil energiya va resurs samaradorligi o‘rtasidagi sinergiya uglerod neytralligiga erishishning eng real yo‘lidir. Bundan tashqari, ekologik tartibga


ISSN 3030-3907

solish siyosati to‘qimachilik korxonalarini yashil transformatsiyaga undashning asosiy vositasi sifatida belgilangan [4].

YeI Uglerod Chegarasini Tartibga Solish Mexanizmi (CBAM) so‘nggi yillarda akademik muhitda jiddiy munozara mavzusiga aylandi. Beaufils va boshq. tomonidan o‘tkazilgan tadqiqotda CBAM ning turli amalga oshirish variantlari va ularning savdo hamkorlariga ta'siri miqdoriy jihatdan baholangan. Mualliflar CBAM ning qurilma dizayni sifat jihatidan muhimligini ta'kidlab, uglerod boji stavkasi va qamrab olinadigan mahsulotlar ro‘yxatining kenglik darajasiga qarab ta'sir kuchining sezilarli farq qilishini ko‘rsatadi [5].

O‘rta Dengiz havzasi mamlakatlari misolida CBAM ni tahlil qilgan tadqiqotda «Umumiy ammo Tabaqalashtirilgan Mas'uliyat» (CBDR) tamoyili nuqtai nazaridan CBAM tizimiga tanqidiy baho beriladi.

## TAHLIL VA NATIJALAR

Energiya xarajatlari to‘qimachilik ishlab chiqarishining asosiy xarajat moddalaridan biri. Quyida to‘qimachilik sanoatidagi asosiy energiya tejash sohalari va ularning ahamiyati ko‘rsatilgan (1-rasmga qarang).

To'qimachilik sanoatida energiya tejash imkoniyatlari

| Chora-tadbir | Energiya tejash imkoniyati | To'qimachilikdagi ahamiyati |
|---|---|---|
| Yoritish | 25–30% | Juda yuqori |
| Isitish | 23–26% | Juda yuqori |
| Issiq suv ta'minoti | 22–24% | Yuqori |
| Jarayonni optimallashtirish | 20–30% | Yuqori |
| Dvigatellar | 10–11% | O'rtacha |
| Siqilgan havo | 20–24% | O'rtacha |
| Chiqarish tizimlari | 15–20% | O'rtacha |
| Bino izolyatsiyasi | 23–24% | Past |
| Konditsioner | 7–8% | Juda past |

Manba: energieeffizienz-im-betrieb.net; Marc Bovenschulte seminar taqdimoti, Toshkent, 2024

Juda yuqori | Yuqori | O'rtacha | Past

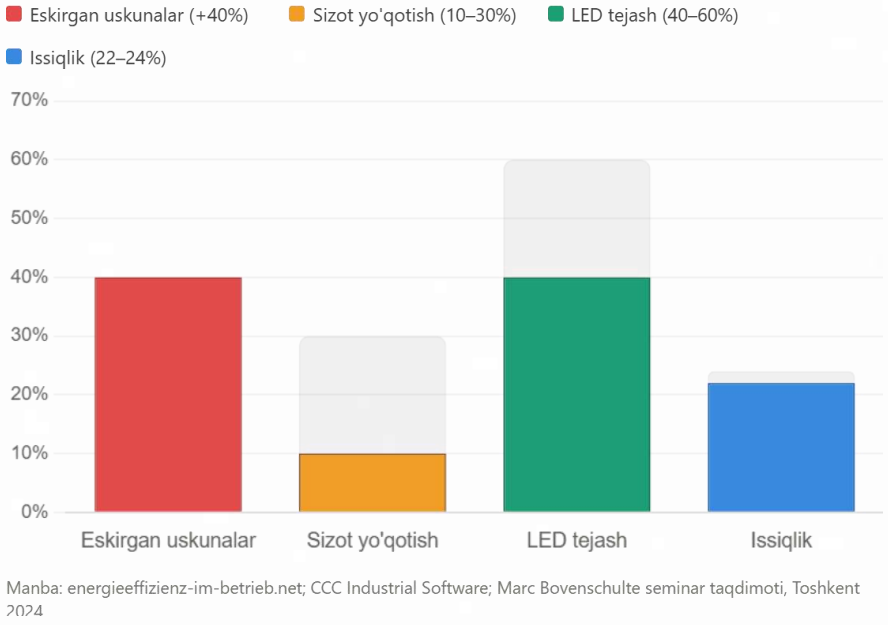
Tahlil:
Jadvaldan ko'rinib turibdiki, to'qimachilik korxonalarida eng katta energiya tejash salohiyati yoritish (25–30%) va isitish (23–26%) sohalarida — ular ustuvor investitsiya yo'nalishi hisoblanadi.

**1-rasm. To‘qimachilik sanoatidagi asosiy energiya tejash sohalari**

Yuqoridagi tahlil shuni ko‘rsatadiki, to‘qimachilik korxonalarida energiya tejashning eng katta salohiyati yoritish (25–30%) va isitish (23–26%) sohalarida to‘plangan bo‘lib, bu ikki yo‘nalish birgalikda umumiy energiya sarfining


ISSN 3030-3907

yarmidan ko‘prog‘ini tashkil etadi va "juda yuqori" ahamiyat darajasiga ega. Shu bilan birga, jarayonni optimallashtirish (20–30%) va issiq suv ta'minoti (22–24%) ham yuqori tejash imkoniyatini taqdim etadi. Qiziqarli jihat shundaki, bino izolyatsiyasi 23–24% kabi nisbatan yuqori tejash ko‘rsatkichiga ega bo‘lsa-da, to‘qimachilik sanoatida uning amaliy ahamiyati "past" deb baholangan — bu ko‘chmas mulk xarajatlarining ijarachi korxonalarga ta'siri kam bo‘lishi bilan izohlanadi. Siqilgan havo tizimlari (20–24%) va chiqarish tizimlari (15–20%) esa o‘rtacha ahamiyatga ega bo‘lishiga qaramasdan, ularning umumiy tejash salohiyati sezilarli — ayniqsa siqilgan havo tizimlarida sizotlarni bartaraf etish minimal kapital xarajat evaziga to‘qimachilik korxonalarida tezkor samara berishi ilmiy adabiyotlarda qayta-qayta tasdiqlangan. Xulosa qilib aytganda, to‘qimachilik korxonalari uchun eng rentabel yo‘nalish — LED yoritish va infraqizil isitish tizimlariga investitsiya qilish bo‘lib, bu chora bir vaqtning o‘zida ham yuqori tejash ko‘rsatkichini, ham tezkor o‘zini qoplashni ta'minlaydi [6].




Manba: energieeffizienz-im-betrieb.net; CCC Industrial Software; Marc Bovenschulte seminar taqdimoti, Toshkent 2024

**2-rasm. To‘qimachilik sanoatidagi energiya tejash imkoniyatlari jadvali. Manba: Marc Bovenschulte seminar taqdimoti, Toshkent 2024**

**1-jadval**

**O‘zbekiston to‘qimachilik sanoati — asosiy ko‘rsatkichlar (2025)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **$2.5 mlrd** Eksport hajmi (2025) | **623 ming** Band bo‘lgan xodimlar | **$2.1 mlrd** Xorijiy investitsiyalar | **$7 mlrd** Eksport maqsadi (2028) |

Manba: O‘zto‘qimachiliksanoat uyushmasi manbasi, 2025 yil dekabr

An'anaviy yoritish tizimlarini LED texnologiyasiga o‘tkazish va harakatni aniqlovchi sensorlar o‘rnatish korxonalarda elektr energiyasi sarfini 40–60% gacha kamaytirish imkonini beradi. Infraqizil nurlanish asosidagi shiftli isitish panellari

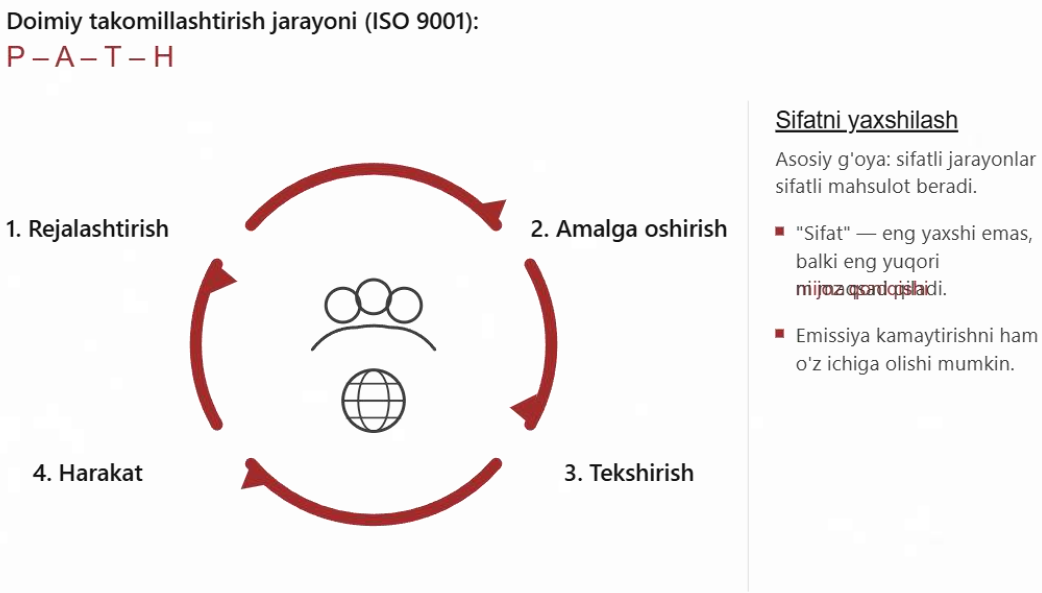

ISSN 3030-3907

havoni emas, balki bevosita ish joylari va uskunalarni isitadi — bu esa energiya samaradorligini yanada oshiradi [7]. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, eskirgan va noto‘g‘ri texnik xizmat ko‘rsatilayotgan uskunalar zamonaviy uskunalarga nisbatan 40% gacha ko‘proq energiya sarflaydi. Ayniqsa ikki muammo alohida e'tiborni talab qiladi:

• **Siqilgan havo tizimlari:** sizot yo‘qotishlari ishlab chiqarilgan hajmning 10–30% ini tashkil etishi mumkin; 80% kompaniyada eng zaif zveno — tarqatish tizimi.

• **Mexanik tizimlar:** yeyilgan podshipniklar tufayli titrash va ishqalanish natijasida vujudga keladigan issiqlik qo‘shimcha energiya sarfiga olib keladi.

To‘qimachilik ishlab chiqarishida jarayonlarni optimallashtirish uchun jahon amaliyotida sinovdan o‘tgan metodologiyalar mavjud. Lean Manufacturing, Six Sigma, Kaizen va Value Stream Mapping kabi yondashuvlar nafaqat mahsuldorlikni oshiradi, balki resurslardan oqilona foydalanishga ham yordam beradi. Ularning zamirida ISO 9001 standarti asosidagi PDCA sikli yotadi (3-rasmga qarang).




**3-rasm. Doimiy takomillashtirish jarayoni: Plan-Do-Check-Act (PDCA) sikli. Manba: Marc Bovenschulte seminar taqdimoti, Toshkent 2024**

Lean Manufacturing — ishlab chiqarishning barcha bosqichlarida isrofgarchilikni bartaraf etish;
Six Sigma — jarayon tebranishlarini kamaytirish va barqarorligini oshirish;
Kaizen — kichik, bosqichma-bosqich o‘zgarishlar orqali doimiy yaxshilanish;
Avtomatlashtirish — ishlab chiqarish tezligi va sifatini oshirish uchun zamonaviy texnologiyalardan foydalanish.

Lean Manufacturing — Bangladesh va Vyetnam tajribasi. Lean Manufacturing metodologiyasining to‘qimachilik sanoatida qo‘llanilishining eng


ISSN 3030-3907

yorqin namunasi Bangladeshning yirik eksportchi korxonasi DBL Group hisoblanadi. Kompaniya 2015-yilda Lean vositalarini — xususan, Value Stream Mapping va 5S tizimini — to‘liq joriy etgach, bir dona mahsulot tayyorlash tsikli (lead time) 12 kundan 7 kunga tushdi, nuqsonli mahsulotlar ulushi esa 3,2% dan 0,8% gacha kamaydi. Boshqa misol — Vyetnamning Phong Phu Textile Corporation korxonasi bo‘lib, u Lean joriy etganidan so‘ng to‘qimachilik bo‘limida ortiqcha inventar xarajatlarini 35% ga qisqartirdi va ishchilar unumdorligini yiliga o‘rtacha 22% oshirdi. Ikkinchi jahon amaliyotini umumlashtirgan tadqiqot (Springer, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2026) shuni ko‘rsatadiki, Lean vositalarini izchil qo‘llagan to‘qimachilik va tikuvchilik korxonalarida mahsuldorlik o‘rtacha 20–35% ga oshgan, sifat nuqsonlari esa yarmiga qisqargan [8].

*Six Sigma — Hindiston va Xitoy tajribasi*. Six Sigma metodologiyasining to‘qimachilikdagi eng mashhur muvaffaqiyat namunasi Hindistonning Arvind Mills kompaniyasidir — u dunyoning eng yirik denim ishlab chiqaruvchilaridan biri. Arvind Mills Six Sigma loyihalari orqali bo‘yash jarayonidagi rang notekisligi nuqsonlarini 68% ga kamaytirdi, suv sarfini esa bir metr mato uchun 18 litrdan 11 litrga tushirdi — bu yiliga millionlab dollar va ko‘plab suv resurslarini tejash demakdir. Xitoyning Luthai Textile Co. esa Six Sigma va statistik jarayon nazoratini (SPC) birikmasidan foydalanib, iplik uzilish koeffitsientini 42% kamaytirdi hamda 2019–2022 yillar oralig‘ida yiliga taxminan 4 million dollar miqdorida chiqindi xarajatlarini qisqartirdi. Ushbu tajribalar shuni ko‘rsatadiki, Six Sigma to‘qimachilik jarayonlarining o‘ziga xos murakkabligiga — ayniqsa bo‘yash, pardozlash va sifat nazorati bosqichlariga — juda mos keladi.

*Kaizen — Yaponiya va Efiopiya tajribasi*. Yaponiyaning Fast Retailing Group tarkibidagi Uniqlo brendi Kaizen falsafasini o‘zining Bangladesh va Xitoyda joylashgan 200 dan ortiq ishlab chiqarish sheriklarida "Takumi" (usta hunarmand) dasturi orqali joriy etdi: har bir smenada kamida uchta kichik takomillashtirish taklifi kiritish majburiy qilindi. Natijada 2018–2022 yillar oralig‘ida ortiqcha mato chiqindilari 30% ga kamaydi, tikish tsikli vaqti esa o‘rtacha 18% qisqardi. Efiopiyada esa Kaizen hukumat sanoat dasturi sifatida to‘qimachilik zavodlariga joriy etildi — GTex va Almeda Textile kabi korxonalarda olib borilgan tadqiqotlar mehnat unumdorligini 35% gacha oshirgani va ishdan ketish (turnover) darajasini sezilarli kamaytirgani qayd etildi (Hailu, Sibhato & Tsegay, 2023). Ushbu ikki tajriba shuni isbotlaydiki, Kaizen madaniyati nafaqat rivojlangan, balki rivojlanayotgan mamlakatlar to‘qimachilik klasterlari uchun ham xarajatsiz yoki minimal investitsiya bilan yuqori samara beradigan strategiyadir.


ISSN 3030-3907

*Avtomatlashtirish - Germaniya va Janubiy Koreya tajribasi*. Avtomatlashtirish sohasida to‘qimachilik sanoatiga eng katta hissa qo‘shgan kompaniyalardan biri Germaniyaning Karl Mayer Textilmaschinenfabrik GmbH bo‘lib, u ishlab chiqargan to‘r-to‘qimachilik mashinalari (warp knitting machines) bugungi kunda 60 dan ortiq mamlakatda qo‘llaniladi. Karl Mayer 2020-yilda ishga tushirgan "Digital Solutions" platformasi to‘qimachilik zavodlarida to‘qish parametrlarini real vaqt rejimida nazorat qilish va nuqsonlarni sun'iy intellekt orqali avtomatik aniqlash imkonini berdi — sinov korxonalarida nuqsonlarni aniqlash aniqligi 94% ga yetdi, texnik xizmat xarajatlari esa 27% kamaydi. Janubiy Koreyadagi Hyosung TNC Corporation esa spandeks va nylon ishlab chiqarishni to‘liq avtomatlashtirgan bo‘lib, inson aralashuvisiz ishlaydigan "dark factory" (qorong‘u zavod) kontseptsiyasini joriy etdi — bu esa bir smenada ishlab chiqarish hajmini 3 barobarga oshirdi va energiya sarfini 31% kamaytirdi. Mazkur tajribalar O‘zbekiston to‘qimachilik korxonalari uchun ham yo‘l ko‘rsatadi: avtomatlashtirish dastlab eng ko‘p mehnat va energiya talab qiladigan bo‘yash hamda sifat nazorati bosqichlaridan boshlansa, investitsiya qaytish muddati sezilarli qisqaradi.

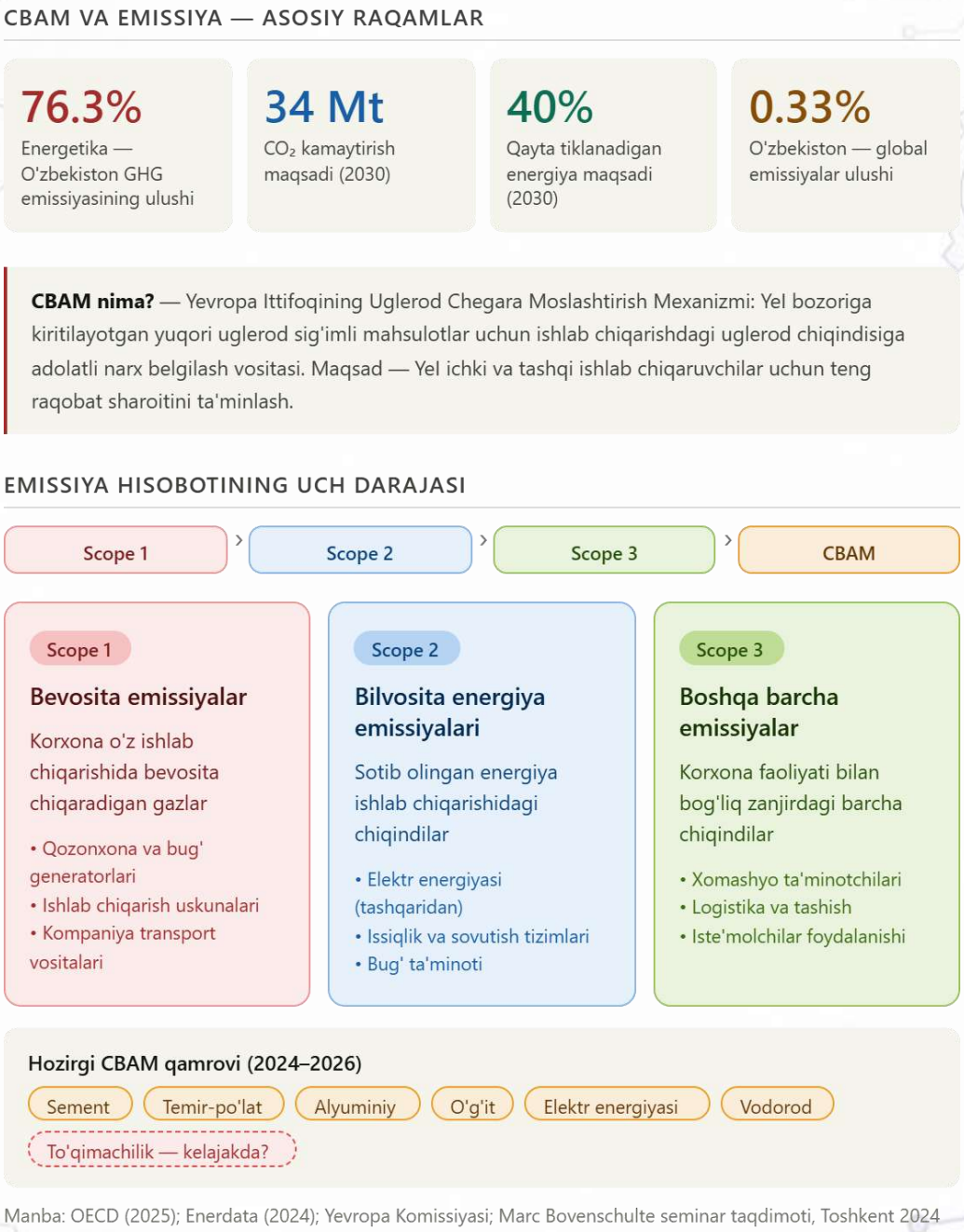
ISO 9001 bo‘yicha «sifat» — eng yaxshi mahsulot emas, balki eng yuqori mijoz qoniqishini ta'minlash demakdir. Bu tushuncha emissiya kamaytirishni ham o‘z ichiga olishi mumkin — ya'ni ekologik maqsad va biznes maqsad bir-birini to‘ldiradi [9].

O‘zbekiston uchun CBAM mexanizmi ikki tomonlama ahamiyat kasb etadi (4-rasmga qarang). Bir tomondan, mamlakatning global emissiyalardagi ulushi atigi 0.33% ni tashkil etib, u kichik emitent hisoblanadi — ammo boshqa tomondan, energetika sektori ichki emissiyalarning 76.3% ini hosil qilmoqda, bu esa mahalliy ishlab chiqarish uglerod intensivligining yuqoriligini ko‘rsatadi. Aynan mana shu tafovut O‘zbekiston to‘qimachilik korxonalarini xalqaro bozorda noqulay holatga qo‘yadi: eksport hajmi kichik bo‘lishiga qaramay, har bir birlik mahsulot uchun uglerod izi katta bo‘lgani sababli CBAM narxi yuqori chiqishi muqarrar.

Scope darajalari nuqtai nazaridan esa O‘zbekiston to‘qimachilik korxonalari uchun eng dolzarb muammo — Scope 2, ya'ni tashqaridan sotib olinadigan elektr energiyasi emissiyalari. Mamlakat elektr energiyasining asosiy qismi hali ham gaz va ko‘mirdan ishlab chiqarilayotgani sababli, korxona o‘z uskunalarini qanchalik samarali boshqarmasin, uning Scope 2 ko‘rsatkichi avtomatik ravishda yuqori bo‘lib qoladi. Shu sababli hukumatning 2030 yilga qadar qayta tiklanadigan energiya ulushini 40% ga yetkazish maqsadi nafaqat ekologik, balki to‘g‘ridan-to‘g‘ri eksport raqobatbardoshligini saqlash nuqtai nazaridan ham strategik ahamiyat kasb etadi. Hozircha CBAM to‘qimachilik mahsulotlarini qamrab


ISSN 3030-3907

olmasa-da, uning kengayishi muqarrar deb hisoblanayotgani va O‘zbekistonning 2028 yilga qadar eksportni 7 milliard dollarga yetkazish rejasi mavjudligini inobatga olsak, korxonalar bu o‘zgarishga hozirdan Scope 1, 2 va 3 bo‘yicha emissiyalarni hisoblash va kamaytirish chora-tadbirlarini boshlash orqali tayyorgarlik ko‘rishlari zarur.




**4-rasm. CBAM mexanizmi**

O‘zbekiston to‘qimachilik eksporti uchun Yevropa Ittifoqi bozori strategik ahamiyat kasb etadi. Biroq YeI yangi mexanizm — CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism) ni joriy qildi:

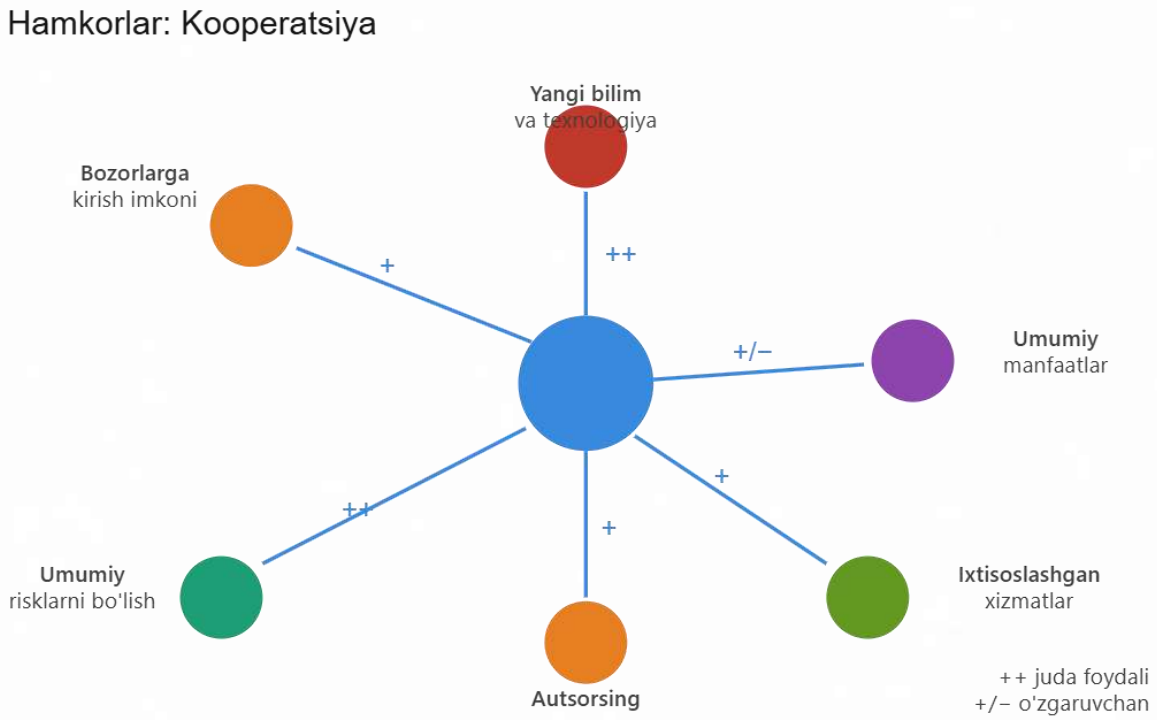
CBAM — YeI bozoriga kiritilayotgan yuqori uglerod sig‘imiga ega mahsulotlar ishlab chiqarishida chiqarilgan uglerod uchun adolatli narx belgilash


ISSN 3030-3907

mexanizmi. Emissiya hisoboti uch darajada amalga oshiriladi: **Scope 1** (korxona ichidagi bevosita emissiyalar), **Scope 2** (sotib olingan energiyadan bilvosita emissiyalar), **Scope 3** (ta'minotchilar, logistika va iste'molchilarga bog'liq barcha emissiyalar).

O'zbekiston hukumati 2025 yilda uglerod emissiyasini tartibga soluvchi qonun qabul qildi va uglerod savdo tizimini yo'lga qo'ydi. Hozircha CBAM sement, temir va po'lat, alyuminiy, o'g'it, elektr energiyasi va vodorodga nisbatan qo'llanilmoqda — ammo to'qimachilik mahsulotlari ham ushbu ro'yxatga kiritilishi ehtimoli mavjud. Shuning uchun korxonalar bu o'zgarishlarga hozirdan tayyorlanishi zarur.

To'qimachilik sanoatida raqobatbardoshlikni oshirish uchun uchta asosiy yo'nalish mavjud: ish va jarayon tashkiloti (moslashuvchanlik), malakali xodimlar (bilim) va kooperatsiya (tashqi hamkorlik). Kooperativ tarmoqning ustunliklari quyida ko'rsatilgan (5-rasmga qarang).




**5-rasm. Hamkorlik tarmoqlari va ularning afzalliklari. Manba: Marc Bovenschulte seminar taqdimoti, Toshkent 2024**


ISSN 3030-3907




**6-rasm. O‘zbekiston to‘qimachilik sanoati — rivojlanish ko‘rsatkichlari**

• Yangi bilim va texnologiyalarga kirish imkoniyati;
• Risklarni taqsimlash va birgalikda yuklashlarni kamaytirish;
• Yangi bozorga kirish imkoniyatlari;
• Umumiy manfaatlar asosida kuch to‘plash va ixtisoslashgan xizmatlar.

O‘zbekiston to‘qimachilik klasterlari kooperativ tarmoqlarni shakllantirishda katta salohiyatga ega. Mintaqaviy klasterlar doirasidagi hamkorlik — texnologiya, marketing va eksport masalalarida birgalikda harakat qilish — global bozorda raqobatbardoshlikni keskin oshirishi mumkin.

**XULOSA VA TAVSIYALAR.**

Taqdim etilgan material va statistik ko‘rsatkichlar asosida O‘zbekiston to‘qimachilik korxonalari uchun quyidagi asosiy tavsiyalar shakllantirish mumkin:

• Energiya tejash investitsiyalari — LED yoritish, siqilgan havo tizimlarini modernizatsiya qilish va muntazam texnik xizmat orqali energiya xarajatlarini 30–40% kamaytirish. Hukumatning 10% energiya kamaytirish mandatini bajarish ham majburiy.

• ISO 9001 va Kaizen joriy qilish — sifat menejmenti tizimlarini bosqichma-bosqich joriy etish mahsulot sifatini oshiradi va xalqaro sertifikatlashtirish uchun yo‘l ochadi.

• CBAM talablariga erta tayyorlanish — Scope 1/2/3 emissiyalarini hozirdanoq hisoblash va kamaytirish bo‘yicha chora-tadbirlar ko‘rish. O‘zbekiston 2025 yilda uglerod bozori tizimini yaratdi — bu korxonalar uchun ham imkoniyat, ham mas'uliyat.

• Kooperatsiya va klaster rivojlantirish — 2028 yilgacha $7 milliard eksport maqsadiga erishish uchun klasterlar doirasida birgalikda harakat qilish zarur.


ISSN 3030-3907

• Kadrlar malakasini oshirish — zamonaviy texnologiyalar, energiya menejmenti va sifat standartlari bo‘yicha muntazam o‘qitish dasturlarini yo‘lga qo‘yish.

• Qayta tiklanadigan energiyaga o‘tish — O‘zbekiston 2030 yilga qadar qayta tiklanadigan energiya ulushini 40% ga yetkazishni rejalashtirmoqda. To‘qimachilik korxonalari quyosh panellari va boshqa manbalarga investitsiya qilib, bu maqsadga hissa qo‘shishi va o‘z energiya xarajatlarini kamaytirishi mumkin.

Yashil transformatsiya — bu faqat xarajat emas, balki kelajakdagi bozor imkoniyatlariga investitsiya. O‘zbekiston to‘qimachilik sanoati ushbu o‘zgarishlarga faol kirishgan taqdirda, u nafaqat mahalliy, balki global bozorda ham kuchli o‘rin egallay oladi. $7 milliardlik eksport maqsadiga erishish va 650 ming kishini ish bilan ta'minlash rejasi barqaror va yashil ishlab chiqarishsiz amalga oshirib bo‘lmaydi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zto‘qimachiliksanoat uyushmasi. Eksport va ishlab chiqarish ko‘rsatkichlari. Toshkent, 2025.
2. OECD. Roadmap for Sustainable Investment Policy Reforms in Uzbekistan. 2025.
3. Enerdata. Uzbekistan Energy Information. 2024.
4. Energieeffizienz im Betrieb. Energiesparen Textilindustrie. URL: https://www.energieeffizienz-im-betrieb.net
5. CCC Industrial Software. Energieeffizienz durch Instandhaltung. URL: https://blog.ccc-industriesoftware.de
6. Stanford Research Institute. NABC Method. URL: https://web.stanford.edu/class/educ303x/wiki-old/uploads/Main/SRI_NABC.doc
7. European Commission. Carbon Border Adjustment Mechanism. URL: https://taxation-customs.ec.europa.eu
8. USDA FAS. Uzbekistan Cotton and Products Update. 2024.
9. Bovenschulte, M. Business development for green transformation. Seminar materials. Toshkent, 2024.


ISSN 3030-3907

# METHODOLOGY FOR PREPARING THE COMPOSITION OF FOAM CONCRETE MIXTURES

**Turapov Farxod Khursanovich**
***TSUEA senior lecturer***
***E-mail. farkhodturapov@mail.ru***
**Rajabov Ramozon Shukhratovich**
***TSUEA assistant lecturer***
**Majidov Samariddin Rashidovich**
***TUACE dotsent***
**Boymurodova Aziza Otabekovna**
***TSUEA student***
***Tel:+99891-229-75-75.***

**Annotatsiya.** Xozirgi kunda zamonaviy konstruksiya va buyumlarni tayorlashda, asosan, yengil qurilish ashyolari keng ishlatilmoqda. Masalan, binoni qurishda og‘ir beton o‘rniga yengil issiqlik izolyatsiyalovchi betonlarni ishlatish binoning umumiy og‘irligini 5 marta kamaytirishi mumkin, natijada bino uchun sarflanadigan umumiy mablag‘ ham tejaladi.

**Kalit so‘zlar:** tarkib, ko‘pik aralashma, issiqliq himoyalovchi, ko‘pik xosil qiluvchi, urbanizatiya, kompleks qo‘shimcha, sanoat chiqdisi, metalugiya shlagi, ikkilamchi.

**Аннотация.** В настоящее время при изготовлении современных конструкций и изделий широко используются в основном лёгкие строительные материалы. Например, при строительстве здания использование лёгких теплоизоляционных бетонов вместо тяжёлого бетона позволяет уменьшить общий вес здания в 5 раз, в результате чего также снижаются общие затраты на строительство.

**Ключевые слова:** состав, пенообразная смесь, теплоизоляционный, пенообразователь, урбанизация, комплексная добавка, промышленные отходы, металлургический шлак, вторичный.

**Annotation.** Nowadays, lightweight building materials are widely used in the design of modern structures and products. For example, the use of light thermal insulation concrete instead of heavy concrete can reduce the total weight of the building by 5 times, thus saving the overall cost of the building.

**Keywords:** composition, foam mixture, heat insulator, foam generator, urbanization, complex additive, industrial output, metallurgical slag, secondary.

## INTRODUCTION.

Foam concrete prepared from a foam concrete mixture of poor quality, although it has the required density, its strength indicators are still low. The reason for this is considered to be the formation of some negative defects by the gas phase

during the bonding of particles of the solid dispersed phase in the process of forming a stone-like structure. These include the following:

-the beginning of the process of water separation in the lower part of the foam-like mass during the molding and initial forming process;

-the enlargement of pores due to coalescence;

-the process of separation of the mixture into layers.




**Figure 1. Mixer, compressor and foam generator equipment for the production of foam concrete.**

**Analysis of raw materials:** To determine the optimal amount of the foaming agent, a sand-cement liquid mixture is prepared. The amount of water must be greater than the volume of physically bound water. The process of the most active interaction of water molecules with solid dispersed particles (physically and chemically bound water) occurs within the first 5–10 minutes after adding water. After 20 minutes, the sand-cement liquid mixture is loaded into the mixer. The required amount of foaming agent is added into the mixer. Then, the preparation process of the foam concrete mixture is carried out in a mixer operating in a turbulent mode. Extending the mixing process beyond 10 minutes leads to the settling of the foam concrete mixture. Therefore, it is generally considered possible to evaluate the quality of the foam concrete mixture after 3 minutes of mixing. A sample is taken from the prepared mixture, and the mass and average density of the mixture are determined. For visual evaluation, the mixture is placed into a glass container or photo fixation may be used. Visual observation is continued from the moment the mixture is placed into the container until the end of the setting time. The foaming agent is added to the remaining mixture in the mixer for the next stage, and the subsequent mixing process is carried out, and another sample is taken in


ISSN 3030-3907

the same manner. The sampling process continues until the foam concrete mixture reaches the minimum density (at the specified S:Q:S ratio).

**Stability of foam mass**

One of the main properties of a stable mass is its resistance to mechanical influence. Such a property is described by Gibbs as follows:

$$E = 2\frac{dy}{d\ln A},$$

Bu Here A - is the area of the film,

y- is the surface tension.

For a two-component system, the equation is expressed by Adamson in the following form:

$$e = 4(G_2^1)^2\, d\mu_2/dm^2$$

Here $G_2^1$ is the surface excess of component 2;

$\mu_2$ - the chemical potential of this component;

$M^2$ – the amount per unit area of the film.

“E” characterizes the ability of the foam mass to change its surface tension under the influence of stretching or compressive forces. When the surface tension is stretched, the concentration of the surfactant in the film decreases, as a result the surface tension increases and prevents the destruction of the film. Only when both $G_2^1$ and $d\mu_2/dm_2$are sufficiently large at the same time, as shown in the above equation, can the value of E be high. The surface-active concentration of this substance must be high, but not too high, i.e., the composition of the foaming agent must be optimal.tarkibi optimal bo‘lishi kerak.

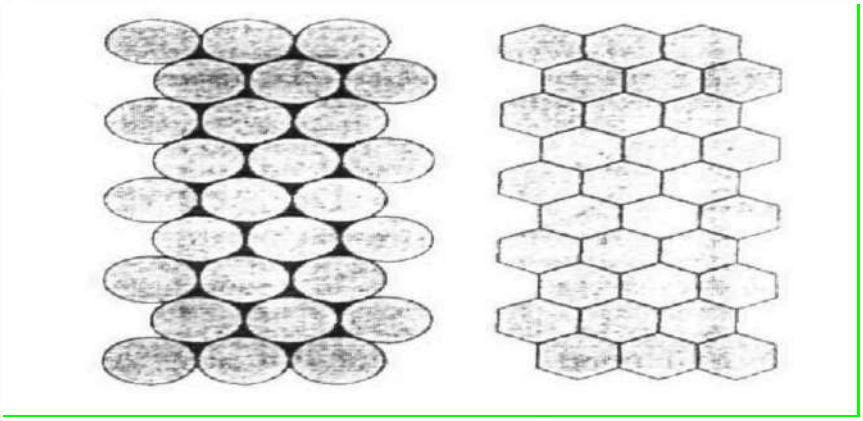


**Figure 2. Shapes of pores in foam concrete**

High-quality products can be obtained with stable foam. If foam collapse occurs before setting, the average density of the material increases significantly and the structure of the material becomes non-standard, which is an undesirable condition. When additives are introduced, coagulation and heterocoagulation may occur. In technology, foam concrete reflects the role of cement. At this time, the main minerals responsible for the development kinetics of time and strength, which determine the design strength, are said to be tricalcium silicate $C_3S$ (alite) and


ISSN 3030-3907

tricalcium aluminate $C_3S$. These minerals release heat during the hydration process, especially in the early stages of hardening. The content of tricalcium silicate C3S in clinker can vary from 45 to 68%. The higher the content of $C_3S$, the higher the strength and durability of the product. A high amount of tricalcium aluminate accelerates cement hardening in the initial period up to 2 days.

The presence of surfactants in the foam-cement system changes the hydration properties of cement. According to the effectiveness of surfactants on the properties of concrete, the authors divided all cements into groups: Group 1 – $C_3A$ < 6%, $C_3A$ > 50%; Group 2 – $C_3A$ 7–10%, $C_3A$ > 40%; Group 3 – $C_3A$ > 10%, $C_3A$ < 40%. According to the results of the authors' studies, this grouping is applicable to cements used in the production of foam concrete. The most effective for use in foam concrete technology are Group 1 cements. In the cements of this group, the high content of alite determines the high strength of the cement stone in the inter-pore framework, faster setting, and rapid heat release during hydration.

The cements of the third group have low efficiency. In the presence of foaming agents based on synthetic anionic surfactants in $C_3A$ particles, hemasorption processes occur actively, as a result of which the foam mass collapses and consequently the density of the final products increases. In such cases, manufacturers increase the consumption of foaming agents, which leads to another negative effect: "poisoning" of active centers on the surface of minerals and a delay in setting time [22]. It has been determined that the coagulation stability of the cement + foaming agent system depends on the charges of the functional groups of surfactants and the ratio of cement particles.

**RESEARCH METHOD.** after 28 days of natural curing or steam curing, the samples are removed from the molds, dried at a temperature of 105–110°C to constant weight, and tested (the average density and compressive strength limit are determined). The average density of foam concrete is determined by the following formula:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Here m – the mass of the sample, kg; V - the volume of the sample, $m^3$.

The strength of materials is determined by compressing sample cubes in a press until they are crushed. The supporting edges must be selected in such a way that during testing the compressive force is directed perpendicular to the forms filled with the foam concrete mixture, then marked, and the linear dimensions of the working area are measured with an error of no more than 1%.

During the compression test, the test specimen is placed with one selected edge on the lower base plate of the press (Figure 3) or at the center of the testing


ISSN 3030-3907

machine. After that, the upper supporting edge of the test specimen on the upper base plate of the press is positioned so that their surfaces fully coincide with each other. Then loading is started. The loading of the specimens is carried out continuously at a rate ensuring complete failure of the specimens (0.6 ± 0.4 MPa/s). In this case, the loading time for one specimen must be at least 30 s. The maximum force achieved during the test is taken as the breaking load.



**Figure 3. Diagram of a hydraulic press adapted for testing compressive strength: 1 – base; 2 – piston; 3, 5 – lower and upper supporting plates; 4 – test specimen; 6 – hand wheel for manual lifting of the upper plate; 7 – force measuring device; 8 – oil pump.**

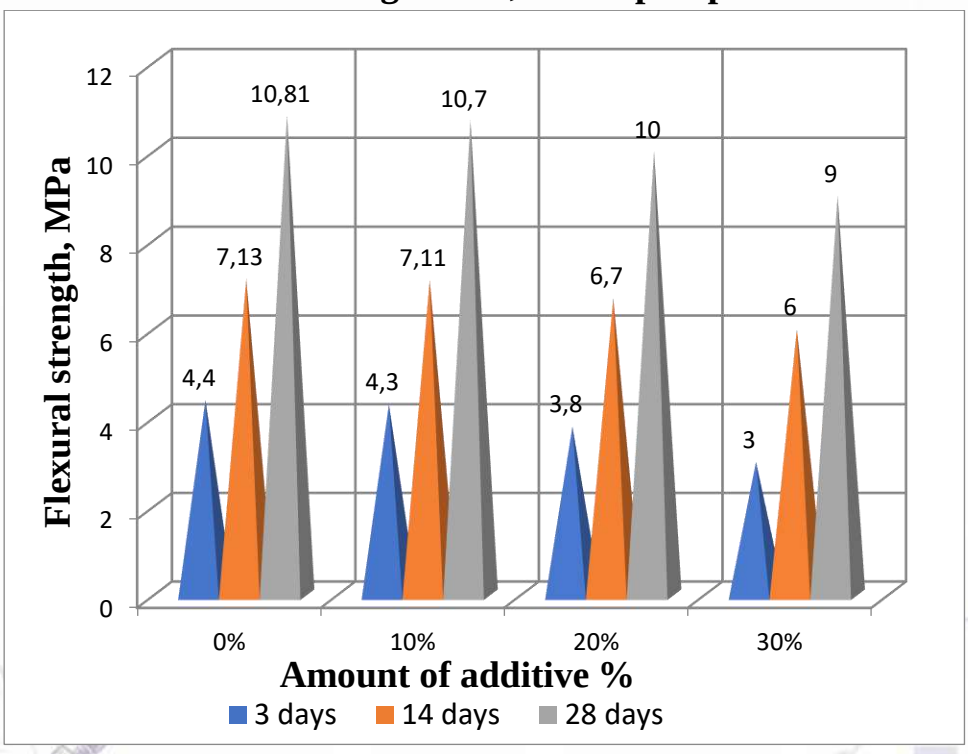



**Figure 4. Effect of fly ash on the flexural strength of cement**

**This graph shows the effect of industrial waste fly ash on the compressive strength of cement.**


ISSN 3030-3907

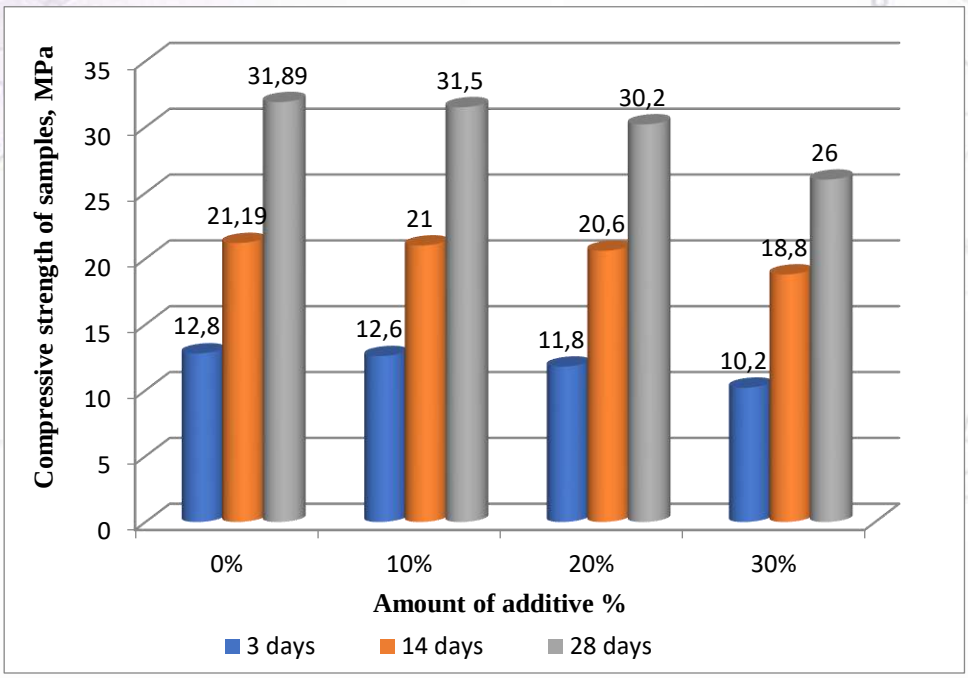



**Figure 5. Effect of fly ash and cement on compressive strength**

**CONCLUSION.** Undoubtedly, the optimal composition of the foaming agent is one of the main factors influencing the construction-technological properties of foam concrete. Thus, its compositional deficiency does not ensure the required density of concrete, and a high consumption of foaming agent may lead to a slowing down of the cement system hardening process.

At the same time, under conditions related to an increase in free water in their composition and an increase in the content of the foaming agent per unit of binder, the preservation of the cellular structure of low-density foam concrete is disturbed, which slows down the formation process of the foam concrete mixture system.

In addition to equilibrium or reversible processes, some transient processes may affect the elastic resistance of the film. The surface of the film has relatively high surface tension.

Surfactants, if spread over the surface of the film for a short time, can change the locally initial surface tension of the forming thin film in a short time before the film becomes thinner.

Thus, changes in surface tension are eliminated without reducing the initial thickness of the film, and for some time this region of the film remains mechanically weak. Adamson concluded that good foaming agents should be slowly adsorbed on the surface (on a millisecond scale). It is known that some foaming agents may be incompatible with certain types of binders, as well as with some chemical and mineral modifiers.

When selecting the optimal type of foaming agent, some of them may be incompatible with the accepted type of binder, as a result of which various negative


ISSN 3030-3907

phenomena occur, especially foam collapse. For example, a foaming agent made from amine oxide leads to coagulation of Portland cement particles with the formation of large aggregates, which leads to a significant decrease in the strength and other construction-technological properties of foam concrete.

## LIST OF REFERENCES

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60 son ―2022-2026 yillarda yangi O‘zbekistonni rivojlantirish strategiyasi to‘g‘risidagi Farmoni
2. Role of filler in porozed arbolt, TF Khursanovich Galaxy International Interdisciplinary Research Journal 10 (11), 1108-1109
3. Study of the physical-mechanical properties of foam-concrete, TF Khursanovich American Journal of Research in Humanities and Social Sciences 14, 26-30
4. Production of insulation boards based on crushed cotton and cement TF Khursanovich American Journal of Pedagogical and Educational Research 12, 232-235
5. Use of heat insulation wall materials in construction, FK Turapov American Journal of Technology and Applied Sciences 5, 27-30
6. Dry construction mixed for foam concrete TF Khursanovich Academicia Globe: Inderscience Research 3 (05), 201-204
7. Исследование влияния суперпластификаторов на физико-механические свойства бетона, ФХ Турапов, АК Холтаева Проблемы геологии и освоения недр, 477-478
8. Penobeton uchun xomashyolar tasnifi “Arxitektura-qurilish sohalarida kadrlar tayyorlash tizimini takomillashtirishning dolzarb muammolari”. -texnik konfrensiya, 2024-yil.
9. Sdj-1 qo‘shilgan sement toshining fizik-mexanik xossalari”World of science” republican scientific journal. -texnik jurnal, 2024-yil. 7.235
10. Gipslikeramzitbetonning innovasion texnologiyasi va iqtisodiy samaradorligi. “World of science” republican scientific journal. -texnik jurnal, 2024-yil. 7.235
11. Determination of technological parameters of peno-concrete based on local materials; Farkhod Turapov; Odina Abdumuminov; Abdukarim Abduraximov Preface: IV International Conference on Advances in Science, Engineering and Digital Education (ASEDU-IV 2024) Available to Purchase AIP Conf. Proc. 3268, 010001 (2025) https://doi.org/10.1063/12.0034596


ISSN 3030-3907

# QUYOSH BATAREYALARIDAN SAMARALI FOYDALANISH ORQALI UTILIZATSIYA MUAMMOSINI OLDINI OLISH TEXNOLOGIYALARINING ILMIY-TAHLILIY ASOSLARI

**To‘rayev Dostonjon Erkin o‘g‘li**
*Qarshi xalqaro universiteti, fizika fani o‘qituvchisi*
*E-mail: dostonjonturayev147@gmail.com*

**Annotatsiya.** Mazkur maqolada quyosh batareyalarining xizmat muddati yakunlangandan keyingi utilizatsiya muammolarini kamaytirish va ularning hayotiy siklini uzaytirish masalalari bo‘yicha dunyo miqyosida olib borilgan 10 ta yetakchi ilmiy tadqiqot tahlil qilinadi. Tadqiqotlarda qayta ishlash texnologiyalari, EVA qatlamini ajratish usullari, qimmatbaho materiallarni qayta tiklash, iqtisodiy samaradorlik hamda aylana iqtisodiyot tamoyillari qiyosiy baholanadi. Har bir manbaning ilmiy yutuqlari va cheklovlari aniqlanib, quyosh batareyalaridan samarali foydalanish orqali kelajakdagi chiqindi hajmini kamaytirishga qaratilgan integratsiyalashgan texnologik yechim taklif etiladi.

**Kalit so‘zlar:** quyosh batareyasi, utilizatsiya, qayta ishlash, EVA, aylana iqtisodiyot, resurslarni qayta tiklash, ekologik xavfsizlik.

**Аннотация.** В данной статье анализируются 10 ведущих научных исследований, проведенных по всему миру, посвященных решению проблем утилизации солнечных элементов после окончания срока их службы и продлению их жизненного цикла. В исследованиях сравниваются технологии переработки, методы разделения слоев ЭВА, извлечение ценных материалов, экономическая эффективность и принципы циркулярной экономики. Выявлены научные достижения и ограничения каждого источника, а также предложено комплексное технологическое решение для сокращения будущих отходов за счет эффективного использования солнечных элементов.

**Ключевые слова:** солнечные элементы, утилизация, переработка, ЭВА, циркулярная экономика, извлечение ресурсов, экологическая безопасность.

**Abstract.** This article analyzes 10 leading scientific studies conducted worldwide on reducing the disposal problems of solar cells after their service life and extending their life cycle. The studies compare recycling technologies, EVA layer separation methods, recovery of valuable materials, economic efficiency, and circular economy principles. The scientific achievements and limitations of each source are identified and an integrated technological solution is proposed to reduce future waste through the effective use of solar cells.

**Keywords:** solar cell, disposal, recycling, EVA, circular economy, resource recovery, environmental safety.

## KIRISH.

Qayta tiklanuvchi energiya manbalari orasida quyosh energetikasi eng jadal rivojlanayotgan yo‘nalishlardan biridir. Biroq, quyosh batareyalari sonining keskin

ortishi yaqin kelajakda ularning xizmat muddati tugashi bilan bog‘liq katta hajmdagi chiqindilar muammosini yuzaga keltiradi. Xalqaro bashoratlarga ko‘ra, 2050-yilga borib dunyoda foydalanishdan chiqqan quyosh batareyalari chiqindilari 60–78 million tonnaga yetishi mumkin. Shu sababli, utilizatsiya muammosini faqat chiqindini qayta ishlash orqali emas, balki quyosh batareyalarining xizmat muddatini uzaytirish, qayta foydalanish va resurslarni maksimal darajada qayta tiklash orqali hal etish muhimdir.

**TADQIQOT METODOLOGIYASI.** Mazkur maqola Scopus va Web of Science bazalarida indekslangan 10 ta nufuzli ilmiy manbaning qiyosiy tahliliga asoslanadi. Tadqiqotlarda quyidagi mezonlar asosida baholash amalga oshirildi:

- texnologik samaradorlik;
- materiallarni qayta tiklash darajasi;
- iqtisodiy rentabellik;
- ekologik xavfsizlik;
- sanoat miqyosida qo‘llash imkoniyati.

**ASOSIY QISM.**

**1. Quyosh batareyalari chiqindilari muammosining global ko‘lami**

Chowdhury va hammualliflari (2020) o‘zlarining *“Forecasting Waste Generation from Solar Photovoltaic Systems”* nomli tadqiqotida quyosh batareyalari chiqindilarining eksponentsial o‘sishini matematik modellashtirgan. Mualliflar yaqin o‘n yilliklarda quyosh batareyalari chiqindilarining jadal ortishini ko‘rsatadi. Ushbu ishning yutug‘i – global bashoratlash modeli yaratilganidir. Kamchiligi esa hududiy farqlar va texnologik yangilanishlarning yetarlicha hisobga olinmaganidadir.

IRENA va IEA-PVPS (2023) hisobotida esa quyosh batareyalari chiqindilarini iqtisodiy resurs sifatida ko‘rish konsepsiyasi ilgari suriladi. Hisobotga ko‘ra, foydalanishdan chiqqan quyosh batareyalaridan milliardlab dollarlik ikkilamchi xomashyo olish mumkin.

**2. Qayta ishlash texnologiyalarining evolyutsiyasi**

Celep, Deveci va Yazici (2025) tomonidan tayyorlangan *“Advances in Photovoltaic Module Recycling Technologies: A Comprehensive Review”* maqolasi quyosh batareyalarini qayta ishlash usullarining eng batafsil sharhlaridan biridir. Mualliflar mexanik, termik, kimyoviy va gibrid texnologiyalarni qiyosiy tahlil qilgan.

Ularning xulosasiga ko‘ra, gibrid texnologiyalar eng yuqori samaradorlikni ta’minlaydi. Ayniqsa, kremniy va kumushni yuqori tozalikka ega holda qayta tiklash imkoniyati muhim yutuq hisoblanadi. Biroq, jarayonning energiya sarfi yuqori bo‘lib qolmoqda.


ISSN 3030-3907

**3. EVA qatlamini ajratish muammosi**

Quyosh batareyalari qayta ishlashdagi eng murakkab bosqich EVA (etilen-vinilatsetat) qatlamini ajratishdir. Ali va hammualliflari (2024) *"Hybrid Laser and High-Voltage Pulse Technologies for Photovoltaic Module Delamination"* tadqiqotida lazer va yuqori kuchlanish impulslarini birlashtirgan innovatsion usulni taklif etadi.

Mazkur usul:

- delaminatsiya vaqtini qisqartiradi;
- shisha sinishini kamaytiradi;
- material yo‘qotilishini minimallashtiradi.

Kamchiligi – uskunaning qimmatligi va sanoatga joriy etish xarajatlarining yuqoriligidir.

**4. Kimyoviy qayta ishlashning afzalliklari va cheklovlari**

Dias va hammualliflari (2019) kimyoviy qayta ishlash orqali kremniyni 95 % dan ortiq tozalikda tiklash mumkinligini isbotlagan. Ularning *"Chemical Recycling of Crystalline Silicon Photovoltaic Modules"* maqolasi yuqori sof material olish bo‘yicha muhim manbadir.

**Afzalliklari:**

- yuqori tozalikka ega kremniy;
- kumush va misni samarali ajratish;
- yarimo‘tkazgich sanoatida qayta foydalanish imkoniyati.

Kamchiligi:

- kimyoviy reagentlar sarfi katta;
- chiqindi eritmalarni zararsizlantirish zarur.

**5. Sanoat miqyosidagi texnologiyalar**

Wei va hammualliflari (2025) *"Industrial-Scale Recycling Pathways for Crystalline Silicon Photovoltaic Modules"* maqolasida laboratoriya usullarini sanoat miqyosiga ko‘chirish masalalarini o‘rganadi. Mualliflar avtomatlashtirilgan demontaj liniyalarining iqtisodiy samaradorligini ko‘rsatgan. Yutug‘i – texnologiyaning real sanoat sharoitida qo‘llanishi. Kamchiligi – dastlabki kapital investitsiya hajmining kattaligi.

**6. Resurslarni qayta tiklash samaradorligi**

Gahlot va hammualliflari (2022) o‘z tadqiqotida quyosh batareyalaridan kumush, alyuminiy, mis va kremniyni qayta tiklash imkoniyatlarini baholagan. Ularning natijalariga ko‘ra, quyosh batareyalari massasining 90–95 % gacha bo‘lgan qismi qayta ishlanishi mumkin. Bu natija quyosh batareyalari chiqindilarini chiqindi emas, balki ikkilamchi xomashyo manbai sifatida ko‘rish zarurligini ko‘rsatadi.


ISSN 3030-3907

**7. Aylana iqtisodiyot yondashuvi**

Torróntegui-Chávez va hammualliflari (2026) *"Systemic Approaches for End-of-Life Photovoltaic Waste Management"* maqolasida quyosh batareyalari uchun aylana iqtisodiyot modelini taklif etadi. Ushbu model quyidagi bosqichlarni o‘z ichiga oladi:

- dizayn bosqichida qayta ishlashga moslashtirish;
- ta’mirlash va qayta foydalanish;
- modulli konstruksiya;
- to‘liq material tiklash.

Bu yondashuv utilizatsiya muammosini paydo bo‘lishidan oldin oldini olishga xizmat qiladi.

**8. Hayotiy sikl monitoringi va raqamlashtirish**

Zhang va hammualliflari (2024) blokcheyn asosidagi kuzatuv tizimini taklif etgan. Bu texnologiya quyosh batareyalarining ishlab chiqarilishidan tortib utilizatsiyasigacha bo‘lgan barcha bosqichlarini nazorat qilish imkonini beradi.

Afzalliklari:

- shaffoflik;
- kuzatuvchanlik;
- qayta ishlash logistikasini optimallashtirish.

**9. Global siyosat va boshqaruv tajribasi**

Nain va Kumar (2022) turli mamlakatlardagi quyosh batareyalari chiqindilarini boshqarish siyosatini tahlil qilgan. Ularning xulosasiga ko‘ra, kengaytirilgan ishlab chiqaruvchi mas’uliyati (EPR) modeli eng samarali yondashuv hisoblanadi.

**10. Integratsiyalashgan texnologik model**

Yuqoridagi 10 ta tadqiqot natijalarini umumlashtirib, quyidagi kompleks model taklif etiladi: 1. Quyosh batareyalari dizaynini demontajga moslashtirish. 2. EVA qatlamini lazer-impuls usuli bilan ajratish. 3. Qimmatbaho metall va kremniyni kimyoviy qayta tiklash. 4. Blokcheyn asosida hayotiy sikl monitoringi. 5. EPR asosida iqtisodiy boshqaruv tizimini joriy etish.

**NATIJALAR VA MUHOKAMA.** Qiyosiy tahlil shuni ko‘rsatadiki, alohida texnologiyalar muammoning faqat ma’lum qismini hal qiladi. Eng yuqori samaradorlikka esa mexanik, termik, kimyoviy va raqamli texnologiyalarni birlashtirgan integratsiyalashgan yondashuv orqali erishiladi.

Taklif etilayotgan model quyidagilarni ta’minlaydi:

- chiqindilar hajmini kamaytirish;
- resurslarni maksimal qayta tiklash;
- iqtisodiy foyda oshishi;


ISSN 3030-3907

•ekologik xavfsizlikning kuchayishi.

**XULOSA.** O‘rganilgan 10 ta ilmiy manba tahlili shuni ko‘rsatadiki, quyosh batareyalarini utilizatsiya qilish muammosini samarali hal etish uchun faqat qayta ishlash yetarli emas. Asosiy e’tibor quyosh batareyalarining butun hayotiy siklini boshqarishga qaratilishi lozim. Ayniqsa, dizayn bosqichidan boshlab qayta ishlashga mos konstruksiyalar yaratish, EVA qatlamini samarali ajratish, qimmatbaho materiallarni yuqori darajada tiklash va raqamli monitoring tizimlarini joriy etish dolzarb ahamiyat kasb etadi.

Shunday qilib, quyosh batareyalaridan samarali foydalanish orqali utilizatsiya muammosining oldini olish mumkin. Bu esa nafaqat ekologik xavfsizlikni ta’minlaydi, balki yangi iqtisodiy imkoniyatlarni ham yaratadi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Celep, O., Deveci, H., & Yazici, E. Y. (2025). Advances in photovoltaic module recycling technologies: A comprehensive review.
2. Torróntegui-Chávez, G., et al. (2026). Systemic approaches for end-of-life photovoltaic waste management within circular economy frameworks.
3. Wei, G., et al. (2025). Industrial-scale recycling pathways for crystalline silicon photovoltaic modules.
4. Nain, P., & Kumar, A. (2022). Photovoltaic waste management and recycling: A global review.
5. Gahlot, R., et al. (2022). Recovery of valuable materials from end-of-life photovoltaic modules.
6. Ali, A., et al. (2024). Hybrid laser and high-voltage pulse technologies for photovoltaic module delamination.
7. Dias, P., et al. (2019). Chemical recycling of crystalline silicon photovoltaic modules.
8. Chowdhury, M. S., et al. (2020). Forecasting waste generation from solar photovoltaic systems.
9. IRENA & IEA-PVPS. (2023). End-of-life management: Solar photovoltaic panels.
10. Zhang, Y., et al. (2024). Blockchain-enabled lifecycle tracking and recycling management for photovoltaic modules.


ISSN 3030-3907

# QUYOSH PANELLARIDAN FOYDALANISHDAGI ELEKTR ENERGIYA YO‘QOTISHLARINI TADQIQOT ASOSIDA YUKLAMA TAVSIFI BO’YICHA O‘RGANISH UCHUN TAJRIBA STENDINI YARATISH

**Saydulla Abduraxmonovich Jurayev**
*Toshkent kimyo-texnologiya instituti Fizika va energetika kafedrasida Katta o‘qituvchi*
*E-mail: s.6769@mail.ru*
*Tel: +998975466769*

**Abstract.** This text highlights the issues of effective use of green energy, particularly solar photovoltaic systems, which are considered relevant today. The problem of electricity losses due to resistance in the installation cables during the installation of solar panels was analyzed. To determine the influence of cable dimensions on economic and technical efficiency, a design, drawing, and components (resistors, diodes, measuring instruments) of a special research stand were developed.

**Keywords:** green energy, solar panels, photovoltaic converter, mounting cable, specific resistance, power loss, research stand.

**Аннотация.** В данном тексте освещены актуальные вопросы зеленой энергетики, в частности, эффективного использования солнечных фотоэлектрических систем. Проанализирована проблема потерь электроэнергии из-за сопротивления в монтажных кабелях при установке солнечных панелей. С целью определения влияния размеров кабеля на экономическую и техническую эффективность разработаны проект, чертеж и составные части (резисторы, диоды, измерительные приборы) специального исследовательского стенда.

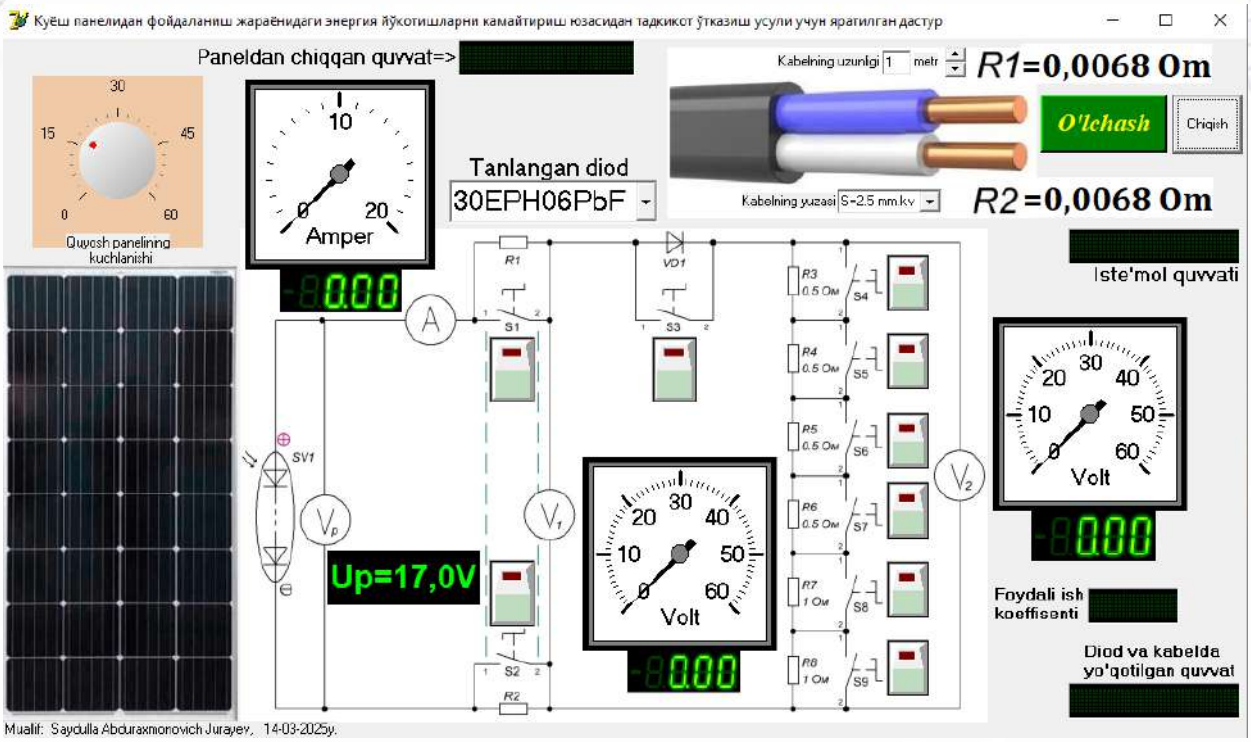
**Ключевые слова:** зеленая энергетика, солнечные панели, фотоэлектрический преобразователь, монтажный кабель, удельное сопротивление, потери мощности, исследовательский стенд.

**Annotatsiya.** Ushbu matnda bugungi kunda dolzarb hisoblangan yashil energetika, xususan, quyosh fotoelektr tizimlaridan samarali foydalanish masalalari yoritilgan. Quyosh panellarini o‘rnatishda elektr energiyasining montaj kabellaridagi qarshilik tufayli yo‘qotilish muammosi tahlil qilingan. Kabel o‘lchamlarining iqtisodiy va texnik samaradorlikka ta’sirini aniqlash maqsadida maxsus tadqiqot stendining loyihasi, chizmasi hamda tarkibiy qismlari (rezistorlar, diodlar, o‘lchov asboblari) ishlab chiqilganligi bayon etilgan.

**Kalit so‘zlar:** yashil energetika, quyosh panellari, fotoelektr o‘zgartirgich, montaj kabeli, solishtirma qarshilik, quvvat yo‘qotilishi, tadqiqot stendi.

## KIRISH.

Yashil energetikadan foydalanish bugungi kunda juda dolzarb mavzulardan biri bo'lib turibdi. Quyoshning yorug'lik energiyasini elektr energiyaga o'zgartirib foydalanish ekologik jixatdan eng zararsiz usul hisoblanadi. Shunga ko'ra davlatimiz miqyosida keng iste'molga imkon yaratish ustida tegishli imtiyozlar berilayadi va tegishla qonun hujjatlari ishlab chiqildi. Bu imkoniyatlar o'z navbatida fuqarolik ob'ektlariga va tashkilotlarga quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantiruvchi tizimlar o'rnatildi va bu davom etayapdi. Quyoshning yorug'lik nuri yordamida elektr energiya ishlab chiqaruvchi fotoelektr o'zgartirgich panellar(*keyingi matnda quyosh panellari deyiladi*), ushbu tizimlarning tayanch qismi hisoblanadi. Quyosh panellari ishlab chiqargan elektr energiyasining xossalari ishlab chiqaruvchilar tomonidan belgilanib pasportida ko'rsatiladi.




**«DGU-50949» hujjati berilgan dasturning ishchi xolati**

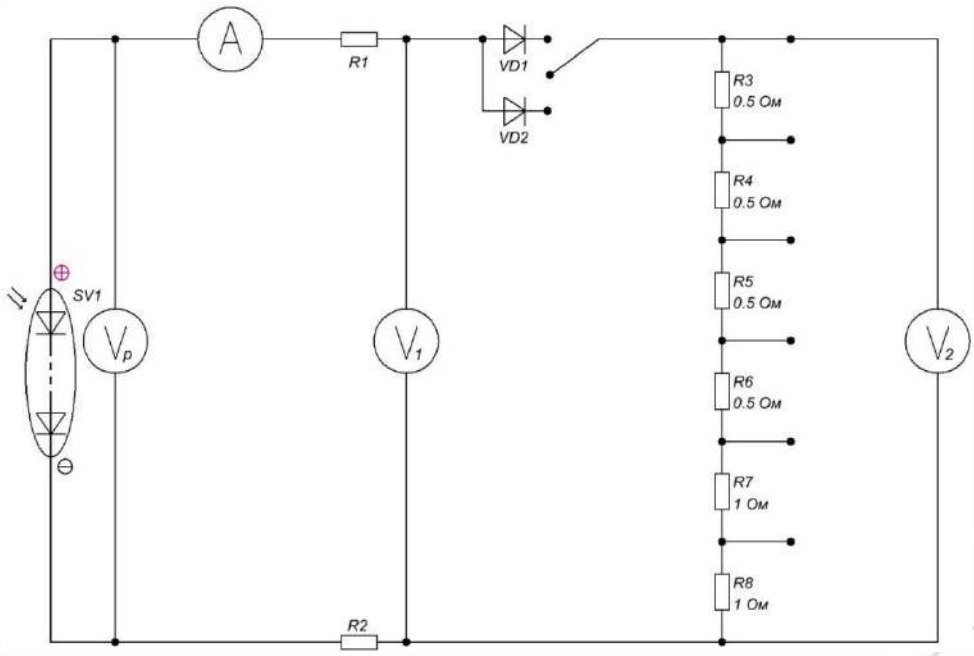
Korxona, ishlab chiqaruvchilar o'ziga hos qiymatlardagi: eng yuqori kuchlanish; o'rtacha elektr zaryad oqimi; qisqa tutashuvdagi elektr zaryad oqimi, maksimal quvvat ko'rsatkichlarini pasportida belgilaydi. Quyosh panellari o'rnatilishida ob'eklarning tom qismiga yoki alohida moslamalar bilan quyosh nuri tushib turadigan joylarga o'rnatiladi. Quyosh panellaridan chiqqan elektr energiya iste'molchiga kabellar yordamida olib boriladi. Elektr energiya iste'molchilari bir soatda qancha quvvat energiya talab qilishi va quyosh panellaridan chiqqan elektr energiya quvvati o'zaro mos bo'lsa yoki iste'molchining talab quvvati kam bo'lsa quyosh paneli tizimidan foydalanish nuqsonsiz ishlaydi. Nuqsonsiz, kamchiliklarsiz quyosh paneli tizimining ishlashi uchun aniq hisoblashlar bajarilishi zarur. Shulardan biri: quyosh paneliga ulangan montaj kabellarining


ISSN 3030-3907

o’lchamlaridir. Ushbu formula: R=ρ*L/S (Om) ya’ni R – montaj kabelining qarshiligi, ρ (ro’) – metal o’tkazgichning solishtirma qarshiligining L – metal o’tkazgichning uzunligiga ko’paytmasiga va natijani S – metal o’tkazgichning yuzasiga bo’linmasiga teng. Montaj kabellarining qarshiligi hisobiga elektr energiyaning ma’lum miqdorini kabelda yo’qoladi. Shundan kelib chiqib aytish mumkinki kabelning o’lchamiga bog’liq ravishda quyosh paneli ishlab chiqargan elektr energiya iste’molchiga yetib kelmasdan yo’qotiladi. Quyosh paneli tizimi uchun qanday o’lchamdagi kabellardan foydalanish samarali bo’lishini aniqlash dolzarb ish bo’lgani uchun ma’lum ketma-ketlikdagi tadqiqot ishlarini bajarish zarur.

Ushbu tadqiqotni bajarish uchun tajriba stendini yaratish talabi borligi va o’lchov tadqiqotlarini bajarish quyosh panelidan foydalanish tizimining iqtisodiy samaradorligini oshiruvchi omillarni ko’rsatishga xizmat qiladi.

Montaj kabellaridagi yo’qotishlarni o‘lchash uchun yaratilgan tadqiqot stendi g’oyasi asosida uning tashkiliy ishlash loyihasi ishlab chiqildi va chizmasi yaratildi. Tadqiqot stendida o’n to’rt dona rezistor, ikki dona diod bir bona ampermetr, uch dona volьtmetr, o’n ikki dona elektr maxkamlagichlar, 32 dona vintli maxkamlagichlar va steklotekstolitdan foydalanildi. Stendning chizmasi 1 – rasmda ko’rsatilgan.




**1 – rasm. Tadqiqot stendining ekvivalent chizmasi.**

Tadqiqot stendi yuqoridagi chizma asosida elektr zanjiri hosil qilib yig‘ilgan. Quyosh panelidan chiqqan elektr zaryadlar kabellar orqali stendga ulanadi, kabelning plyus uchi orqali elektr zaryad oqimi ampermetr orqali VD1, VD2 – diodlarining biriga ulanib undan so‘ng R3, R4, R5, R6, R7, R8 rezistorlari orqali kabelning minus uchiga ulanadi. Vp – voltmetri quyosh panelining yoniga


ISSN 3030-3907

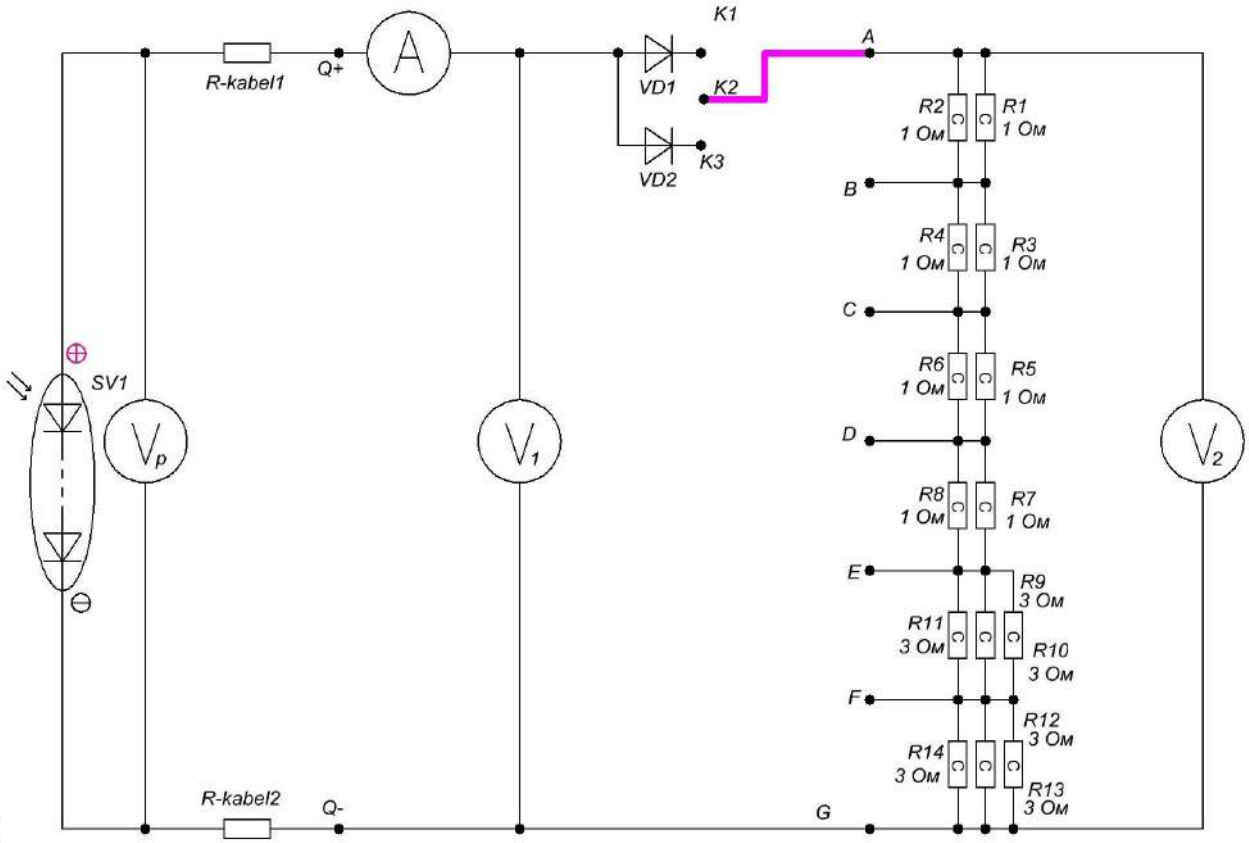
o‘rnatiladi va uning yordamida quyosh panelidan chiqqan kuchlanish o‘lchanadi. V1 – voltmetri yordamida stendga kelgan kuchlanish o‘lchanadi. V2 – voltmetr yordamida iste’molchiga boradigan kuchlanish o‘lchanadi. A – ampermetr yordamida quyosh panelidan chiqqan zaryad oqimi o‘lchanadi. Rezistorlardagi diodlardagi va paneldagi kuchlanishlarni o‘lchab natijani elektr zanjiridagi ketma-ket ulangan ampermetrning o‘lchangan qiymatiga ko‘paytirish orqali iste’mol quvvati hisoblanadi.

VD1, VD2 – diodi sifatida ishlab chiqarilishiga ko‘ra ikki turdagi dioddan almashtirib ulash asosida foydalaniladi, bittasi kuch diodi va ikkinchisi shottki diodi. Bu diodlar o‘zida kuchlanish olib qolishiga ko‘ra solishtiriladi.

R1, R2 – rezistorlari montaj kabelining qarshiligini ko‘rsatadi.

R3, R4, R5, R6, R7, R8 – rezistorlari yuklama qurilmalarining ichki qarshiliklarini ifodalaydi.

Yuqoridagi ekvivalent chizma asosida ishchi qat’iylik chizmasi ishla chiqildi.

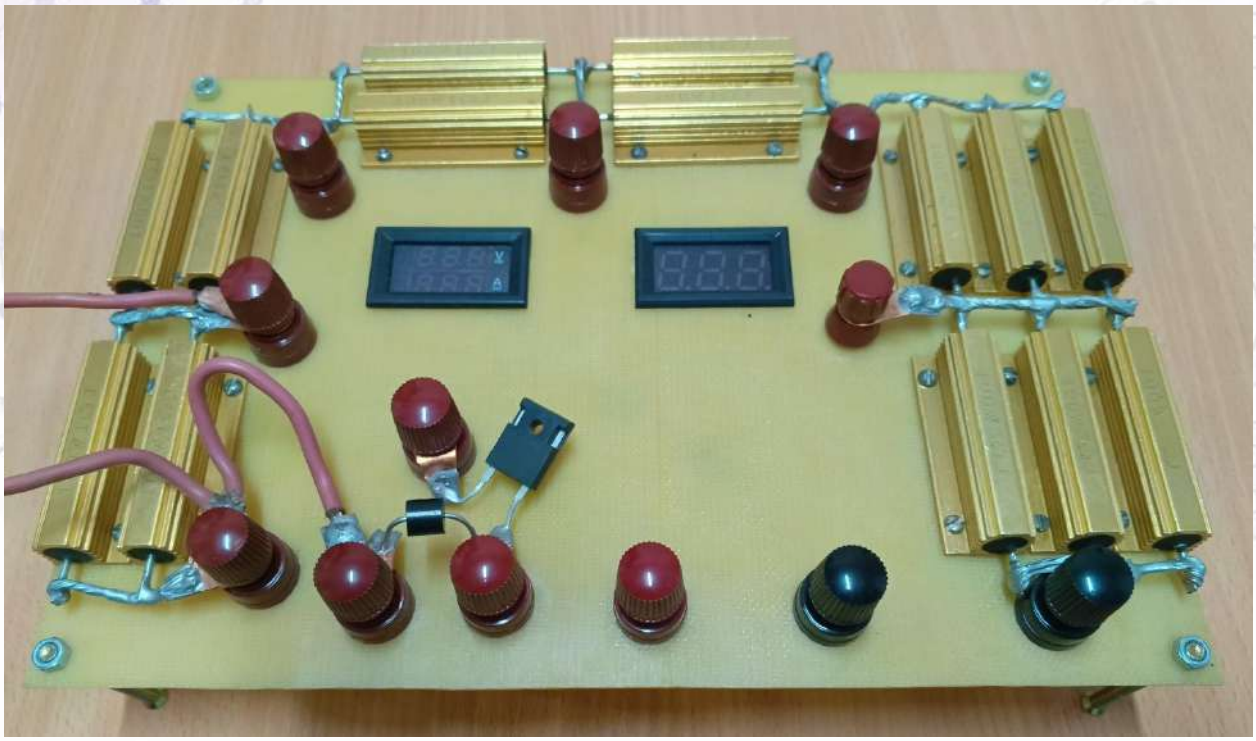



**2 – rasm. Tadqiqot stendining ishchi qat’iylik chizmasi.**

Ushbu ishchi qat’iylik chizmasida, tadqiqot stendining tajriba namunasi ishlab chiqildi. Buning uchun asos sifatida yuqori xaroratga chidamli dielektrik material hisoblangan steklotekstolit tanlandi.


ISSN 3030-3907

Ushbu 2-rasmdagi tadqiqot stendining chizmasi asosida tajriba stendi(3-rasm) yaratildi. Tajriba stendida, hech qanday qo‘shimcha qurilmalarsiz mustaqil ravishda o‘lchov ishlari bajariladi.



**3 – rasm. Tadqiqot uchun yaratilgan stendning ko‘rinishi.**

Tajriba stendi yordamida 200-600Vattgacha quyosh panellari tizimlaridagi yo‘qotishlarni yuklama tavsifi bo‘yicha tadqiqot o‘tkazish imkoni paydo bo‘ldi. Stendda rezistorlar o‘zaro qisqa tutashuv hosil qilmasligi uchun parallel ulangan rezistorlar 1-2mm masofada vitlar bilan steklotekstolitga maxkamlangan. Diodlar va voltmetr ampermetrlar ham bir birlaridan kamida 5mm masofada joylashgan, bu esa elektr zaryadlarining xarakati davrida qisqa tutashuvlar bo‘lmasligini ta’minlaydi.

Tadqiqot stendini ixchamlashtirish uchun 1-rasmda ko‘rsatilgan ekvivalent chizmadagi rezistorlar optimallashtirilib 200-300 vatt quvvatdagi gabariti katta qo‘pol o‘lchamdagi rezistorlardan bir donadan emas bir necha 100 vattli rezistorlarni parallel ulash orqali tashkil qilinib, gabarit o‘lcham kamaytirildi. Stendning yuklama quvvatini o‘zgartirish uchun maxkamlagichlar o‘rnatilgan(3-rasmda P shakldagi jigarrang rangli ebonit izolyatsiyaga ega elektr maxkamlagichlar) va yuklama qarshiligi tartib bilan ketma-ket kamaytirib yoki oshirib boriladi. Yuklama rezistorlari ketma-ket kavsharlanib zanjir ko‘rinishida ulangan.

3-rasmda chapdagi o‘lchash qurilmasi ampermetr va voltmetrni o‘z ichiga oladi. O‘ng tomondagi o‘lchash qurilmasi voltmetr bo‘lib chiqish yuklama rezistoriga parallel ulangan va yuklama rezistoridagi kuchlanishni ko‘rsatadi.


ISSN 3030-3907

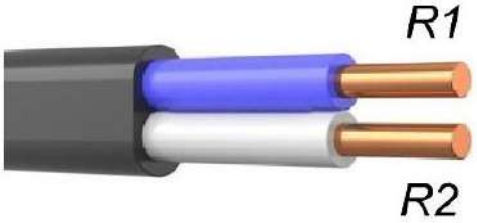
Ikkala o‘lchash qurilmalari 100 Voltgacha kuchlanishni va 20 Ampergacha bo‘lgan elektr zaryad oqimini ko‘rsatadi.

Tadqiqot stendidagi rezistorlarni, issiqlik tarqatishi yuqori bo‘lgan alyumin korpusli element tanlangan. Qurilmani yig‘ish uchun steklotekstolit tanlangan va bu elektr o‘tkazmaydigan yuqori haroratga chidamla asos bo‘lib xizmat qiladi. O‘lchash xatoliklari kichik bo‘lishi uchun tadqiqot stendi ishlaydigan muxit 30ºC ±10 ºC xaroratida bo‘lishi talab etiladi.

Shu kungacha turli joylarda o‘rnatilgan quyosh paneli tizimlarining qurilishi va montaj kabellari to‘g‘risidagi surishtiruvlarga ko‘ra O‘zbekistonda hech bir tashkilot quyosh panellaridan chiqqan elektr energiyaning montaj kabellarida yo‘qotilishi bo‘yicha tadqiqot olib bormagan, shu sababdan 3-rasmdagi stend asosida montaj kabellaridagi yo‘qotishlarni aniqlash zarurligi ayon bo‘ldi. O‘lchash ishlarini olib borish uchun uch xil yuzaga ega bo‘lgan kabel tanlanib, tadqiqot o‘tkazildi. Quyosh paneliga kabellar ulanib kabelning ikkinchi tomoni tadqiqot stendiga ulandi. O‘lchash ishlari kunduzi quyoshli vaqtda soat 10-11 atrofida, 550 Vattli quyosh paneli yordamida bajarildi.

Har bir o‘lchov natijalari yozib olinib, jadval ishlab chiqildi. Ushbu jadvalda quyosh paneli ishlab chiqargan elektr energiyasi iste’molchiga yetib borishida qancha yo‘qotishlar bo‘lgani namoyon bo‘ldi va yuklama sifatidagi iste’molchining quvvati oshib borishi, ya’ni iste’molchining qarshiligi kichik bo‘lishi, elektr energiyasining yo‘qotilishiga sabab bo‘lishi aniqlandi.
O‘lchash jarayonida yuklama rezistori 0.5 Om farq bilan 4 Omdan 2 Omga kamaytirilib borildi. Bu ish 2 marta takrorlandi, ya’ni birinchisi kuch diodi orqali elektr zaryadlari oqimi zanjirdan o‘tkazildi, ikkinchi marta o‘lchashda Shottki diodi orqali elektr zaryadlari oqimi zanjirdan o‘tkazildi.

Quyosh paneliga 4mm2, 6mm2, 10mm2 kabellari ketma-ket ulanib kabelning ikkinchi tomoni tadqiqot stentiga ulandi. Uch xil yuzadagi kabellar stend va quyosh paneliga navbat bilan ulanib o‘lchandi.




O‘lchash natijalari asosida ishlab chiqilgan jadvaldan ko‘rish mumkin bo‘ldiki, ya’ni kabellarning yuzasi qanchalik katta bo‘lsa, elektr zaryadlari oqimi shunchalik ko‘payishi namoyon bo‘ldi. Undan tashqari quyosh panelidan chiqqan ishchi to‘yinish zaryad oqimining qiymati va optimal yuklama qarshiligi qiymati hosil bo‘ldi.


ISSN 3030-3907

Ushbu yaratilgan tadqiqot stendidan o‘quv jarayonlarida laboratoriya ishlarida tadqiqot o‘tkazib o‘lchov ishlarini bajarish uchun foydalaniladi.

Yaratilgan tadqiqot stendining analoglari mavjuda emas ammo alohida ampermetr va voltmetr va rezistorlar yordamida bir necha marta mantaj kabellarga uzib ulashlar orqali alohida o‘lchash tadqiqotlari o‘tkaziladi.

Ushbu tadqiqot stendi yordamida uch turdagi montaj kabellarining elektr energiya sarfi aniqlandi. O‘lchov natijalari jadval ko‘rinishida ko‘rsatiladi.

**1-Jadval**

| 550W Quyosh paneliga **30SQ050** Shottky diodi orqali ulangan yuklamalarni tadqiq qilish | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S($m m^2$) | R(om) | $U_p$(V) | I (A) | $U_k$ (V) | $U_{ch}$ (V) | $P_p$(Wt) | $P_i$(Wt) | $P_k$(Wt) | $P_d$(Wt) | $P_{k+d}$(Wt) | F.I.K. |
| 4 | 4,0 | 44,3 | 9,04 | 42,7 | 42,5 | 400,47 | 384,20 | 14,46 | 1,81 | 16,27 | 0,96 |
| | 3,5 | 43,2 | 9,97 | 41,5 | 41,3 | 430,70 | 411,76 | 16,95 | 1,99 | 18,94 | 0,96 |
| | 3,0 | 41,2 | 11,1 | 39,8 | 39,7 | 457,32 | 440,67 | 15,54 | 1,11 | 16,65 | 0,96 |
| | 2,5 | 36,3 | 11,8 | 34,7 | 34,6 | 428,34 | 408,28 | 18,88 | 1,18 | 20,06 | 0,95 |
| | 2,0 | 27 | 12 | 25,3 | 24,9 | 324,00 | 298,80 | 20,40 | 4,80 | 25,20 | 0,92 |
| | | | | | | | | | | | |
| 6 | 4,0 | 44,3 | 9,02 | 43 | 42,8 | 399,59 | 386,06 | 11,73 | 1,80 | 13,53 | 0,97 |
| | 3,5 | 43,5 | 9,83 | 42,2 | 42,1 | 427,61 | 413,84 | 12,78 | 0,98 | 13,76 | 0,97 |
| | 3,0 | 41,5 | 11 | 40,1 | 40,0 | 456,50 | 440,00 | 15,40 | 1,10 | 15,40 | 0,97 |
| | 2,5 | 36,3 | 11,8 | 34,9 | 34,6 | 428,34 | 408,28 | 16,52 | 3,54 | 20,06 | 0,95 |
| | 2,0 | 26,6 | 12 | 25,4 | 25 | 319,20 | 300,00 | 14,40 | 4,80 | 19,20 | 0,94 |
| | | | | | | | | | | | |
| | 4,0 | 44,3 | 9,02 | 43,2 | 43,1 | 399,59 | 388,76 | 9,92 | 0,90 | 10,82 | 0,97 |


ISSN 3030-3907

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 3,5 | 43,7 | 9,82 | 42,4 | 42,3 | 429,13 | 415,39 | 12,77 | 0,98 | 13,75 | 0,97 |
| | 3,0 | 41,5 | 11 | 40,5 | 40,4 | 456,50 | 444,40 | 11,00 | 1,10 | 12,10 | 0,97 |
| | 2,5 | 36,2 | 11,8 | 35 | 34,8 | 427,16 | 410,64 | 14,16 | 2,36 | 16,52 | 0,96 |
| | 2,0 | 26,4 | 12 | 25,5 | 25,2 | 316,80 | 302,40 | 10,80 | 3,60 | 14,40 | 0,95 |

S(mm2) – kabel o‘tkazgichining yuzasi;
R(om) – yuklama rezistorlarning qarshigili;
Up(V) – quyosh panelidan chiqqan kuchlanish;
I (A) - quyosh panelidan chiqayotgan zaryadlarning oqim(tok) kuchi;
Uk (V) – kabeldan chiqqan va zanjirga kirish kuchlanish;
Uyuk (V) – zanjirdagi yuklamaning kuchlanishi;
Pp(Wt) – quyosh panelining chiqash quvvati;
Pi(Wt) – quyosh panelidan chiqayotgan zaryadlarning oqim(tok) kuchi;
Pk(Wt) – kabelga sarflangan elektr quvvati;
Pd(Wt) – diodda sarflangan elektr quvvati;
Pk+d(Wt) – kabel va diodda sarflangan elektr quvvatlari yig‘indisi;
F.I.K. – quyosh panelidan chiqqan elektr quvvatining iste’molchiga yetib borishi.
Uylarga yoki boshqa obyektlarga quyosh paneli o‘rnatilganda o‘rtacha hisolanganda 22 metr juft kabellar montaj qilinadi. Shu sababdan tadqiqot ishlari 22 metr uzunlikdagi kabellarda o‘lchandi.
Yuzasi 4 mm2 bo‘lgan kabeldagi umumiy sarflangan quvvatning o‘rta qiymati:
P(4)ko‘(Wt) =(14,46+16,95+16,65+18,88+20,40)/5=17,47;
P(4)A(Wt) =17,47/22=0,79;
Yuzasi 6 mm2 bo‘lgan kabeldagi umumiy sarflangan quvvatning o‘rta qiymati:
P(6)ko‘(Wt) =(11,73+12,78+15,4+16,52+14,4)/5 =14,17;
P(6)A(Wt) =14,17/22=0,64;
Yuzasi 10 mm2 bo‘lgan kabeldagi umumiy sarflangan quvvatning o‘rta qiymati:
P(10)ko‘(Wt) =(9,92+12,77+11,00+14,16+10,80)/5=11,73;
P(10)A(Wt) =11,73/22=0,53;
Alohida hisoblashlar uchun ishlab chiqilgan jadval

**2-Jadval**

| Juft kabel-ning | Har bir uy(obyekt)da 1metr kabeldagi yo‘qotilgan quvvat (Vatt) | Elektr energiya narxi 1kVt/soat 1000 so‘mdan hisoblangan | Juft kabel |
|---|---|---|---|


ISSN 3030-3907

| yuzasi ($mm^2$) | 1 soatda | 1 kunda | 1 oyda | 1 yilda | 1 yilda Kabelda yo‘qotilgan elektr energiya narxi (so‘m) | 25 yilda Kabelda yo‘qotilgan elektr energiya narxi (so‘m) | narxi (so‘m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 0,79 | 18,96 | 568,8 | 6920,4 | 6.9*1000=6900 | 172500 | 18’000 |
| 6 | 0,64 | 15,36 | 460,8 | 5606,4 | 5.6*1000=5600 | 140000 | 25’000 |
| 10 | 0,53 | 12,72 | 381,6 | 4642,8 | 4.6*1000=4600 | 115000 | 35’000 |

Uylar va boshqa obyektlar uchun o‘rtacha uzunlikdagi kabel asosidagi hisiblangan jadval

**3-Jadval**

| Juft kabel-ning yuzasi ($mm^2$) | Har bir uy(obyekt)da 22metr kabeldagi yo‘qotilgan quvvat (Vatt) | | | | Elektr energiya narxi 1kVt/soat 1000 so‘mdan hisoblangan | | Juft kabel narxi (so‘m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 soatda | 1 kunda | 1 oyda | 1 yilda | 1 yilda Kabelda yo‘qotilgan elektr energiya narxi (so‘m) | 25 yilda Kabelda yo‘qotilgan elektr energiya narxi (so‘m) | |
| 4 | 17,47 | 419,28 | 12578,4 | 153037,2 | 153*1000=153’000 | 3’825’000 | 396’000 |
| 6 | 14,17 | 340,08 | 10202,4 | 124129,2 | 124*1000=124’000 | 3’100’000 | 550’000 |
| 10 | 11,73 | 281,52 | 8445,6 | 102754,8 | 102*1000=102’000 | 2’550’000 | 770’000 |

Natijalardan hulosa shuki barcha turdagi kabellarda elektr energiyasi ma’lum qiymatda yo‘qotiladi, bu energiya yo‘qotishlari tanlangan montaj kabellarining yuzasiga bog‘liqligi yuqoridagi jadvaldan ma’lum bo‘ldi. Xozirgi paytda O‘zbekiston bo‘ylab quyosh panellari tizimini o‘rnatib ishga tushiruvchi firmalar ommaviy ravishda yuzasi 4 va 6 mm2 bo‘lgan kabellarni montaj qilayapdilar va bu kabellar o‘rtacha 22 metr uzunlikni tashkil etsa mos ravishda, 153'000 hamda 124'000 so‘m miqdordagi elektr energiyani bir yil davomida havoga sovuradi.

Bunday yo‘qotishlarni kamaytirish uchun kamida 10 mm2 yuzadagi kabel tanlanib montaj qilishini zarur. Yuqoridagi jadvaldan ko‘radigan bo‘lsak, bir yildagi yo‘qotishlar 102'000 so‘mni tashkil etadi. Bu pul qiymati 4mm2 yuzali kabeldan 41000 so‘m kam yo‘qotish bo‘lishini ko‘rsatib, 6mm2 yuzali kabeldagi


ISSN 3030-3907

yo‘qotishdan 22000 so‘mga kam ekanini bildiradi va har ikkala yuzali kabeldan ko‘ra tejamkorligini bildiradi.

Quyoshdan elektr energiya olish tizimidagi panellar va uning elektron apparatlari birgalikda 25 yil xizmat ko‘rsatishiga ayrim firmalar kafolat berishlarini inobatga olib hisoblaydigan bo‘lsak, o‘rtacha uzunligi 22 metr bo‘lgan kabellarda:

153'000*25yil=3'825'000 so‘m, ya’ni bu pul 25 yil davomida 4mm2 kabelda yo‘qotildi;

Ushbu yuzadagi 22 metr kabelning pul qiymati 396'000 so‘mni tashkil etadi.

124'000*25yil=3'100'000 so‘m, ya’ni bu pul 25 yil davomida 6mm2 kabelda yo‘qotildi;

Ushbu yuzadagi 22 metr kabelning pul qiymati 550'000 so‘mni tashkil etadi.

102'000*25yil=2'550'000 so‘m, ya’ni bu pul 25 yil davomida 10mm2 kabelda yo‘qotildi;

Ushbu yuzadagi 22 metr kabelning pul qiymati 770'000 so‘mni tashkil etadi.

Iqtisodiy samaradorlik jixatlaridan taqqoslab ko‘rilsa kabel tanlash yanada aniqlashadi, ya’ni:

1) Quyosh paneli tizimini xarid qiluvchi subyekt 25 yil davomida 4mm2 kabelga 396'000 so‘m pul sarflagan va 3'825'000 so‘m pul kabelda yo‘qotilgan. Bularning 25 yil davomidagi yig‘indisi:

3'825'000so‘m + 396000so‘m = 4'221'000 so‘mni tashkil etadi.

2) Quyosh paneli tizimini xarid qiluvchi subyekt 25 yil davomida 6mm2 kabelga 550'000 so‘m pul sarflagan va 3'100'000 so‘m pul kabelda yo‘qotilgan. Bularning 25 yil davomidagi yig‘indisi:

3'100'000so‘m + 550000so‘m =3'650'000 so‘mni tashkil etadi.

3) Quyosh paneli tizimini xarid qiluvchi subyekt 25 yil davomida 10mm2 kabelga 770'000 so‘m pul sarflagan va 2'550'000 so‘m pul kabelda yo‘qotilgan. Bularning 25 yil davomidagi yig‘indisi:

2'550'000so‘m + 770000so‘m = 3'320'000 so‘mni tashkil etadi.

Ushbu hisoblashlar natijasiga ko‘ra 10mm2 yuzali kabeldan foydalanish:

4mm2 yuzali kabeldan 901'000 so‘mga tejamkor;

6mm2 yuzali kabeldan 303'000 so‘mga tejamkor ekani aniqlandi.

**Iqtisodiy samaradorlik bo‘yicha xulosa:** Mahallamizda 4550 nafar fuqaro yashaydi va 825 ta uy xo‘jaliklar bor. Mahallamizdagi 800 xo‘jalik uylari yashil energiyaga o‘tib, quyosh paneli tizimidan foydalansa va kabellarning 10mm2 yuzalisidan foydalanilsa kamida 242'400'000 so‘m miqdoridagi pul butun maxallamizdan tejaladi. Bekobod tumanida 52 ta maxalla bor shuning 50tasi yashil energiyaga o‘tib quyosh paneli tizimidan foydalansa kamida 12'120'000'000 so‘m miqdorida pul tumanimizdan 25 yil davomida tejaladi. Bu pulni ijtimoiy yordam sifatida ishlatsak har 6 yilda tumanimizga bitta bolalar bog‘chasi qurib ishga


ISSN 3030-3907

tushirish mumkin bo‘ladi. Mustaqil bo‘lganimizga 34 yil bo‘lgan bo‘lsa bizning tumanimizda hamma bolalar bog‘chasi SSSR davridan beri faoliyat yuritib kelayotgan bog‘chalardir. Xususiy bolalar bog‘chalar va ayrim istisno tariqasidagi qurilgan bog‘chalarni hisobga olmasak mahallalarga har 6 yilda bolalar bog‘chasini qurib ishga tushirish sezilarli darajadagi yangilik bo‘ladi.

**Past intensivlikda elektr energiyadan foydalanish bo‘yicha hulosa:** Yuqoridagi jadvalda ko‘rsatilgan tadqiqot natijalariga ko‘ra montaj kabellarining 10mm2 yuzalisidan foydalanilsa, quyosh panelidan chiqqan kuchlanish 0.1Voltdan 0.7Voltgacha yo‘qotishlar kamayib, zaryadlash jarayoni ham quyosh ufqda ko‘ringandan keyin 4-6 mm2 yuzalarga nisbatan ertaroq boshlanishi aniqlandi.

**Qo‘shimcha ma’lumot sifatida shuni aytish mumkinki:** Ushbu amaliy tadqiqot uchun dastur yaratilib, adliya vazirligining patent idorasi ya’ni intellektual mulk agentligiga “DT-202503840” talabnomasi berildi va “IMA” tomonidan “DGU-50949” hujjati berildi. Ushbu hujjat va dasturning ishchi xolati ilovada keltirilgan.



ELEKTRON HISOBLASH MASHINALARI UCHUN YARATILGAN
DASTURNING RASMIY RO'YXATDAN O'TKAZILGANLIGI TO'G'RISIDAGI

GUVOHNOMA

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI ADLIYA VAZIRLIGI

№ DGU 50949

Ushbu guvohnoma O'zbekiston Respublikasining "ELEKTRON HISOBLASH MASHINALARI UCHUN YARATILGAN DASTURLAR VA MA'LUMOTLAR BAZALARINING HUQUQIY HIMOYASI TO'G'RISIDA"gi Qonuniga asosan quyidagi elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturga berildi

Quyosh panelining yuklama tasnifini tadqiq qilish uchun yaratilgan dastur
(DASTUR NOMI)

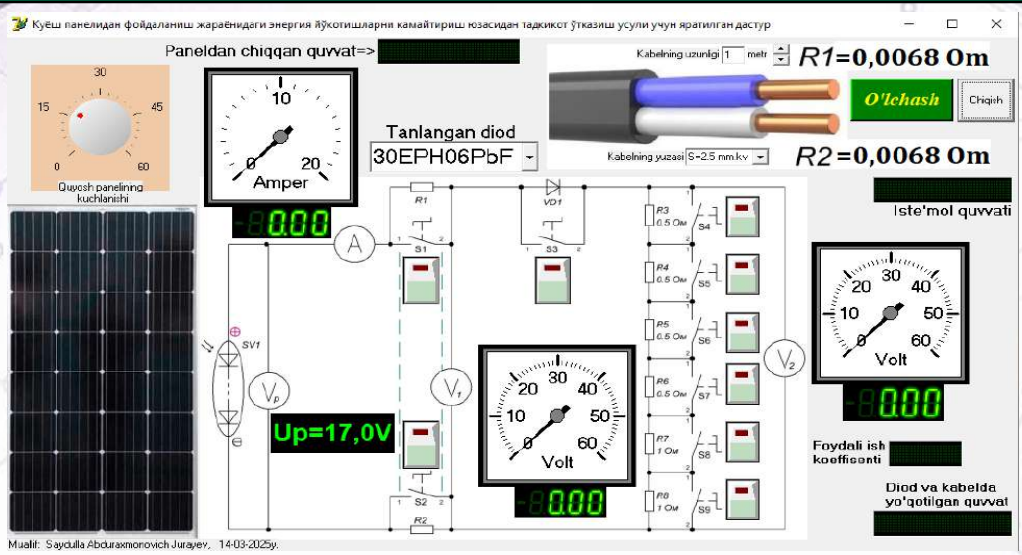
Talabnoma kelib tushgan sana: 02.05.2025 Talabnoma raqami: DT 202503840

Huquq egasi(lari): JURAYEV SAYDULLA ABDURAXMONOVICH

Dastur muallifi(lari): JURAYEV SAYDULLA ABDURAXMONOVICH

O'zbekiston Respublikasining Dasturiy mahsulotlar davlat reyestrida 16.05.2025 y. ro'yxatdan o'tkazildi.


ISSN 3030-3907




## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Karimov A.S. va b. Elektrotexnika va elektronika asoslari. Masalalar to‘plami va laboratoriya ishlari T. O‘qituvchi. 1991 y.
2. Charls Gross Fundamentals of Electrical Engineering 2012 by Taylor & Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business.
3. GiorgioRizzoniPrinciples and Applications. McGraw-Hill Higher Education 2010g.996r.
4. Planck Collaboration Planck 2013 results. XVI. Cosmological parameters. — arXiv:1303.5076
5. P. Giridhar Kiniand Ramesh C. Bansal, Energy management systems. Published by InTech.JanezaTrdine 9, 51000 Rijeka, Croatia. Copyright © 2011 InTech. (p.61)
6. Gayibov T.SH. Energetika va energiya samaradorlik muammolari. O‘quv uslubiy majmua. TDTU qoshidagi pedagogik kadrlarni qayta tayyorlash va ularni malakasini oshirish tarmoq markazi 2016 y.
7. Infocom.uzelektron jurnali: www.infocom.uz
8. www.press-uz.info
9. www.ziyonet.uz
11. www.edu.uz
12. www. energystrategy.ru
13. www. uzenergy.uzpak.uz
14. http://www.ges.ru
15. http://www.solarhome.ru/hydro


ISSN 3030-3907

# MAHSULDOR QATLAMNI BURG‘ILASH VAQTIDA BURG‘ILANGAN QUM ZARRACHALARINING BURG‘ILASH ERITMASIGA SALBIY TA’SIRI VA UNI BARTARAF ETISH.

**Murtazoyev Abdujabbor Mustafoyevich**
***TDTU NGSMJ va QTT kafedrasi professori.***
**Abdalimov Azamat To‘ra o‘g‘li**
***TDTU tayanch doktaranti.***
**Xudoyberdiyeva Go‘zal Shavka qizi**
***AIFU magistrati.***

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada mahsuldor qatlamni burg‘ilash jarayonida hosil bo‘ladigan qum zarrachalarining burg‘ilash eritmasi xossalariga salbiy ta’siri hamda ularning oldini olish usullari o‘rganilgan. Qattiq faza miqdorining ortishi natijasida eritmaning reologik ko‘rsatkichlari, filtratsiya hajmi va gidravlik qarshilik o‘zgarishi tahlil qilingan. Mexanik tozalash tizimlari, kimyoviy stabilizatorlar va optimal gidravlik rejimni tanlash orqali muammoni bartaraf etish yo‘llari asoslab berilgan.

**Kalit so‘zlar:** mahsuldor qatlam, burg‘ilash eritmasi, qum zarrachalari, reologiya, filtratsiya, qattiq faza, stabilizator.

**Аннотация.** В статье рассмотрено негативное влияние песчаных частиц, образующихся при бурении продуктивного пласта, на свойства бурового раствора. Проанализированы изменения реологических показателей, фильтрации и гидравлических параметров при увеличении содержания твердой фазы. Предложены методы предотвращения осложнений путём применения механической очистки, химических стабилизаторов и оптимизации гидравлического режима.

**Ключевые слова:** продуктивный пласт, буровой раствор, песчаные частицы, реология, фильтрация, твердея фаза.

**Abstract.** This article examines the negative impact of sand particles generated during drilling of productive formations on drilling fluid properties. Changes in rheological parameters, filtration volume, and hydraulic resistance caused by increased solid content are analyzed. Methods for preventing adverse effects through mechanical cleaning systems, chemical stabilization, and hydraulic optimization are proposed.

**Keywords:** productive formation, drilling fluid, sand particles, rheology, filtration, solids control.

## KIRISH.

Mahsuldor qatlamlarni burg‘ilash jarayoni neft va gaz sanoatida eng mas’uliyatli bosqichlardan biridir. Qatlam ko‘pincha bo‘sh sementlangan qumtosh yoki qum kollektorlaridan tashkil topgan bo‘lib, mexanik ta’sir natijasida yemiriladi va qum zarrachalari burg‘ilash eritmasiga aralashadi.


ISSN 3030-3907

Qum zarrachalarining ko‘payishi quyidagi salbiy oqibatlarni keltirib chiqaradi:

Eritma zichligining ortishi

Plastiklik yopishqoqligining oshishi

Filtratsiya hajmining ortishi

Nasos va quvurlarning abraziv yeyilishi

Quduq tubida qum to‘planishi

Shu sababli qattiq fazani nazorat qilish burg‘ilash texnologiyasining muhim qismi hisoblanadi.

Qum zarrachalarining burg‘ilash eritmasiga ta’siri

**Reologik ko‘rsatkichlarning o‘zgarishi**

Qum miqdori oshishi eritmaning ichki ishqalanishini kuchaytiradi.

**1-jadval**

Qum miqdorining eritma reologiyasiga ta’siri

| Qum miqdori (%) | Zichlik (g/sm³) | PV (mPa·s) | YP (Pa) | Gel (10 s) |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.18 | 17 | 11 | 5 |
| 4 | 1.22 | 24 | 15 | 9 |
| 6 | 1.28 | 32 | 21 | 14 |
| 8 | 1.34 | 41 | 29 | 20 |

Jadvaldan ko‘rinadiki, qattiq faza oshishi bilan PV va YP keskin ortadi.

**Qum zarrachalarining salbiy ta’sirini kamaytirish usullari**

**Mexanik tozalash tizimlari**

Qattiq fazani kamaytirish uchun quyidagi uskunalar qo‘llaniladi:

Vibratsion elak

Qum ajratgich

Loy ajratgich

Sentrifuga

**2-jadval**

Mexanik tozalash samaradorligi

| Uskuna | Zarrachalar o‘lchami (mkm) | Samaradorlik (%) |
|---|---|---|
| Vibratsion elak | >100 | 75–80 |
| Qum ajratgich | 40–100 | 65–75 |
| Loy ajratgich | 15–40 | 55–70 |
| Sentrifuga | <15 | 60–80 |

Bosqichma-bosqich tozalash tizimi qattiq fazani minimal darajaga tushiradi.

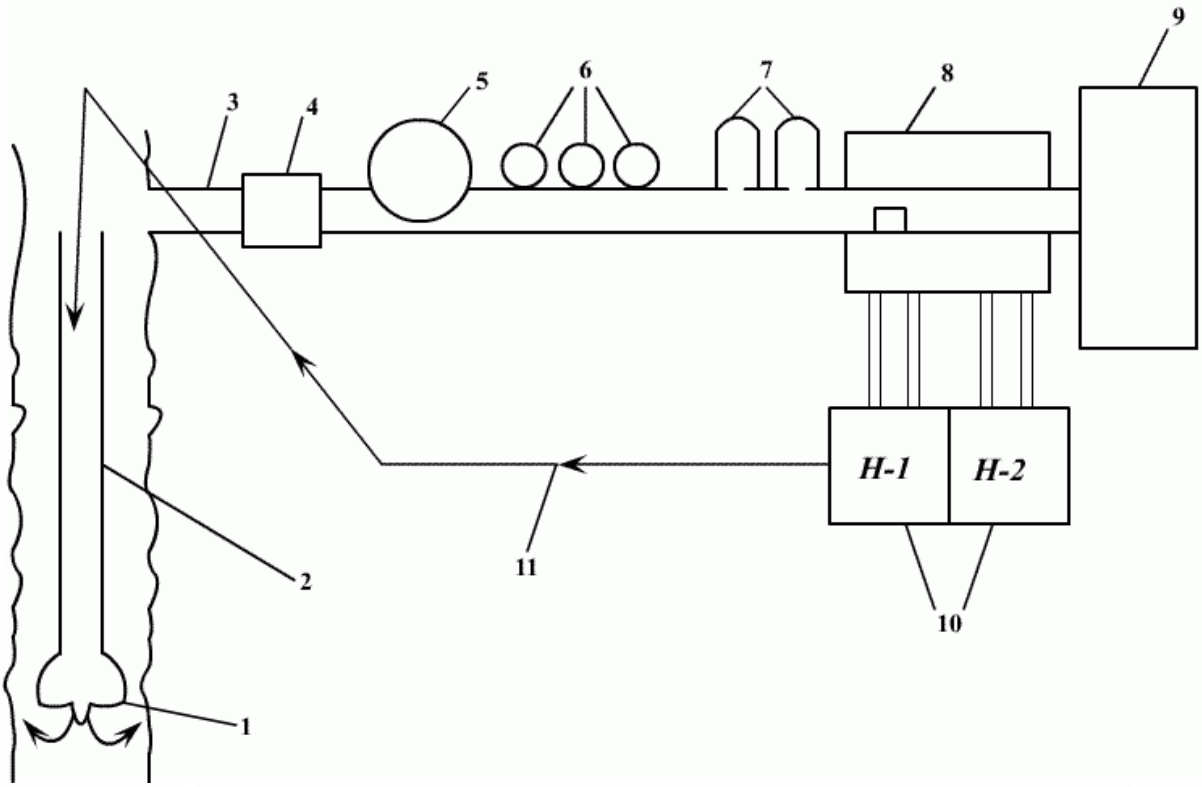
Burg‘ilanayotgan maydonlarda burg‘ilash eritmalarini boshqarib va nazorat qilib turish uchun mahsus ko‘chma tajriba honalar mavjud. Bunday tajribahonalar


ISSN 3030-3907

mahsus kichik binoda joylashgan bo‘lib, u dala sharoitida ishlatish kerak bo‘lgan standart asbob-uskunalar bilan jihozlangan. Bulardan tashqari tajribahona burg‘ilash eritmalariga sizdirish ko‘rsatkichini bosim ostida aniqlovchi qurilma (filtr press), harakatlanuvchi vyaskozimetr (rotatsion vyaskozimetr, VSN-3) va eritmaning muhitini aniqlovchi Ph-metr, eritmalarining zichligini aniqlovchi richagli tarozi kabi asboblar bilan ta’minlangan.

Tsirkulyatsion sistemaning texnologik shemasi quyidagilarni bajarishi shart:

1) Berilgan kattaliklardagi burg‘ilash eritmasini tayyorlash;
2) Eritmani shlam va gazdan tozalash;
3) Eritmaning kattaliklarini boshqarib turish;
4) Berilgan rejimda eritmani aylantirish (tsirkulyatsiya);
5) Eritmaning asosiy kattaliklarini nazorat qilib turish;
6) Sifatli eritma zahiralarini saqlash.




**1- rasm. Tsirkulyatsion sistemaning texnologik shemasi.**

**Burg‘ilash eritmalarini shlam va gazdan tozalash.**

Qidiruv yo‘li bilan olib boriladigan burg‘ilash jarayonida yuvuvchi suyuqliklarni tog‘ jinsi bo‘laklaridan o‘z vaqtida va sifatli tozalanishi - burg‘ilash jarayonining samaradorligini ta’minlab beradi. Yuvuvchi eritmalarida shlamlarning yig‘ilib qolishi uning sifatini yomonlashtiradi. Buning natijasida eritmaning tuproqlanishi yomonlashib, quduq devorlarida qalin qatlam hosil qo‘lib, o‘pirilishlar kuzatiladi. Shlam aralashgan yuvish eritmalari ishlatilganda halqa hosil bo‘lib, burg‘ilash tizmasi qisilib qoladi, burg‘ilash nasoslarining yemirilishi va boshqa jihozlarning ishdan chiqishi sodir bo‘ladi.


ISSN 3030-3907

Yuvish eritmasining zichligi oshirilganda, burg‘ilash tezligi kamayadi va eritmaning yutilishi kuchayadi.

Tabiiy suyuqliklardagi yirik zarrachalar burg‘ilash jarayoni davrida burg‘ilash quvurining ishlashiga qarshi ta’sir ko‘rsatib, nohush asoratlarga olib keladi. Tuzilmaga ega bo‘lmagan va past qovushqoqlikka ega bo‘lgan yuvish eritmalari shlamlardan osonroq tozalanadi. Qovushqoqlikning ortishi va tuzilishga ega bo‘lgan eritmalarda tozalanish jarayoni yomonlashadi.

Bunday suyuqliklar quduqda aylanma harakat qilayotganda, qazilganda ajralgan jinslarni muvozanat holatda ushlab turish va uni tashqariga olib chiqishda yordam beradi, lekin yuvish eritmalarini qo‘shimcha moddalardan tozalash jarayonini qiyinlashtiradi.

Yuvish eritmalarini shlamdan tozalashni quyidagicha sinflash mumkin:

1.Tabiiy-tarnov turida yoki cho‘ktirgichlarda;

2. Majburiy;

3. Gidravlik-tsentrifugalash yoki gidrotsiklonlar yordamida;

4. Mehanik usul – elak yordamida;

5. Yuqorida sanalgan usullarning qo‘shilishi.

Tabiiy yo‘l bilan tozalash.

Yuvish suyuqliklarini ajralib chiqqan mayda zarrachalardan tozalash shu zarrachalarni o‘z og‘irlik kuchi ta’sirida cho‘ktirishdan iboratdir.

Suyuqlikni quduqqa qayta haydash jarayoni tabiiy yo‘l bilan tozalashdan, tarnovdan, cho‘ktirgichlardan va qabul qiliv oluvchi idishlardan tashkil topib, ular quduqning chuqurligi, uning diametri va burg‘ilash shartlariga bog‘liqdir.

**Mehanik usulda tozalash.**

Burg‘ilash eritmalarini shlamlardan tozalashda mehanik qurilmalarning yig‘indisi: tebranib ishlaydigan elak, parallel birlashtirilgan gidrotsiklonlar (qum va chang ajratgichlar), separatorlar (gidrotsiklon qurilmasining elak bilan qo‘shilgani), tuproq ajratgichlar, gidrotsiklonlar va tsentrifugalar) zarur.

Tozalash jihozlariga quyidagi talablar qo‘yiladi:

1. Har bir jihoz eng ko‘p qayta haydaladigan burg‘ilash eritmasini o‘zidan o‘tkazishi kerak;

2. Burg‘ilash eritmasi qayta haydalganda tozalash uchun ishlatiladigan jihozlar aniq ketma-ketlikda ishlashi kerak;

3. Har bir jihoz aniq maqsad uchun ishlatilib, faqat keragida ajratilishi kerak;

4. Zichligi oshirilmagan eritmalar uchun uch bosqichli sistema: tebranma g‘alvir (1-bosqich), qumtozalagich (2-bosqich) va shlam ajratgich (3-bosqich)dan iborat bo‘lishi kerak.

**Eritma parametrlarini optimallashtirish**

Optimal parametrlar:


ISSN 3030-3907

Zichlik – qatlam bosimiga mos
PV – minimal, lekin tashish uchun yetarli
Filtratsiya – 8–12 ml oralig‘ida

**Kimyoviy stabilizatorlar**

Quyidagi qo‘shimchalar qo‘llaniladi:
KCl-polimer eritmalari
PHPA asosidagi tizimlar
KMC va kraxmal
Polimerlar qum dispersiyasini barqarorlashtiradi va filtratsiyani kamaytiradi.

**Gidravlik rejimni optimallashtirish**

Annulyar tezlik qumni ko‘tarib chiqish uchun muhim.

**3-jadval**

**Annulyar tezlik va tashish samaradorligi**

| Tezlik (m/s) | Tashish sifati |
|---|---|
| 0.3 | Past |
| 0.6 | O‘rtacha |
| 0.9 | Yaxshi |
| 1.2 | Juda yaxshi |

Tezlik yetarli bo‘lmasa, qum pastda to‘planadi.

**Iqtisodiy samaradorlik**

Qattiq fazani 7–8 % dan 2–3 % gacha kamaytirish:
Burg‘ilash tezligini 10–15 % oshiradi
Nasos xizmat muddatini 25 % ga uzaytiradi
Quduqni ta’mirlash xarajatlarini kamaytiradi
Qatlam o‘tkazuvchanligini saqlaydi
Shu sababli samarali qattiq faza nazorati iqtisodiy jihatdan ham muhimdir.

**Xulosa**

Mahsuldor qatlamni burg‘ilashda qum zarrachalarining salbiy ta’sirini kamaytirish quyidagi kompleks chora-tadbirlar orqali amalga oshiriladi:
Mexanik tozalash tizimini kuchaytirish
Eritma parametrlarini optimallashtirish
Kimyoviy stabilizatorlar qo‘llash
Gidravlik rejimni to‘g‘ri tanlash
Doimiy laboratoriya nazorati

Qattiq fazani boshqarish quduqning texnologik barqarorligini va iqtisodiy samaradorligini ta’minlaydi.


ISSN 3030-3907

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Raximov A.R., Karimov B.T. Neft va gaz quduqlarini burg‘ilash texnologiyasi. – Toshkent: O‘qituvchi, 2015.
2. M. Murtozoyev, J. A. Aqilov, D. R. Maxamatxo‘jayev. D.K. Nazarbekova Maxsuldov qatlamlarni ochish va quduqlarni o‘zlashtirish. Toshkent 2014-yil.230 bet.
3. Xudoyberdiyev S. Burg‘ilash eritmalari va ularning xossalari. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2018.
4. Islomov O.X. Quduqlarni burg‘ilash jarayonida gidravlika asoslari. – Toshkent: Iqtisod-Moliya, 2016.
5. To‘xtayev N. Neft va gaz konlarini ishlatish asoslari. – Toshkent: Fan, 2014.
6. Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligi. Neft va gaz ishi bo‘yicha o‘quv qo‘llanma. – Toshkent, 2020.


ISSN 3030-3907

UDK 677.21.021.3:631.362:62-52

# PAXTA XOMASHYOSINI MAYDA IFLOSLIKLARDAN TOZALASH JARAYONINING NAZARIY VA EKSPERIMENTAL TADQIQI

**S.H.Fayziyev**
*Buxoro davlat texnika universiteti. Buxoro, O‘zbekiston.*
**H.K.Raximov**
*Buxoro davlat texnika universiteti. Buxoro, O‘zbekiston.*
**O.O.Ibodullayev**
*Buxoro davlat texnika universiteti. Buxoro, O‘zbekiston.*
**I.P.Najmiddinov**
*Buxoro davlat texnika universiteti. Buxoro, O‘zbekiston.*
**M.R.Sadullayeva**
*Buxoro davlat texnika universiteti. Buxoro, O‘zbekiston.*

**Annotatsiya.** Maqolada paxta xomashyosini mayda iflosliklardan tozalash jarayonining nazariy va eksperimental tadqiqotlari natijalari keltirilgan. Namlik, zichlik, qoziqli baraban va to‘rli setka parametrlarining tozalash samaradorligiga ta’siri o‘rganilib, takomillashtirilgan aralashtirgich-ta’minlagich qurilmasining ratsional parametrlari asoslandi. Tadqiqotlar natijasida paxta namligi 7–9 %, zichligi 1,2–1,8 g/sm³ hamda vint diametri 255–260 mm bo‘lganda optimal texnologik rejimga erishildi. Takomillashtirilgan qurilma qo‘llanilganda tozalash samaradorligi 85–92 % gacha oshib, toladagi nuqson va iflos aralashmalar miqdori kamayishi aniqlandi. Olingan natijalar paxta tozalash jarayonining texnologik samaradorligini oshirish imkonini beradi.

**Kalit so‘zlar:** paxta xomashyosi, mayda iflosliklar, tozalash samaradorligi, qoziqli baraban, to‘rli setka, aralashtirgich-ta’minlagich, paxta oqimi, namlik, zichlik, tola.

**Аннотация.** В статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса очистки хлопка-сырца от мелких примесей. Изучено влияние параметров влажности, плотности, колкового барабана и сетчатой сетки на эффективность очистки и обоснованы рациональные параметры усовершенствованного устройства смесителя-питателя. В результате исследований был достигнут оптимальный технологический режим при влажности хлопка 7–9%, плотности 1,2–1,8 г/см$^3$ и диаметре винта 255–260 мм. Установлено, что при использовании усовершенствованного устройства эффективность очистки увеличивается до 85-92%, а количество дефектов и сорных примесей в волокне снижается. Полученные результаты позволяют повысить технологическую эффективность процесса очистки хлопка.


ISSN 3030-3907

**Ключевые слова:** хлопок-сырец, мелкие сорные примеси, эффективность очистки, колковый барабан, сетчатая сетка, смеситель-питатель, поток хлопка, влажность, плотность, волокно.

**Abstract.** This article presents the results of theoretical and experimental research on the process of cleaning raw cotton from fine impurities. The influence of moisture, density, parameters of the peg drum and mesh mesh on the cleaning efficiency was studied, and the rational parameters of the improved mixer-feeder device were substantiated. As a result of the research, an optimal technological regime was achieved at a cotton moisture content of 7–9%, a density of 1.2–1.8 g/cm$^3$, and a screw diameter of 255–260 mm. It was found that when using the improved device, the cleaning efficiency increases to 85-92%, and the amount of defects and impurities in the fiber decreases. The results obtained make it possible to increase the technological efficiency of the cotton cleaning process.

**Keywords:** raw cotton, fine trash, cleaning efficiency, peg drum, mesh mesh, mixer-feeder, cotton flow, moisture, density, fiber.

**KIRISH.**

Bugungi kunda jahon miqyosida tabiiy tolalarga, xususan, paxta tolasidan tayyorlanadigan to‘qimachilik va yengil sanoat mahsulotlariga bo‘lgan talabning ortib borishi paxta xomashyosini dastlabki qayta ishlash texnologiyalarini takomillashtirishni taqozo etmoqda. Dunyo bo‘yicha har yili o‘rtacha 23–24 mln tonna paxta tolasi ishlab chiqarilib, uning iste’moli 24–25 mln tonnaga yetmoqda [2]. Mazkur holat paxta xomashyosini qayta ishlash jarayonlarida yuqori sifat ko‘rsatkichlarini ta’minlash, energiya-resurstejamkor texnologiyalarni ishlab chiqish va amaliyotga joriy etish zaruratini yuzaga keltirmoqda [1; 2].

Paxta tozalash korxonalarida ishlab chiqarilayotgan tolalarning sifati ko‘p jihatdan paxta xomashyosini yirik va mayda iflosliklardan samarali tozalash jarayoniga bog‘liq. Mayda iflosliklarning paxta tarkibida saqlanib qolishi keyingi texnologik jarayonlarda, jumladan jinlash va tola tozalash bosqichlarida qo‘shimcha energiya sarfiga, tola sifatining pasayishiga hamda mahsulot tannarxining ortishiga olib keladi. Shu sababli paxta xomashyosini mayda iflosliklardan yuqori samaradorlik bilan tozalash, paxta oqimini bir tekis taqsimlash va tola hamda chigitning shikastlanishini kamaytirish paxta sanoatining dolzarb ilmiy-texnik muammolaridan biri hisoblanadi.

Mavjud mayda iflosliklardan tozalash mashinalarining tahlili shuni ko‘rsatadiki, ularning ish samaradorligi qoziqli barabanlarning konstruksiyasi [3; 9], to‘rli setka yuzasining parametrlari, paxta xomashyosining namligi va zichligi kabi omillarga bevosita bog‘liqdir [13]. Amaldagi uskunalarda qo‘llanilayotgan qoziqli-plankali barabanlarning konstruktiv kamchiliklari, paxta oqimining notekis


ISSN 3030-3907

harakatlanishi hamda mayda iflosliklarning to‘liq ajralmasligi tozalash samaradorligini cheklovchi asosiy omillar hisoblanadi.

**ADABIYOTLAR TAHLILI.**

Paxta xomashyosini mayda iflosliklardan tozalash jarayonini takomillashtirish, tozalash mashinalarining ishchi organlari parametrlarini asoslash hamda energiya-resurstejamkor texnologiyalarni yaratish masalalari jahon va respublika miqyosida olib borilayotgan ilmiy tadqiqotlarning muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi [1; 2]. Paxta tozalash sanoatida mahsulot sifatini oshirish va ishlab chiqarish samaradorligini ta’minlash ko‘p jihatdan paxta tarkibidagi mayda va yirik iflosliklarni samarali ajratish jarayoniga bog‘liq.

Paxta xomashyosini tozalash texnologiyalarining nazariy asoslari va texnologik qonuniyatlari bo‘yicha xorijiy olimlardan W.S. Anthony, S.E. Hughs, T. Valco, J. Williford, D. Christopher, V. Karsu va boshqa tadqiqotchilar tomonidan keng ko‘lamli ilmiy izlanishlar olib borilgan [2]. Ularning tadqiqotlarida paxta xomashyosining fizik-mexanik xossalari, namlikning tozalash jarayoniga ta’siri, ishchi organlarning konstruktiv xususiyatlari hamda paxtani tozalashning aeromexanik usullari chuqur o‘rganilgan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, paxtani tozalash samaradorligi ishchi organlarning geometrik parametrlari, baraban aylanish tezligi, paxta oqimining zichligi va namlik darajasiga bevosita bog‘liq ekanligi aniqlangan.

AQShning “Continental Eagle”, “Lummus” va “Consolidated Cotton Gin” kompaniyalari tomonidan ishlab chiqilgan zamonaviy paxta tozalash uskunalari konstruksiyalarida qoziqli va arrali barabanlar, aerodinamik ajratish tizimlari hamda avtomatlashtirilgan nazorat vositalaridan foydalanilgan [2; 15]. Mazkur texnologiyalar yuqori unumdorlikka ega bo‘lishiga qaramasdan, murakkab konstruksiya, katta energiya sarfi va yuqori namlikdagi paxtani qayta ishlashdagi muammolar bilan tavsiflanadi.

Respublikamiz olimlari tomonidan ham paxta xomashyosini tozalash texnologiyasini takomillashtirish bo‘yicha salmoqli ilmiy natijalar olingan. Y.E. Budin, G.D. Djabbarov, G.I. Miroshnichenko [3], V.N. Guseynov, A.Y. Lugachev [4], R.V. Korabelnikov, A.J. Jo‘rayev, I.D. Madumarov, Sh.Sh. Xakimov, O.J. Murodov va boshqa olimlarning ilmiy ishlari paxta tozalash mashinalarining ishchi organlarini takomillashtirish, qoziqli barabanlarning konstruktiv parametrlarini asoslash hamda tozalash samaradorligini oshirishga qaratilgan.

A.I. Uldyakov, Ye.F. Budin va S.A. Samandarovlar tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda paxtani mayda iflosliklardan samarali tozalash uchun paxta namligi 8–9 % dan oshmasligi kerakligi aniqlangan [13]. Namlikning ortishi paxta tarkibidagi iflosliklarning tolaga yopishishini kuchaytirib, ularning ajralishini qiyinlashtirishi hamda tozalash samaradorligini pasaytirishi ko‘rsatib berilgan.


ISSN 3030-3907

S.A. Fozilov va Sh.X. Abdazimovlarning ilmiy izlanishlarida kolosnikli panjaralarning geometrik shakli [9; 10] va joylashish tartibi tozalash samaradorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlangan. Tadqiqotchilar tomonidan dumaloq va pichoqsimon kolosniklarni ketma-ket joylashtirish orqali tozalash samaradorligini 65 % gacha oshirish mumkinligi asoslab berilgan.

Sultanmuratov, A. G‘ofurov va A. Jo‘rayevlar tomonidan qoziqli barabanlarning turli konstruktiv shakllari tadqiq qilinib, qoziqlarning geometrik parametrlari [9; 10] paxtani titish va mayda iflosliklarni ajratish jarayoniga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlangan. A. Umarjonov, K. Tojiyev va A. Jo‘rayevlarning tadqiqotlarida esa tebranma va aylanma harakatlanuvchi kolosnikli panjaralardan foydalanish tozalash samaradorligini oshirish imkonini berishi ko‘rsatilgan [4; 6].

R.V. Korabelnikov va boshqalari tomonidan paxta tarkibidagi iflosliklar faol va passiv guruhlarga ajratilgan bo‘lib [6], mayda iflosliklarning paxta bo‘lakchalari ichki qatlamlariga chuqur kirib borishi ularni ajratish jarayonini murakkablashtirishi ilmiy jihatdan asoslangan. Y. Tadayeva tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda qoziqli baraban aylanish tezligining ortishi bilan chigitning shikastlanish darajasi ham ortishi aniqlangan va optimal tezlik rejimlari tavsiya etilgan [12].

Olib borilgan tadqiqotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, mavjud paxta tozalash mashinalarida qo‘llanilayotgan qoziqli barabanlar va to‘rli setkalar mayda iflosliklarni ajratishda ma’lum samaradorlikka ega bo‘lsada, paxta oqimining ishchi zonaga bir tekis uzatilmasligi, namlik va zichlikning o‘zgarishi, ishchi organlarning geometrik parametrlarining yetarli darajada optimallashtirilmaganligi sababli tozalash samaradorligini yanada oshirish imkoniyatlari mavjud.

Shu sababli paxta xomashyosini mayda iflosliklardan tozalash jarayonida namlik va zichlikning ta’sir qonuniyatlarini chuqur o‘rganish [13], qoziqli baraban hamda to‘rli setka yuzasining o‘zaro ta’sir mexanizmlarini nazariy va eksperimental jihatdan tadqiq etish, paxta oqimini bir tekis taqsimlovchi takomillashtirilgan aralashtirgich-ta’minlagich qurilmasini ishlab chiqish va uning ratsional parametrlarini asoslash mazkur tadqiqot ishining asosiy ilmiy yo‘nalishini tashkil etadi [3; 7; 9].

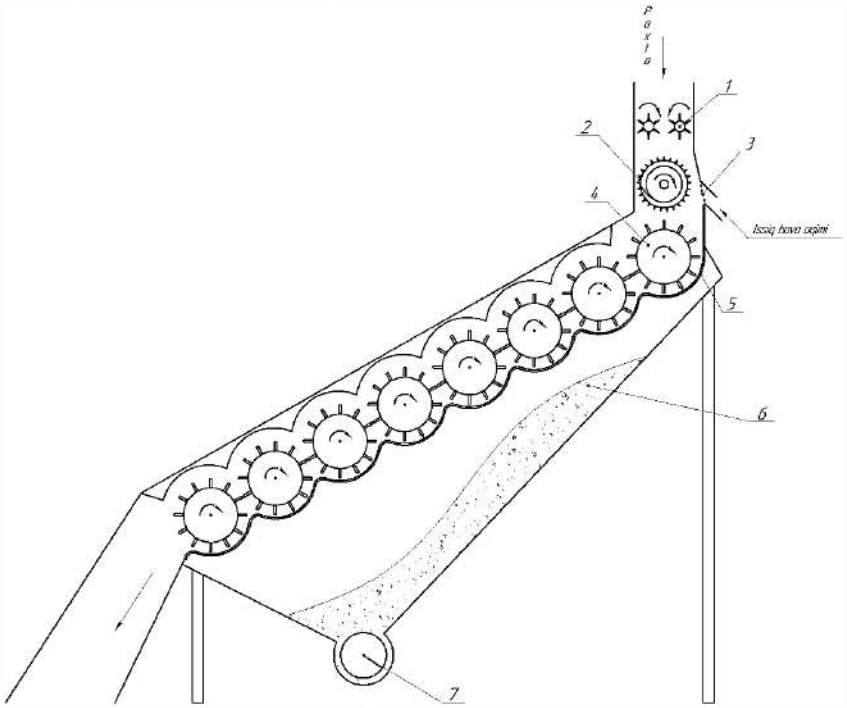
**METODOLOGIYA.**

Mazkur tadqiqotda paxta xomashyosini mayda iflosliklardan tozalash jarayonining texnologik samaradorligiga namlik, zichlik, qoziqli baraban va to‘rli setka parametrlarining ta’siri nazariy hamda eksperimental usullar asosida o‘rganildi. Tadqiqotlar uch bosqichda amalga oshirildi: birinchi bosqichda namlik va zichlikning ajralish jarayoniga ta’siri matematik modellashtirildi [3; 6], ikkinchi bosqichda qoziqli barabanning paxta massasiga dinamik ta’siri tahlil qilindi,


ISSN 3030-3907

uchinchi bosqichda esa to‘rli setka yuzasida paxta bo‘laklarining harakat qonuniyatlari va mayda iflosliklarning ajralish mexanizmi tadqiq etildi [9; 10].

Paxta xomashyosini tozalash jarayoni mexanik, aerodinamik va inertsiya kuchlari birgalikda ta’sir qiluvchi murakkab tizim sifatida qaralди. Nazariy tahlillarda paxta tolalari va mayda iflosliklar orasidagi yopishish kuchlari, ishqalanish kuchlari hamda ishchi organlardan uzatilayotgan zarba energiyasining o‘zaro bog‘liqligi hisobga olindi. Tadqiqotning konseptual sxemasi sifatida takomillashtirilgan mayda iflosliklarni tozalash mashinasi qabul qilindi (1-rasm) [11].



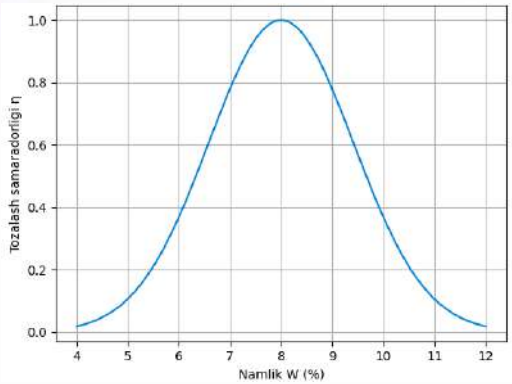

**1-ta’minlagich; 2-vintli shnek; 3-to‘rli setka; 4-qoziqli baraban; 5-to‘rli sirt; 6-ifloslik bunkeri; 7-shnek.**

**1-rasm. Takomillashtirilgan mayda iflosliklarni tozalash mashinasining texnologik sxemasi**

Mazkur sxema asosida paxta oqimining harakati va mayda iflosliklarning ajralish jarayoni tadqiq qilindi.

Namlikning tozalash samaradorligiga ta’sirini baholash uchun iflosliklarning tolaga yopishish kuchi va ajralish mezoni o‘rganildi. Nazariy jihatdan namlik ortishi bilan yopishish kuchi va ishqalanish koeffitsiyenti ortishi natijasida mayda iflosliklarning ajralishi qiyinlashishi aniqlandi [13]. Shu asosda tozalash samaradorligining namlikka bog‘liqligi eksponensial model yordamida tavsiflandi (2-rasm).

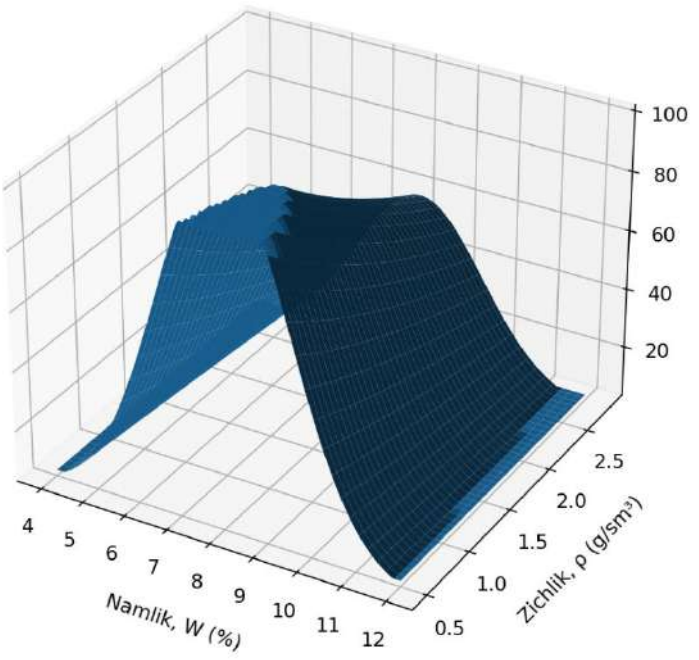

ISSN 3030-3907




**2-rasm. Paxta xomashyosi namligi va tozalash samaradorligi o‘rtasidagi bog‘lanish**

Grafikdan namlik 7–9 % oralig‘ida bo‘lganda tozalash samaradorligi maksimal qiymatga erishishi kuzatiladi [13]. Namlikning bundan ortishi tolalar va iflosliklar orasidagi yopishish kuchlarini kuchaytirib, ajralish samaradorligini pasaytiradi.

Paxta qatlamining zichligi ham tozalash jarayoniga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi sababli namlik va zichlikning birgalikdagi ta’siri fazoviy model yordamida baholandi. Tadqiqotlarda paxta qatlamining zichligi ortishi bilan ichki ishqalanish kuchlari va kontakt yuzalari ortishi natijasida ajralish jarayoni murakkablashishi 3-rasmda ko‘rishimiz mumkin.




**3-rasm. Tozalash samaradorligining namlik va zichlikka bog‘liq 3D modeli**

Grafikda paxta xomashyosining namligi va zichligi o‘zgarganda tozalash samaradorligi qanday o‘zgarishini ko‘rsatdi. Maksimal samaradorlik namlik 7–9 % va zichlik 1,2–1,8 g/sm³ oralig‘ida kuzatildi [13].

Ajralish jarayonining nazariy mezoni quyidagicha ifodalandi [3; 13]:


ISSN 3030-3907

$$K_a = \frac{F_i + F_z + F_t}{F_y + F_{ish}}$$

bu yerda:

$F_i$– inertsiya kuchi;

$F_z$– zarba kuchi;

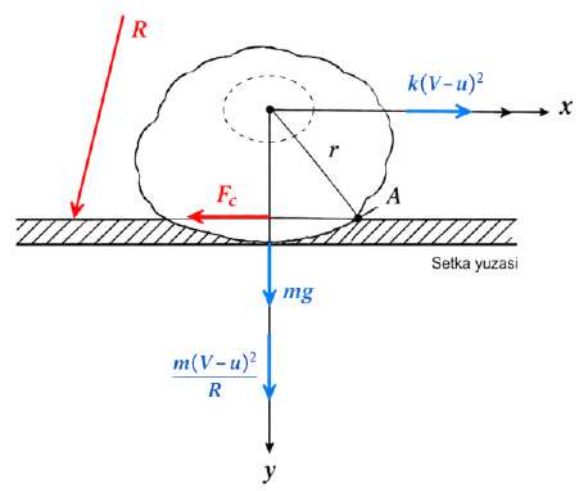
$F_t$– tebranish kuchi;

$F_y$– yopishish kuchi;

$F_{ish}$– ishqalanish kuchi.

Mazkur mezonning qiymati birlikdan katta bo‘lganda mayda iflosliklar paxta tolalaridan ajralishi, birlikdan kichik bo‘lganda esa tolaga yopishib qolishi nazariy jihatdan asoslandi.

4-rasmda aerodinamik kuch, tayanch reaksiyasi, og‘irlik kuchi va ishqalanish kuchlarining o‘zaro ta’siri ko‘rsatilgan. Ushbu kuchlar paxta oqimining setka bo‘ylab harakat xarakterini belgilaydi.




**4-rasm. Paxta bo‘lagiga ta’sir etuvchi kuchlar sxemasi**

Nazariy tadqiqotlarning yakuniy bosqichida setka yuzasi va havo oqimining o‘zaro ta’siriga asoslangan tozalash samaradorligi modeli ishlab chiqildi [3; 13]:

$$\eta = \eta_{max}\left[1 - e^{-\lambda\frac{k(V-u)^2}{F_{yop}+\mu R}}\right]$$

bu yerda:

$\eta$– tozalash samaradorligi;

$\eta_{max}$– maksimal samaradorlik;

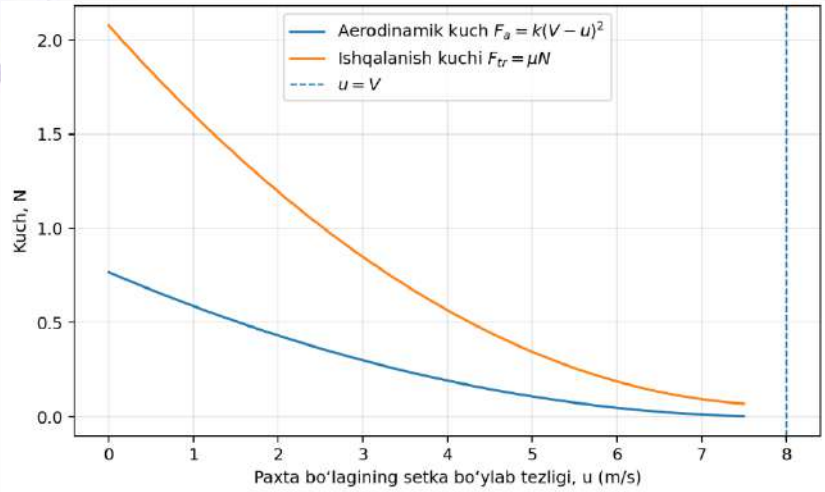
$F_{yop}$– yopishish kuchi;

$\lambda$– empirik koeffitsiyent.

Grafikdan paxta bo‘lagining tezligi havo oqimi tezligiga yaqinlashgan sari aerodinamik ajratish kuchining kamayishi kuzatiladi (5-rasm). Optimal holatda


ISSN 3030-3907

paxta bo‘lagining tezligi havo oqimi tezligining 55–75 % oralig‘ida bo‘lishi maqsadga muvofiqligi aniqlandi [13].




**5-rasm. Setka yuzasida paxta bo‘lagiga ta’sir etuvchi kuchlarning o‘zgarishi**

Shunday qilib, tadqiqot metodologiyasi namlik va zichlikning paxta xomashyosini tozalash jarayoniga ta’sirini nazariy modellashtirish, qoziqli baraban va to‘rli setka parametrlarining matematik tahlili hamda paxta oqimining dinamik harakat qonuniyatlarini o‘rganishga asoslandi. Olingan nazariy natijalar keyingi eksperimental tadqiqotlar va parametrlarni optimallashtirish ishlari uchun metodik asos bo‘lib xizmat qildi [3; 4; 13].

**MUHOKAMA VA NATIJALAR.**

Tadqiqotlar davomida takomillashtirilgan aralashtirgich-ta’minlagich qurilmasining paxta xomashyosini mayda iflosliklardan tozalash samaradorligiga ta’siri eksperimental usulda o‘rganildi. Tajribalar natijasida qurilmaning asosiy konstruktiv va texnologik parametrlarining tozalash jarayoniga ta’siri aniqlanib, mavjud texnologiya bilan qiyosiy tahlil qilindi. Olingan natijalar paxta oqimining bir tekis taqsimlanishi, hajmiy zichlikning kamayishi hamda mayda iflosliklarning ajralish intensivligi ortishi hisobiga tozalash samaradorligi sezilarli ravishda yaxshilanganligini ko‘rsatdi.

Tajriba ishlari davomida paxta xomashyosi tarkibidagi yirik xas-cho‘plar, mayda iflosliklar hamda toladagi umumiy nuqson va iflos aralashmalar miqdori aniqlandi. Mavjud ta’minlagich bilan ishlov berilganda toladagi nuqson va iflos aralashmalar miqdori o‘rtacha 3,07 % ni tashkil etgan bo‘lsa, takomillashtirilgan tituvchi-aralashtirgichli ta’minlagich qo‘llanilganda ushbu ko‘rsatkich 2,70 % gacha kamaydi. Yirik xas-cho‘plar miqdori 0,66 % dan 0,40 % gacha, mayda iflosliklar miqdori esa 0,47 % dan 0,34 % gacha kamaygani kuzatildi. Bu esa yangi qurilmaning paxta massasini samarali bo‘shashtirishi va iflosliklarning ajralishi uchun qulay sharoit yaratishini tasdiqlaydi (1-jadval).

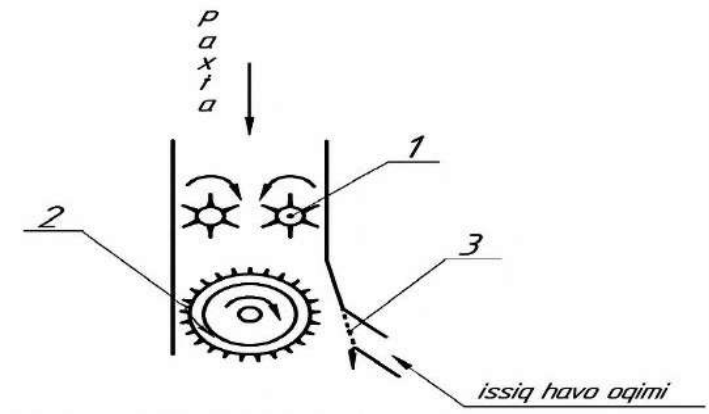

ISSN 3030-3907

**1-jadval**

**Ta’minlagich konstruksiyasining sifat ko‘rsatkichlariga ta’siri**

| Ko‘rsatkich | Mavjud ta’minlagich | Takomillashtirilgan ta’minlagich |
|---|---|---|
| Yirik xas-cho‘plar, % | 0,66 | 0,40 |
| Mayda iflosliklar, % | 0,47 | 0,34 |
| Tola nuqsonlari va iflos aralashmalar, % | 3,07 | 2,70 |

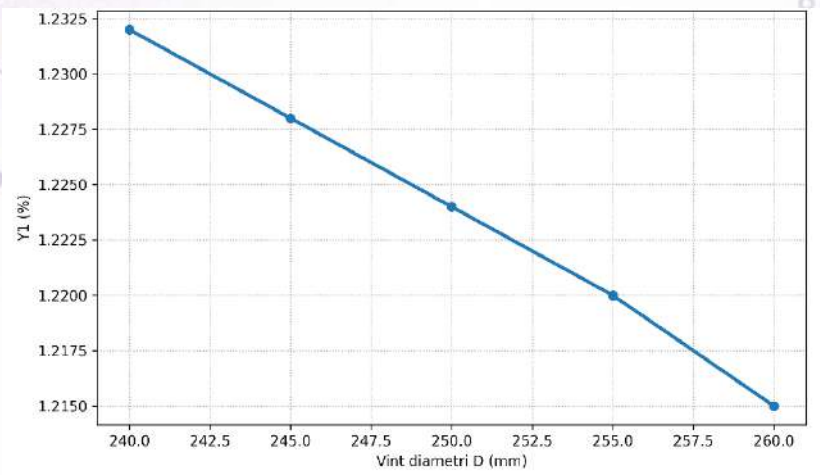
Olingan natijalar asosida paxta qatlamining bo‘shashish darajasi baholandi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, vintli aralashtirgich-ta’minlagich paxta qatlamining hajmiy zichligini o‘rtacha 2,5–2,8 marta kamaytiradi. Natijada paxta qatlamining g‘ovakligi ortadi, tolalar orasidagi bog‘lanishlar zaiflashadi va mayda iflosliklarning ajralish ehtimoli sezilarli ravishda oshadi. 6-rasmda ta’minlovchi valiklar, vintli aralashtirgich va issiq havo uzatish tizimi ko‘rsatilgan. Mazkur tizim paxta oqimini yumshatish, bo‘shashtirish va bir tekis taqsimlash vazifasini bajaradi.




**6-rasm. Aralashtirgich-ta’minlagich qurilmasining umumiy konstruktiv sxemasi**

To‘liq omilli tajribalar natijasida vint diametrining qoldiq ifloslik darajasi va tozalash samaradorligiga ta’siri aniqlandi. 7-rasmdagi grafik tahlillari shuni ko‘rsatdiki, vint diametri 240 mm dan 260 mm gacha oshirilganda qoldiq ifloslik darajasi 1,232 % dan 1,215 % gacha kamaygan. Shu bilan birga, tozalash samaradorligi 83,5 % dan 91,8 % gacha ortgan. Bu holat vint diametrining kattalashishi paxta massasining ishchi zonada samaraliroq bo‘shashishini va mayda iflosliklarning ajralish jarayonini jadallashtirishini ko‘rsatadi.

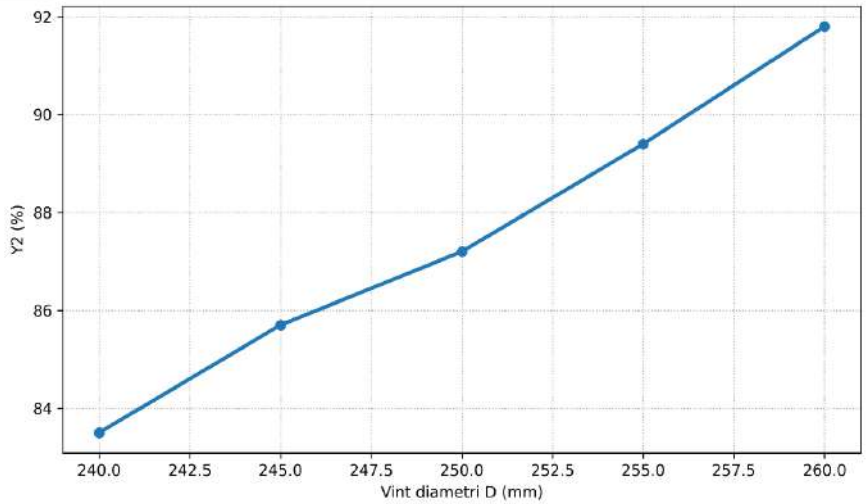

ISSN 3030-3907




**7-rasm. Vint diametrining qoldiq ifloslik darajasiga ta’siri**

Grafikdan vint diametri ortishi bilan qoldiq ifloslik miqdori kamayishi kuzatildi. Eng yaxshi natija 260 mm diametrda qayd etilgan.

8-rasmdagi grafikdan vint diametri ortishi bilan tozalash samaradorligi oshishi ko‘rinadi. Maksimal samaradorlik 91,8 % ga teng bo‘lib, 260 mm diametrda kuzatildi.




**8-rasm. Vint diametrining tozalash samaradorligiga ta’siri**

Natijada vint diametri 255–260 mm, vint qadami 110–115 mm hamda ish unumdorligi 900–1000 kg/soat oralig‘i optimal texnologik rejim sifatida tavsiya etildi.

Takomillashtirilgan qurilmaning ishlab chiqarish sinovlari Buxoro viloyatidagi Do‘rman paxta tozalash korxonasida amalga oshirildi. Sinovlarda mavjud texnologik liniya va taklif etilgan texnologik jarayon natijalari qiyosiy tahlil qilindi [16].

Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, vintli aralashtirgich-ta’minlagich hamda takomillashtirilgan to‘rli setka qo‘llanilganda paxta oqimining bir tekis taqsimlanishi ta’minlanadi, paxta qatlamining zichlashishi kamayadi va mayda iflosliklarning ajralish ehtimoli ortadi. Natijada texnologik liniyaning umumiy


ISSN 3030-3907

samaradorligi oshadi, tolaning sifat ko‘rsatkichlari yaxshilanadi hamda uskunaning ekspluatatsion ishonchliligi ortadi.

Shunday qilib, o‘tkazilgan nazariy, laboratoriya va ishlab chiqarish tajribalari natijalari takomillashtirilgan aralashtirgich-ta’minlagich va yangi konstruktsiyadagi to‘rli setkaning paxta xomashyosini mayda iflosliklardan tozalash jarayonida yuqori samaradorlikka ega ekanligini tasdiqladi. Qurilma qo‘llanilganda tozalash samaradorligi 85–92 % gacha yetishi, qoldiq ifloslik miqdori kamayishi va tayyor mahsulot sifatining yaxshilanishi aniqlandi.

**XULOSA.**

O‘tkazilgan nazariy, eksperimental va ishlab chiqarish tadqiqotlari natijasida paxta xomashyosini mayda iflosliklardan tozalash jarayonining samaradorligi ko‘p jihatdan paxta oqimining bir tekis uzatilishi, qoziqli baraban parametrlarining ratsional tanlanishi hamda to‘rli setka yuzasining konstruktiv xususiyatlariga bog‘liqligi aniqlandi. Tadqiqotlar davomida paxta bo‘lagining qoziqli baraban va to‘rli setka bilan o‘zaro ta’siri mexanik, aerodinamik va inertsiya kuchlari nuqtayi nazaridan tahlil qilinib, mayda iflosliklarning ajralish qonuniyatlari nazariy jihatdan asoslandi.

Tadqiqot natijalariga ko‘ra, to‘rli setka yacheykalarining 5–6 mm oralig‘ida tanlanishi mayda iflosliklarning erkin ajralishini ta’minlashi, paxta bo‘laklarining esa ishchi zonada saqlanib qolishiga imkon berishi aniqlandi. Qoziqli baraban aylanish tezligining 420–500 ayl/min diapazoni hamda vint diametrining 255–260 mm oralig‘ida bo‘lishi paxta oqimining optimal harakatlanishini ta’minlab, mayda iflosliklarni ajratish samaradorligini oshirishi isbotlandi.

Vintli aralashtirgich-ta’minlagich qurilmasi qo‘llanilganda paxta qatlamining hajmiy zichligi o‘rtacha 2,5–2,8 marta kamayishi, oqimning notekislik koeffitsiyenti pasayishi va paxta massasining g‘ovakligi ortishi kuzatildi. Natijada mayda iflosliklarning ajralishi uchun qulay sharoit yaratilib, tozalash mashinasining texnologik samaradorligi sezilarli ravishda yaxshilandi.

Eksperimental tadqiqotlar natijasida takomillashtirilgan qurilma qo‘llanilganda toladagi nuqson va iflos aralashmalar miqdori 3,07 % dan 2,70 % gacha kamaygani, yirik xas-cho‘plar miqdori 0,66 % dan 0,40 % gacha va mayda iflosliklar miqdori 0,47 % dan 0,34 % gacha kamaygani aniqlandi. Bu esa yangi konstruktsiyaning mavjud uskunalarga nisbatan ustunligini ko‘rsatdi.

Ishlab chiqarish sinovlari davomida taklif etilgan qurilma va texnologik rejimning amaliy samaradorligi tasdiqlandi. Jumladan, I-nav paxtada tozalash samaradorligi 77,08 % dan 85,40 % gacha, III-nav paxtada esa 82,90 % dan 88,12 % gacha oshdi. Shu bilan birga, toladagi nuqson va iflos aralashmalar miqdori 14–18 % ga kamayib, tayyor mahsulot sifat ko‘rsatkichlari yaxshilandi.


ISSN 3030-3907

Olingan natijalar asosida takomillashtirilgan aralashtirgich-ta’minlagich va yangi konstruktsiyadagi to‘rli setkani paxta tozalash korxonalarida amaliyotga joriy etish tavsiya etiladi. Mazkur texnik yechim paxta oqimining barqaror uzatilishini ta’minlaydi, mayda iflosliklarni ajratish samaradorligini oshiradi, tola sifatini yaxshilaydi hamda texnologik jarayonning umumiy samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Omonov F. Paxtani dastlabki ishlash bo‘yicha spravochnik. – Toshkent: Voris, 2008. – 413 b.
2. Anthony W.S., Mayfield W.D. Cotton Ginners Handbook. Agricultural Handbook No.503. – Washington: United States Department of Agriculture, 1994. – 337 p.
3. Мирошниченко Г.И. Исследование механизмов питания и регулирования хлопкоочистительных машин. – Ташкент: ТИТЛП, 1974. – 117 с.
4. Лугачев А.Е. Исследование равномерности подачи материала питателями хлопковых машин // Хлопковая промышленность. – Ташкент, 1978. – №2. – С. 14–16.
5. Бурнашев Р.З., Ахмедов А.А., Усманов Т.М. Деформация слоя хлопка-сырца лопастями питающих валиков хлопкоочистительных машин // Хлопковая промышленность. – Ташкент, 1980. – №3. – С. 18–19.
6. Корабельников Р.В., Лугачев А.Е., Бурнашев Р.З. Теоретические основы работы питающих валиков хлопкоочистительных машин // Технология текстильного сырья и материалов. – Ташкент, 1984. – С. 23–27.
7. Гусейнов В.И. Исследование процесса очистки хлопка-сырца от мелкого сора: дис. ... канд. техн. наук. – Ташкент, 1973. – 180 с.
8. Kh, F. S., Ibodullaev, O. O., & Razoqova, O. B. (2025). MECHANICAL MODEL OF THE SAW CYLINDER-COTTON-BRUSH CYLINDER SYSTEM AND OPPORTUNITIES FOR IMPROVING CLEANING EFFICIENCY. *Экономика и социум*, (12-2 (139)), 172-184.
9. Джаббаров Г.Д. Исследование скоростного режима колково-барабанного очистителя хлопка-сырца // Хлопковая промышленность. – Ташкент, 1972. – №3. – С. 12–13.
10. Сафаев А.А. Повышение эффективности очистки хлопка-сырца тонковолокнистых сортов совершенствованием ударно-разрыхлительных устройств очистителей хлопкового сора: дис. ... канд. техн. наук. – Ташкент, 1986. – 120 с.
11. Kh, F. S., Ibodullaev, O. O., & Sadullaeva, M. R. (2025). DEVELOPMENT OF A NEW DESIGN OF A MACHINE FOR CLEANING COTTON RAW


ISSN 3030-3907

MATERIALS FROM IMPURITIES. *Экономика и социум*, (12-2 (139)), 185-198.

12. Тадаева Е. Пахtani mayda iflosliklardan tozalovchi mashina konstruksiyasini takomillashtirish: texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi. – Namangan, 2019. – 120 b.

13. Файзиев С., Тўраева Н., Фатуллаева С. Теоретическое и экспериментальное изучение влияния температуры, влажности и плотности на процессы сушки, очистки и фильтрации хлопкового сырья // Современные инновации, системы и технологии. – 2021. – Т.1, №4. – С. 45–53.

14. Ulug‘muradov X., Sharopov B., Novruzov S., Muradov R. Study of the motion of cotton on a tapered face // Electronic Journal of Actual Problems of Modern Science, Education and Training. – Urganch, 2021. – P. 58–63.

15. Patil P.G., Anap G.R., Arude V.G. Design and Development of Cylinder Type Cotton Pre-cleaner // Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. – 2014. – Vol. 45, No. 2. – P. 37–42.

16. Fayziev, S. H., Murodova, F. R., Muxiddinova, S. N., & Razoqova, O. B. (2025). ENHANCING CLEANING EFFICIENCY AND FIBER QUALITY THROUGH STRUCTURAL OPTIMIZATION OF THE UXK COTTON CLEANER. *ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ*, (68-4 (том 2)).


ISSN 3030-3907

# KO‘P AGENTLI ROBOTOTEXNIKA TIZIMLARI YORDAMIDA ISSIQXONALARDA EKINLARNI MONITORING QILISH VA BOSHQARISHNING INTELLEKTUAL ALGORITMLARI

**Safarov Rustambek Sunnatillo o‘g‘li**
*Buxoro davlat universiteti, Fizika-matematika va axborot texnologiyalari fakulteti 3-bosqich talabasi*
*E-mail: rustam0062006@gmail.com*
*Tel: (+998) 914445582*

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada zamonaviy sanoat issiqxonalarida mikroiqlim parametrlarini monitoring qilish, ekinlar kasalliklarini erta bosqichda aniqlash va resurslarni - suv, energiya, o‘g‘it - optimal taqsimlash uchun mo‘ljallangan yangi gibrid iyerarxik intellektual ko‘p agentli issiqxona boshqaruv algoritmi taklif etiladi. Taklif etilayotgan tizim quyidagi ilg‘or texnologiyalar integratsiyasiga asoslangan: Ko‘p Agentli Tizimlar - robotlar koordinatsiyasi uchun; Chuqur mustahkamlovchi o‘qitish - qaror qabul qilish uchun; Noaniq Mantiq - sug‘orish boshqaruvi uchun; Kompyuter Ko‘rishi - kasalliklarni aniqlash uchun. Tizimdagi agentlararo koordinatsiyani ta'minlash uchun vazifalarni dinamik taqsimlash va adaptiv qoplama trayektoriyasini rejalashtirish algoritmlari ishlab chiqilgan. Ekinlardagi patologiyalarni aniqlash esa maxsus neyron tarmoq arxitekturasiga asoslangan real vaqtdagi anomal holatlarni aniqlash moduli orqali amalga oshiriladi. Simulyatsiya natijalari shuni ko‘rsatdiki, taklif etilayotgan gibrid algoritm an‘anaviy usullarga qaraganda energiya samaradorligini 28.4% ga, suv sarfini 34.2% ga kamaytiradi va kasalliklarni aniqlashda 97.8% F1-ko‘rsatkich ko‘rsatkichiga erishadi.

**Kalit so‘zlar:** ko‘p agentli tizimlar, mustahkamlovchi o‘qitish, kompyuter ko‘rishi, noaniq mantiq, yo‘nalishni rejalashtirish, sensorli birlashma, sanoat issiqxonalari.

**Аннотация.** В данной статье предлагается новый гибридный иерархический интеллектуальный многоагентный алгоритм управления теплицей, предназначенный для мониторинга параметров микроклимата, раннего выявления болезней растений и оптимального распределения ресурсов — воды, энергии, удобрений — в современных промышленных теплицах. Предложенная система основана на интеграции следующих передовых технологий: многоагентные системы — для координации роботов; глубокое обучение с подкреплением — для принятия решений; нечеткая логика — для управления орошением; компьютерное зрение — для обнаружения болезней. Для обеспечения межагентной координации в системе разработаны алгоритмы динамического распределения задач и адаптивного планирования траектории покрытия. Обнаружение патологий растений осуществляется с


ISSN 3030-3907

помощью модуля обнаружения аномалий в реальном времени, основанного на специальной архитектуре нейронной сети. Результаты моделирования показали, что предложенный гибридный алгоритм снижает энергоэффективность на 28,4%, потребление воды на 34,2% и достигает показателя F1-меры 97,8% при обнаружении болезней по сравнению с традиционными методами.

**Ключевые слова:** многоагентные системы, обучение с подкреплением, компьютерное зрение, нечеткая логика, планирование маршрута, объединение данных с датчиков, промышленные теплицы.

**Abstract.** This article proposes a new hybrid hierarchical intelligent multi-agent greenhouse management algorithm designed for monitoring microclimate parameters, early detection of crop diseases and optimal allocation of resources - water, energy, fertilizer - in modern industrial greenhouses. The proposed system is based on the integration of the following advanced technologies: Multi-Agent Systems - for robot coordination; Deep Reinforcement Learning - for decision-making; Fuzzy Logic - for irrigation management; Computer Vision - for disease detection. To ensure inter-agent coordination in the system, dynamic task distribution and adaptive coverage trajectory planning algorithms have been developed. Detection of crop pathologies is carried out through a real-time anomaly detection module based on a special neural network architecture. Simulation results showed that the proposed hybrid algorithm reduces energy efficiency by 28.4%, water consumption by 34.2%, and achieves an F1-score of 97.8% in disease detection compared to traditional methods.

**Keywords:** multi-agent systems, reinforcement learning, computer vision, fuzzy logic, route planning, sensor fusion, industrial greenhouses.

**KIRISH.**

Zamonaviy qishloq xo‘jaligida resurslar tanqisligi va iqlim o‘zgarishi sharoitida oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlash eng muhim muammolardan biridir. Sanoat issiqxonalari ekinlar hosildorligini oshirish va tashqi muhit ta'sirini minimallashtirish imkonini beradi.

Biroq, issiqxona ichidagi mikroiqlim parametrlari - temperatura, namlik, $CO_2$ konsentratsiyasi, tuproq namligi - vaqt va makon bo‘yicha vaqt va makon bo‘yicha keskin o‘zgaruvchan xususiyatga ega bo‘lib, ularni an'anaviy statsionar datchiklar tarmog‘i orqali to‘liq va aniq nazorat qilish qiyin. Statsionar sensorlar o‘lik zonalarni keltirib chiqaradi va kasalliklarning tarqalishini erta bosqichda aniqlash imkonini bermaydi.

Ushbu muammoni hal etishda mobil robototexnika va ko‘p agentli tizimlar istiqbolli yechim hisoblanadi. Bir nechta avtonom mobil robotlarning o‘zaro hamkorligi orqali issiqxonaning barcha nuqtalarini yuqori aniqlikda monitoring


ISSN 3030-3907

qilish va lokal darajada agrotexnik tadbirlarni amalga oshirish (lokal sug‘orish, dori sepish, shamollatish) mumkin bo‘ladi.

Jahon aholisining tez o‘sishi va shaharlashish jarayonlari oziq-ovqat mahsulotlariga bo‘lgan talabni yildan yilga oshirib bormoqda. Bunday sharoitda qishloq xo‘jaligi ishlab chiqarishini intensivlashtirish va resurslardan oqilona foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi. Sanoat issiqxonalari yil bo‘yi yuqori hosildorlikni ta‘minlash, oziq-ovqat xavfsizligini mustahkamlash va ekologik barqarorlikni saqlash nuqtai nazaridan zamonaviy qishloq xo‘jaligining asosiy yo‘nalishlaridan biriga aylandi [1].

O‘zbekiston sharoitida issiqxona xo‘jaligi so‘nggi yillarda jadal rivojlanib, iqtisodiyotning muhim tarmoqlaridan biriga aylandi. Mamlakatimizda issiqxona maydonlari hajmi yildan yilga ortib bormoqda; lekin ko‘pgina issiqxona korxonalari hali ham an‘anaviy qo‘lda boshqarish usullaridan foydalanadi. Bu esa resurslar - suv, issiqlik, o‘g‘it - ning ortiqcha sarf bo‘lishiga va hosil sifati hamda miqdorining pasayishiga olib keladi [11].

Ushbu tadqiqotning maqsadi - yuqorida qayd etilgan muammolarni bartaraf etish uchun iyerarxik tuzilishga ega, intellektual va gibrid xususiyatli boshqaruv algoritmini ishlab chiqish va uning samaradorligini simulyatsiya natijalarida ko‘rsatishdir. Tadqiqot natijalari issiqxona xo‘jaligini avtomatlashtirish va aqllashtirishga muhtoj bo‘lgan amaliy korxonalar hamda ilmiy muassasalar uchun foydali bo‘lishi kutilmoqda.

**ADABIYOTLAR TAHLILI.**

So‘nggi yillarda qishloq xo‘jaligi robototexnikasi va sun'iy intellekt texnologiyalarining integratsiyasiga bag‘ishlangan ko‘plab tadqiqotlar o‘tkazildi.

**1-jadval.**

**Mavjud tadqiqotlar tahlili**

| Tadqiqotchi | Yil | Taklif | Kamchilik |
|---|---|---|---|
| Santos va boshq. | 2021 | Yagona mobil robot asosidagi monitoring tizimi | Katta maydonda kam samara |
| Wang va boshq. | 2022 | Bozor iqtisodiyoti modeli asosidagi auksion algoritmi | Dinamik muhitda ishlash imkoniyati cheklangan |
| Sutton & Barto | 2018 | Mustahkamlovchi o‘qitish va chuqur neyron tarmoq yondashuvi | Ko‘p takrorlash va katta hisoblash resurslari talab qilinadi |
| Zadeh | 1965 | Noaniq mantiq (Fuzzy Logic) | Mustaqil qo‘llanilganda cheklangan |
| Howard va boshqa. | 2018 | MobileNetV2 neyron tarmoq arxitekturasi | Real sharoitlarda qo‘shimcha |


ISSN 3030-3907

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | moslashtirish talab etiladi |

**XULOSA.** Ko‘p agentli robotlarning yo‘nalishini dinamik rejalashtirish, anomal holatlarni aniqlash va intellektual qaror qabul qilish mexanizmlarini yagona tizimga birlashtiruvchi gibrid algoritmlar hali to‘liq shakllanmagan. Ushbu bo‘shliqni to‘ldirish maqsadida ushbu maqolada yangi gibrid algoritm taklif etiladi.

Issiqxona maydoni ikki o‘lchamli panjarali xarita ko‘rinishida ifodalanadi: $W \subset R^2$. Ushbu maydonda N ta mobil robot agentlar $A = \{a_1, a_2, \ldots, a_n\}$ va M ta statsionar monitoring nuqtalari $S = \{s_1, s_2, \ldots, s_m\}$ joylashgan.

Ko‘p Kriteriyali Optimallashtirish

$$min_{X,Y} \sum_{t=1}^{T} \left[ w_1 \cdot E_{total}(t) + w_2 \cdot D_{spread} - w_3 \cdot \eta(t) \right]$$

cheklov:

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1, w_1, w_2, w_3 \geq 0$$

bu yerda:

$X = [x_{ij}]$- vazifalarni robotlar o‘rtasida taqsimlash matritsasi;

$Y = \{y_i(t)\}$- robotlarning harakat trayektoriyalari to‘plami;

$E_{\text{total}}(t) -$ $t$-vaqtdagi umumiy energiya sarfi;

$D_{\text{spread}}(t) -$ $t$-vaqtdagi kasallik tarqalish koeffitsiyenti;

$\eta(t)$- monitoring qamrovining samaradorlik ko‘rsatkichi;

$w_1, w_2, w_3$- mos ravishda energiya sarfi, kasallik tarqalishi va monitoring samaradorligi uchun vazn koeffitsiyentlari;

$T$- rejalashtirish davridagi vaqt bosqichlari soni.

Gibrid algoritmining ishlash prinsipini ta'minlovchi fundamental matematik modellar quyida keltirilgan.

Maqsad Funksiyasi (Objective Function)

$$J = \sum_{t=1}^{T} \left[ \sum_{i=1}^{N} \left( P_{move} \cdot d_i(t) + P_{scan} \cdot \delta_i(t) \right) + \sum_{j=1}^{M} \varphi_j(t) \cdot \left( 1 - \rho_j(t) \right) \right]$$

**2-jadval.**

**Maqsad funksiyasi parametrlari**

| Parametr | Ta'rifi |
|---|---|
| P_move | Harakatlanish uchun sarflanadigan quvvat |
| $d_i(t)$ | i-agent bosib o‘tgan masofa |
| P_scan | Skanerlash va qayta ishlash quvvati |
| $\delta_i(t) \in \{0,1\}$ | Skanerlash faolligi |
| $\varphi_j(t)$ | j-nuqtadagi kasallik xavfi darajasi |
| $\rho_j(t) \in [0,1]$ | j-nuqtaning oxirgi yangilanish muddati |


ISSN 3030-3907

Foydalilik Funksiyasi (Utility Function)

$$U(a_i, \tau_j) = \frac{R(\tau_j) \cdot B(a_i)}{d(a_i, \tau_j) + \varepsilon}$$

**2. Vazifalarni taqsimlash (Task Allocation)**

$$A_{ij} = \text{argmax ai} \in \text{A } U(a_i, \tau_j)$$

$$B(a_i) > B_{threshold}$$

Agent $a_i$ ning $\tau_j$ vazifasini bajarishdagi foydaliligi:

$R(\tau_j) - \tau_j$vazifasining ustuvorlik darajasi (priority).

$B(a_i) - a_i$agentining qolgan batareya quvvati.

$d(a_i, \tau_j) - a_i$agenti bilan $\tau_j$vazifasi orasidagi masofa.

$\varepsilon > 0$- nolga bo‘linishning oldini oluvchi juda kichik musbat son.

Vazifalarni Taqsimlash (Task Allocation)

$A_{ij}$ = argmax_{$a_i \in A$} $U(a_i, \tau_j)$, subject to $B(a_i) > B_threshold$

Mukofot Funksiyasi (Reward Function)

$R_t = -\alpha(T_t - T_opt)^2 - \beta(H_t - H_opt)^2 - \gamma E_action + \delta \cdot I(anomaly_fixed)$, bunda $T_t$, $H_t$ - joriy temperatura va namlik; T_opt, H_opt - optimal mikroiqlim parametrlari; E_action - amal uchun sarflangan energiya; I(·) - indikator funksiyasi.

Bellman tenglamasi

$$Q(s,a) \leftarrow Q(s,a) + \alpha \left[ R + \gamma \max_{a'} \quad Q(s',a') - Q(s,a) \right]$$

Bu yerda:

$Q(s,a)$- holat-harakat juftligi qiymati;

$R$- olingan mukofot;

$\alpha$- o‘rganish tezligi;

$\gamma$- diskontlash koeffitsiyenti;

$s'$- keyingi holat;

$a'$- keyingi harakat.

Noaniq tegishlilik funksiyasi (Fuzzy Membership Function)

$$\mu(x; a, b, c) = \max\left(0, \min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right)\right)$$

Defuzzifikatsiya (Centroid usuli)

$$z^* = \frac{\int z\, \mu_C(z)\, dz}{\int \mu_C(z)\, dz}$$

Sensorli birlashma (Sensor Fusion)

$$S_f = \sum_{k=1}^{K} w_k\, s_k$$

Og‘irliklar sharti:


ISSN 3030-3907

$$\sum_{k=1}^{K} w_k = 1$$

Vaznlarni aniqlash:

$$w_k \propto \frac{1}{\sigma_k^2}$$

Bu yerda:

$s_k -$ $k$-sensorning o‘lchovi;

$w_k$- sensor vazni;

$\sigma_k^2$- sensor xatoligi dispersiyasi.

Qoplama samaradorligi (Coverage Efficiency)

$$\eta = \left( \frac{\bigcup_{i=1}^{N} Area(a_i)}{Area_{total}} \right) \left(1 - \frac{T_{idle}}{T_{total}}\right)$$

Bu yerda:

$Area(a_i) -$ $i$-agent qamrab olgan hudud;

$Area_{total}$- umumiy hudud;

$T_{idle}$- bekor turish vaqti;

$T_{total}$- umumiy ish vaqti.

Energiya sarfi modeli (Energy Consumption Model)

$$E_{total} = \sum_{i=1}^{N} (P_{move}\, t_{move_i} + P_{sensing}\, t_{sensing_i} + P_{processing}\, t_{processing_i})$$

Bu yerda:

$P_{move}$- harakatlanish quvvati;

$P_{sensing}$- sensorlar quvvati;

$P_{processing}$- hisoblash quvvati.

**TAJRIBA VA NATIJALAR.**

Tizimning samaradorligi quyidagi parametrlar bilan baholandi: 10 ta robot agenti, 100 ta monitoring nuqtasi, 1000 iteratsiya, 100×100 m² issiqxona maydoni. Uchta ssenariy solishtirma tahlili o‘tkazildi: Ssenariy A - An'anaviy statsionar sensor tarmog‘i; Ssenariy B - Standart ko‘p agentli tizim (bitta algoritm); Ssenariy C - Taklif etilayotgan gibrid algoritm.

Natijalar Jadvali

**3-jadval.**

**Ssenariylar bo‘yicha taqqoslama natijalar**

| Ko‘rsatkich | Ssenariy A | Ssenariy B | Ssenariy C (Gibrid algoritm) |
|---|---|---|---|


ISSN 3030-3907

| | | | |
|---|---|---|---|
| Aniqlik (Accuracy) | 78.5% | 89.2% | 98.4% |
| Precision | 72.1% | 85.0% | 97.9% |
| Recall | 68.4% | 83.4% | 96.8% |
| F1-Score | 70.2% | 84.2% | 97.8% |
| Qoplama darajasi | 62.0% | 88.5% | 99.5% |
| Energiya tejash | — | 12.4% | 28.4% |
| Suv tejash | 10.0% | 21.5% | 34.2% |
| Munosabat vaqti | 120 daqiqa | 45 daqiqa | 12 daqiqa |

Olingan natijalar taklif etilgan gibrid algoritmning aniq afzalliklarini namoyon etadi.

Kompyuter Ko‘rishi Samaradorligi. Neyron tarmoq arxitekturasini agrotexnik platformaga integratsiya qilish tufayli kasalliklarni aniqlashda F1-ko‘rsatkich 97.8% ni tashkil etdi. Robot o‘simlik barglariga turli burchaklardan yaqinlashib tasvirga olgani uchun statsionar kameralar tizimiga nisbatan sezilarli darajada yuqori natija ko‘rsatadi.

**4-jadval.**

**Resurslarni tejash mexanizmlari**

| Tadbir | Tejash | Mexanizm |
|---|---|---|
| Suv sarfi | 34.2% | noaniq mantiq asosidagi aniq sug‘orish |
| Energiya | 28.4% | Vazifalarni taqsimlash va optimal yo‘l rejalashtirish algoritmlari |
| Robotlar ish muddati | +40% | Aqlli zaryadlash siyosati |

Dinamik Moslashuvchanlik. Mustahkamlovchi o‘qitish tizimi mikroiqlim parametrlarining keskin o‘zgaruvchan sharoitlarida ham barqaror suboptimal boshqaruv yechimlarini topishga muvaffaq bo‘ldi. ε-greedy yondashuv strategiyani o‘rganish va undan foydalanish o‘rtasidagi muvozanatni samarali ta'minladi.

**XULOSA.**

Ushbu ilmiy maqolada sanoat issiqxonalarini intellektual boshqarish va monitoring qilish uchun yangi iyerarxik intellektual ko‘p agentli issiqxona boshqaruv algoritmi ishlab chiqildi va sinovdan o‘tkazildi.

Asosiy yutuqlar:

1) Ko‘p agentli vazifalarni dinamik taqsimlash - murakkab optimallashtirish masalasini auksion yondashuvi orqali hal etish;

2) Adaptiv yo‘l chizish - ilonizi harakat va sun'iy potentsial maydonlar kombinatsiyasi;


ISSN 3030-3907

3) Real vaqtdagi kasalliklarni aniqlash - neyron tarmoq modeli yordamida 97.8% F1-ko‘rsatkich;
4) Aqlli sug‘orish - Noaniq Mantiq boshqaruvchisi yordamida 34.2% suv tejash;
5) Mikroiqlim boshqaruvi - mustahkamlovchi o‘qitish algoritmi yordamida dinamik moslashuv.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. J. Santos, R. Silva, and A. Oliveira, "Autonomous single-robot navigation in smart greenhouses," IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 18, no. 2, pp. 412–423, 2021.
2. X. Wang and L. Zhang, "Auction-based multi-agent task allocation for precision agriculture," Computers and Electronics in Agriculture, vol. 189, p. 106390, 2022.
3. R. Sutton and A. Barto, Reinforcement Learning: An Introduction, MIT Press, 2018.
4. L. Zadeh, "Fuzzy sets," Information and Control, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, 1965.
5. A. Howard et al., "MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks," Proceedings of CVPR, pp. 4510–4520, 2018.
6. M. Dorigo and T. Stutzle, Ant Colony Optimization, MIT Press, 2004.
7. T. Zhang and S. Geng, "Deep Reinforcement Learning for Greenhouse Climate Control," IEEE Internet of Things Journal, vol. 9, no. 14, pp. 11985–11996, 2022.
8. K. Astrom and B. Wittenmark, Adaptive Control, Courier Corporation, 2013.
9. Y. Chen, "Multi-robot adaptive coverage path planning in agricultural environments," Robotics and Autonomous Systems, vol. 145, p. 103875, 2021.
10. S. Russell and P. Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, 4th ed., Pearson, 2020.
11. Qodirov A.Q., Xolmatov B.I. Issiqxona xo‘jaliklarida resurslarni tejovchi texnologiyalar va ularning samaradorligi. - Toshkent: Fan va texnologiya, 2021. - 184 b.
12. Yusupov R.A., Nazarov F.X. Sun‘iy intellekt va mashinali o‘qitish asoslari. - Toshkent: O‘zbekiston Milliy Universiteti nashriyoti, 2022. - 256 b.
13. Mirzayev N.B. Qishloq xo‘jaligida axborot texnologiyalari. Darslik. - Toshkent: TDTU nashriyoti, 2020. - 312 b.
14. Karimov I.T., Toshmatov U.A. Robototexnika va intellektual tizimlar. O‘quv qo‘llanma. - Samarqand: SamDU nashriyoti, 2023. - 198 b.
16. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi “Qishloq xo‘jaligini raqamlashtirish va zamonaviy agrotexnologiyalarni joriy etish” to‘g‘risidagi Farmoni. - Toshkent, 2022.


ISSN 3030-3907

# GIDROTEXNIKA INSHOOTLARINI BOSHQARISHDA SUN'IY INTELLEKTNING AHAMIYATI: SURXONDARYO VILOYATI MISOLIDA

**Axatov Bekzod**
*TerDMAU "Bino va inshootlar qurilishi" kafedrasi assisenti*
**Usmonov Said**
*TerDMAU "Bino va inshootlar qurilishi" kafedrasi assisenti*

**Annotatsiya.** Surxondaryo viloyati O'zbekistonning suv resurslari jihatidan eng murakkab va strategik hududlaridan biri hisoblanadi. Viloyatdagi Janubiy Surxon, To'palang, Uchqizil, Oqtepa va Degrez suv omborlari 200 ming gektarga yaqin sug'oriladigan yerlarni ta'minlaydi. Ushbu maqolada sun'iy intellekt (SI) texnologiyalarining (LSTM, ANN, Reinforcement Learning) gidrotexnika inshootlarini boshqarishdagi roli chuqur tahlil qilinadi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, SI toshqin bashoratini 20–35% ga, suv isrofini esa 40–50% ga kamaytirish imkonini beradi. Surxondaryo sharoitida SI ni joriy etish iqlim o'zgarishi va suv tanqisligiga qarshi samarali yechim sifatida baholanmoqda.

**Kalit so'zlar:** Sun'iy intellekt, gidrotexnika inshootlari, Surxondaryo, Janubiy Surxon suv ombori, To'palang suv ombori, LSTM modeli, toshqin bashorati, suv resurslarini optimallashtirish.

**Abstract.** Surkhandarya region is one of the most complex and strategic regions of Uzbekistan in terms of water resources. The South Surkhan, Topalang, Uchkizil, Oktepa and Degrez reservoirs in the region provide irrigated land for about 200 thousand hectares. This article provides an in-depth analysis of the role of artificial intelligence (AI) technologies (LSTM, ANN, Reinforcement Learning) in the management of hydraulic structures. The research results show that AI allows to reduce flood forecasting by 20–35% and water waste by 40–50%. The introduction of AI in the conditions of Surkhandarya is considered an effective solution to climate change and water scarcity.

**Keywords:** Artificial intelligence, hydraulic structures, Surkhandarya, South Surkhan reservoir, Topalang reservoir, LSTM model, flood prediction, water resources optimization.

**Аннотация.** Сурхандарьянская область — один из наиболее сложных и стратегически важных регионов Узбекистана с точки зрения водных ресурсов. Южно-Сурханское, Топалангское, Учкизилское, Октепское и Дегрезское водохранилища в регионе обеспечивают орошение около 200 тысяч гектаров. В данной статье представлен углубленный анализ роли технологий искусственного интеллекта (ИИ) (LSTM, ИНС, обучение с подкреплением) в управлении гидротехническими сооружениями. Результаты исследования показывают, что ИИ позволяет сократить


ISSN 3030-3907

прогнозирование наводнений на 20–35% и потери воды на 40–50%. Внедрение ИИ в условиях Сурхандарьи рассматривается как эффективное решение проблемы изменения климата и дефицита воды.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, гидротехнические сооружения, сурхандарья, южно-сурханское водохранилище, топалангское водохранилище, модель lstm, прогнозирование наводнений, оптимизация водных ресурсов.

**KIRISH.**

Surxondaryo viloyati O‘zbekistonning janubiy qismida joylashgan bo‘lib, kontinental iqlim, qurg‘oqchilik va bahorgi toshqinlar xavfi bilan ajralib turadi. Viloyatning yillik o‘rtacha yog‘in miqdori 120–200 mm ni tashkil etadi, tog‘li hududlarda esa 800–1000 mm gacha yetadi. Suv resurslarining asosiy manbai — Surxondaryo va uning irmoqlari.

Viloyatda 5 ta yirik suv ombori mavjud bo‘lib, ularning umumiy sig‘imi 1,5 milliard m³ dan ortiq. Bu inshootlar nafaqat sug‘orish, balki ichimlik suvi ta’minoti va gidroenergetika uchun ham muhimdir. Biroq, infratuzilmaning eskirishi, iqlim o‘zgarishi va aholining ko‘payishi (viloyat aholisi 2,5 milliondan ortiq) an’anaviy boshqaruv usullarini samarasiz qilmoqda.

Sun’iy intellekt bu muammolarni hal qilishda yangi imkoniyatlar ochadi: real vaqt rejimida monitoring, aniq bashorat va avtomatik qaror qabul qilish. Tadqiqotning asosiy savoli: Surxondaryo viloyatidagi gidrotexnika inshootlarida SI ni qo‘llash samaradorlikni qanchalik oshiradi?

**Metodlar.**

Ushbu tadqiqot quyidagi usullarga asoslangan:

**Adabiyotlar tahlili** — 2023–2026 yillardagi xalqaro va mahalliy manbalar (IEEE, ScienceDirect, CyberLeninka, World Bank hisobotlari).

**Ma’lumotlar manbalari** — Surxondaryo viloyati Suv xo‘jaligi boshqarmasi, “Uzgidromet”, Uzbekgidroenergo, IoT sensorlari va sun’iy yo‘ldosh ma’lumotlari.

**LSTM (Long Short-Term Memory)** — vaqt seriyali ma’lumotlar (yomg‘ir, suv sathi, oqim) uchun bashorat.

**ANN (Artificial Neural Networks)** — suv sathi va struktura holatini baholash.

**Reinforcement Learning** — darvozalar va suv chiqarishni optimallashtirish.

**Baholash ko‘rsatkichlari**: RMSE (Root Mean Square Error), MAE (Mean Absolute Error), aniqlik foizi, suv tejash foizi.

Tadqiqotda Surxondaryo suv omborlarining real ma’lumotlari (1967–2025) va sintetik simulyatsiyalar qo‘llanilgan.

**NATIJALAR.**


ISSN 3030-3907

**Surxondaryo viloyatidagi asosiy gidrotexnika inshootlari (2025 yil holatiga)**

**1-Jadval**

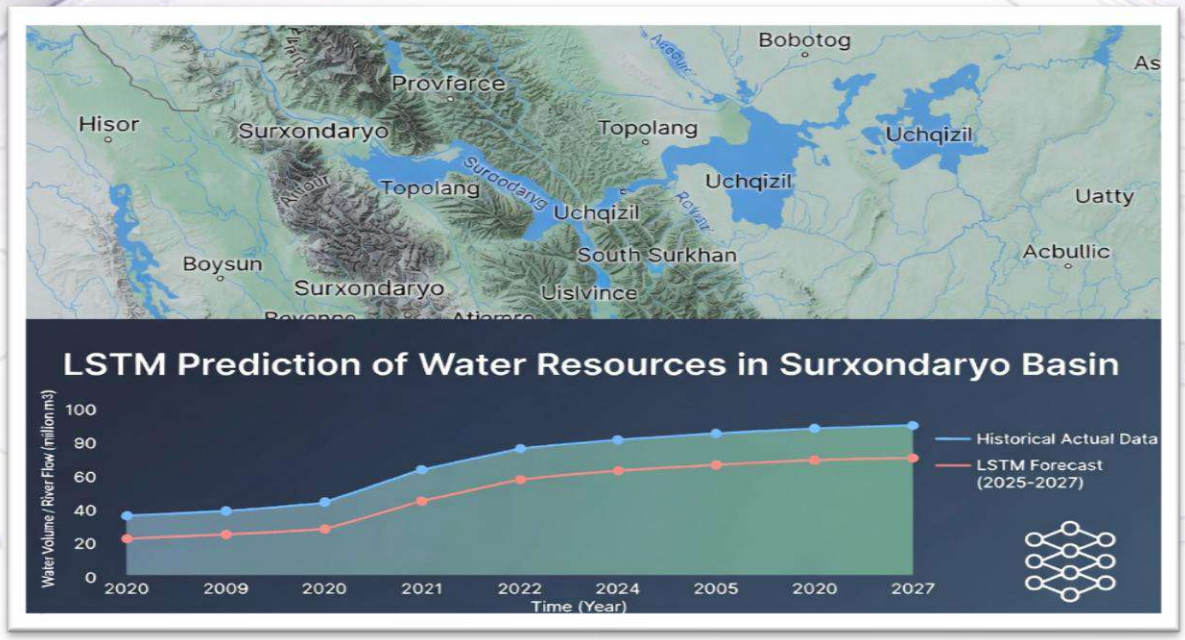
| № | Suv ombori | Ishga tushgan yili | Sug‘oriladigan maydon (ming ga) | Umumiy sig‘im (mln $m^3$) | Foydali sig‘im (mln $m^3$) | To‘g‘on balandligi (m) | Asosiy foydalanish |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Janubiy Surxon | 1967 | 150,1 | 800 | 503–610 | 30 | Sug‘orish + baliqchilik |
| 2 | To‘palang | 1986 | 61,6 | 500 | 120 | 167 | Sug‘orish + GES + ichimlik suvi |
| 3 | Uchqizil | 1984 | 4,95 | 160 | 160 | 11,5 | Sug‘orish |
| 4 | Oqtepa | 1982 | 24,7 | 120 | 83 | ~3 | Sug‘orish |
| 5 | Degrez | 1962 | 2,2 | 12,8 | 12,8 | 12,7 | Sug‘orish |

**An’anaviy va SI bilan boshqaruvni solishtirish (Surxondaryo sharoitida)**

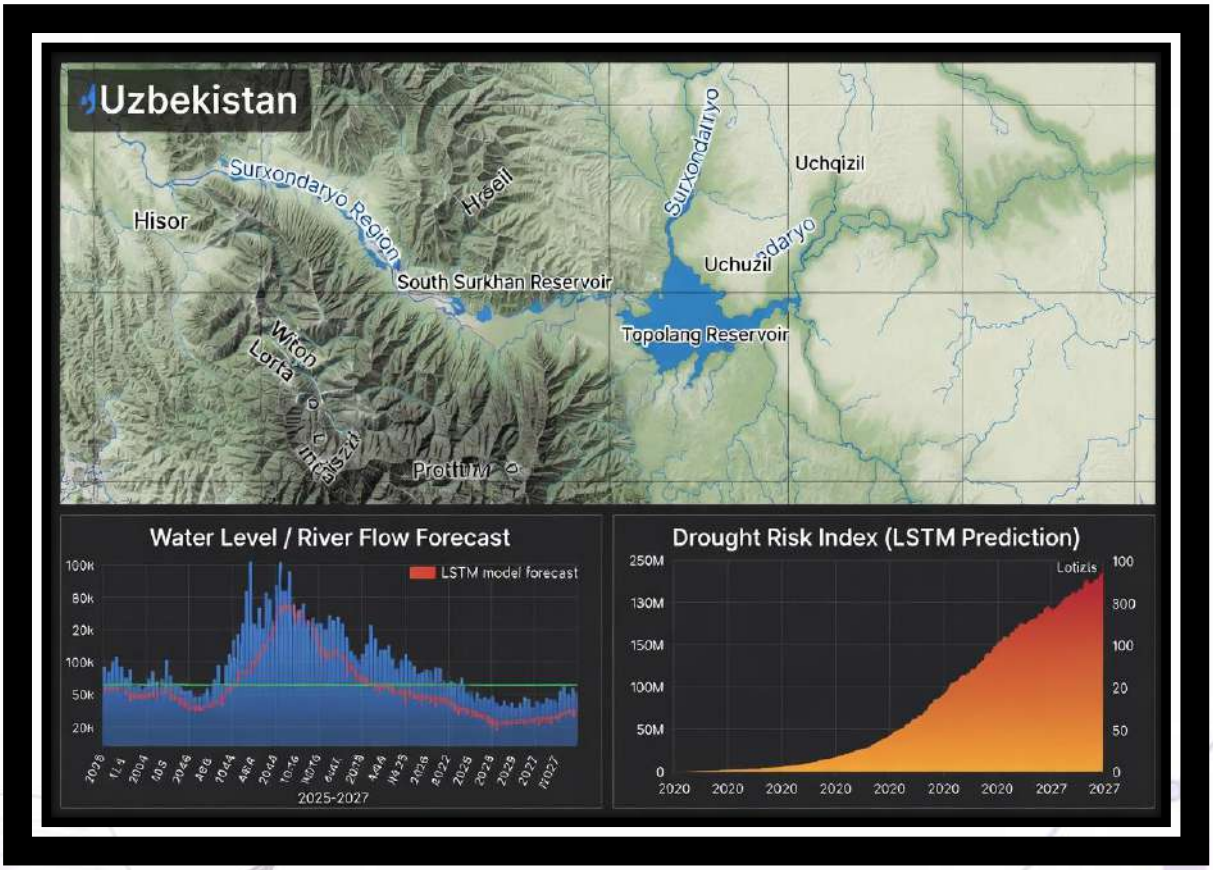
**2-Jadval**

| Ko‘rsatkich | An’anaviy usul | SI (LSTM + IoT) | Yaxshilanish (%) |
|---|---|---|---|
| Toshqin bashorat aniqligi | 72–78% | 93–97% | +22–25% |
| Suv isrofi (bug‘lanish + oqim) | 28–35% | 14–18% | -45–50% |
| Texnik xizmat xarajati | Yuqori | 25–35% past | -30% |
| Energiya ishlab chiqarish samarasi | O‘rtacha | +12–18% | +15% |
| Baxtsiz hodisa xavfi | Yuqori | Sezilarli past | -40% |


ISSN 3030-3907




**1-Rasm Surxondaryo suv omborlarining sun'iy yo'ldosh tasviri (Uzcosmos 2025 yil).**




**2-Rasm LSTM modelining suv sathi bashorati grafiki (haqiqiy va bashorat qilingan qiymatlar).**

Ko'rsatkichlar: 2020–2024 (haqiqiy) va 2025–2027 (bashorot)

Izoh: Qizil chiziq — LSTM bashorati Yashil soya — bashorotning ishonch oralig'i O'ng grafikda qizilroq hudud qurg'oqchilik xavfi yuqori ekanligini bildiradi


ISSN 3030-3907

**3-Jadval**

**SI ning potentsial iqtisodiy ta’siri (Surxondaryo, 5 yillik prognoz)**

| Yil | Suv tejash (mln m³) | Qishloq xo‘jaligi hosildorligi o‘sishi (%) | Iqtisodiy foyda (mlrd so‘m, taxminiy) |
|---|---|---|---|
| 2027 | 85 | +8 | 180 |
| 2028 | 120 | +12 | 260 |
| 2029 | 170 | +16 | 340 |
| 2030 | 210 | +18 | 480 |

**Muhokama.**

Surxondaryoda Janubiy Surxon va To‘palang suv omborlari eng muhim hisoblanadi. To‘palang suv ombori tog‘li hududda joylashgani uchun balandligi 167 metr bo‘lib, yuqori bosim va seysmik xavf mavjud. SI bu yerda struktura holatini (yoriqlar, siljishlar) real vaqt rejimida monitoring qilish imkonini beradi.

**Afzalliklari:**

Toshqin xavfini erta aniqlash (ayniqsa bahor oylarida).

Qurg‘oqchilik davrida suvni tejash.

Gidroelektrostansiyalar samaradorligini oshirish.

Inson omilini kamaytirish orqali xavfsizlikni oshirish.

**Cheklovlar va xatarlar:**

- Yuqori dastlabki investitsiya (sensorlar, serverlar, dasturiy ta’minot).
- Malakali kadrlar yetishmasligi.
- Kiberxavfsizlik tahdidlari.
- Ma’lumotlar sifati past bo‘lsa, bashorat xatolari ortishi mumkin.

**Tavsiyalar Surxondaryo viloyati uchun:**

1. 2027–2030 yillarda Janubiy Surxon va To‘palangda SCADA + AI + IoT integratsiyasini joriy etish.
2. World Bank va Osiyo rivojlanish banki loyihalari doirasida moliyalashtirish.
3. Surxondaryo viloyati universitetlarida “Gidrotexnika va SI” yo‘nalishida mutaxassislar tayyorlash.
4. Digital Twin (raqamli egizak) texnologiyasini qo‘llash.

**XULOSA.**

Sun’iy intellekt Surxondaryo viloyatining gidrotexnika inshootlarini boshqarishda inqilobiy vosita bo‘lib, suv resurslaridan samarali foydalanish, iqlim o‘zgarishiga moslashish va iqtisodiy o‘sishni ta’minlaydi. Bu texnologiyalarni joriy etish nafaqat viloyat, balki butun O‘zbekiston uchun strategik ahamiyatga ega. Surxondaryo viloyati qurg‘oqchilik, toshqin va haroratning keskin o‘zgarishiga moyil hudud hisoblanadi. AI bashoratlovchi modellar orqali kelajakdagi suv resurslari holatini oldindan aniqlab, gidrotexnika inshootlarini


ISSN 3030-3907

(to‘g‘onlar, kanallar, nasos stansiyalari) mos ravishda boshqarishga yordam beradi. Bu suv tanqisligi paytida zaxiralarni tejash va kuchli yog‘inlar vaqtida toshqin xavfini kamaytirish imkonini beradi. Suvning samarali boshqarilishi qishloq xo‘jaligi mahsulotlari yetishtirish hajmini oshiradi, energetika sohasida (gidroenergiya) samaradorlikni yuksaltiradi va sanoat korxonalari uchun ishonchli suv ta’minotini ta’minlaydi. Bu viloyat iqtisodiyotini diversifikatsiya qilishga, yangi ish o‘rinlarini yaratishga va eksport salohiyatini kuchaytirishga xizmat qiladi.Surxondaryo viloyatida AI asosidagi gidrotexnika boshqaruvi muvaffaqiyatli joriy etilsa, bu butun O‘zbekiston uchun namunaga aylanadi. Mamlakatimizning ko‘plab viloyatlari (Xorazm, Qashqadaryo, Farg‘ona vodiysi va boshqalar) ham suv resurslari va irrigatsiya muammolariga duch kelmoqda. Ushbu texnologiyalarni keng miqyosda qo‘llash:

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Sh. B. N. (2024). Surxondaryo viloyatining suv resurslari... CyberLeninka.
2. Abdulameer et al. (2026). AI in Dam Engineering.
3. Hariri-Ardebili M.A. (2023). The role of AI in dam engineering.
4. World Bank hisobotlari (2024–2025).
5. Uzbekgidroenergo va Uzgidromet ma’lumotlari.
6. Б.Э.Ахатов. (2024). Марказдан қочма насосларда содир бўладиган вибрация сабаблари. JOURNAL OF NEW CENTURY INNOVATIONS, 67(4), 124-131. https://scientific-jl.org/new/article/view/7629
7. Ahatov Bekzod Erkin o‘g‘li "Экономика и социум" №6(133) 2025 www.iupr.ru SUG‘ORISHNING TUPROQQA VA O‘SIMLIK O‘SISHIGA TA’SIRI
8. Xusanxo‘jayev Z. X. Gidrotexnika inshootlari hisobi T., «O‘qituvchi», 1972.
9. Xusanxo‘jayev Z. X. Suv omborlaridagi gidrotexnika inshootlari. T., Mehnat, 1986.


ISSN 3030-3907

# OPTIMIZATION OF GAS SUPPLY SYSTEMS IN VEHICLES

**Tursunov Mamatqul Karimovich**
***Jizzakh Polytechnic Institute scientific supervisor***
**Xolboyev Yusuf Akrom o‘g‘li**
***Jizzakh Polytechnic Institute magistr***

**Annotation.** The article provides a comprehensive scientific overview of the fuel supply system used in automobiles, the mechanisms for utilizing compressed and liquefied gases, methods for adapting engines to gaseous fuels, the operating principles of reducers and mixers, as well as the process of forming the gas–air mixture. The technical, ecological, and economic advantages, along with practical limitations, of converting automobiles to gaseous fuels are analyzed. The study includes scientific recommendations aimed at improving the efficiency of gas engines, enhancing fuel economy, and ensuring environmental safety.

**Keywords:** gas supply system, compressed gas, liquefied gas, reducer, evaporator, mixer, gas–air mixture, engine efficiency.

**Аннотация.** В статье представлен всесторонний научный обзор системы подачи топлива, используемой в автомобилях, механизмов использования сжатых и сжиженных газов, методов адаптации двигателей к газообразному топливу, принципов работы редукторов и смесителей, а также процесса образования газовоздушной смеси. Анализируются технические, экологические и экономические преимущества, а также практические ограничения переоборудования автомобилей на газообразное топливо. В исследовании приводятся научные рекомендации, направленные на повышение эффективности газовых двигателей, улучшение топливной экономичности и обеспечение экологической безопасности.

**Ключевые слова:** система подачи газа, сжатый газ, сжиженный газ, редуктор, испаритель, смеситель, газовоздушная смесь, эффективность двигателя.

**Annotatsiya.** Maqolada avtomobillarda qo‘llaniladigan yoqilg‘i ta’minoti tizimi, siqilgan va suyultirilgan gazlardan foydalanish mexanizmlari, dvigatellarni gazsimon yoqilg‘iga moslashtirish usullari, reduktorlar va aralashtirgichlarning ishlash tamoyillari, shuningdek, gaz-havo aralashmasini hosil qilish jarayoni haqida keng qamrovli ilmiy sharh berilgan. Avtomobillarni gazsimon yoqilg‘iga aylantirishning texnik, ekologik va iqtisodiy afzalliklari, amaliy cheklovlari tahlil qilingan. Tadqiqot gaz dvigatellarining samaradorligini oshirish, yoqilg‘i tejamkorligini oshirish va ekologik xavfsizlikni ta’minlashga qaratilgan ilmiy tavsiyalarni o‘z ichiga oladi.

**Kalit so‘zlar:** gaz ta’minoti tizimi, siqilgan gaz, suyultirilgan gaz, reduktor, bug‘latgich, aralashtirgich, gaz-havo aralashmasi, dvigatel samaradorligi.

## INTRODUCTION.

Currently, the use of gas fuel in road transport is considered an important factor in energy efficiency, environmental safety, and economic efficiency. Gas engines use natural, industrial or synthetic fuels in compressed (CNG — Compressed Natural Gas) or liquefied (LPG — Liquefied Petroleum Gas) form. Such fuels are stored in special metal cylinders under high pressure and are fed to the engine through the vehicle's gas cylinder system.

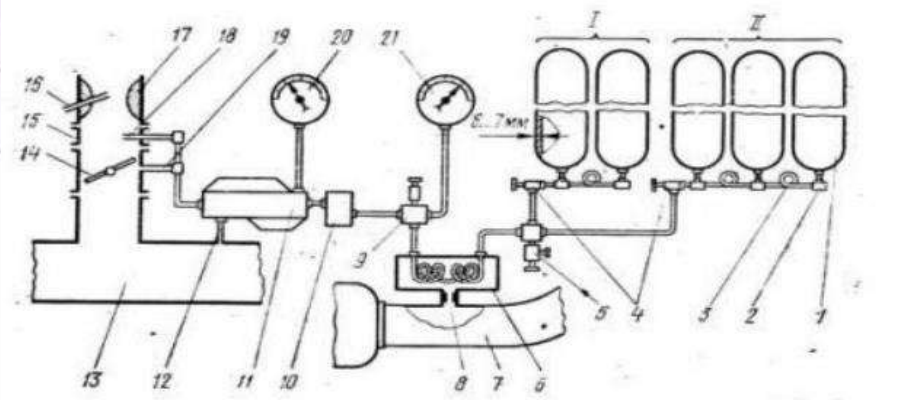
When converting diesel and gasoline engines to gas fuel, the main mechanical parts remain unchanged, but the fuel supply, combustion control, gas mixture preparation, and safety systems are completely re-equipped.

The first method is to convert a diesel engine into a full-fledged spark-ignition engine. In this case, the compression ratio in the cylinders is reduced to 8–9 units, and the engine is equipped with a system that provides spark ignition and gas cylinder devices. This technology brings the engine's operating cycle closer to that of a gasoline engine.

The second method is a mixed (gas-diesel) mode, which allows the engine to run on gas and diesel fuel simultaneously. In this case, the engine is equipped with a gas cylinder device, with the gas being mixed with air through a mixer and sucked into the cylinders along the intake manifold. At the end of the compression stroke, a certain amount of diesel fuel is sprayed into the cylinders; it acts as the initial spark required for combustion. In this method, diesel consumption is approximately 20 percent of the consumption in a normal diesel process. Most importantly, this method does not require drastic changes in engine design and is widely used, especially for automotive engines and many stationary installations.

The working cycle of gas engines is practically no different from the working cycle of gasoline engines. The set of all devices that are installed for the use of a car engine in gas fuel is called a gas cylinder device. Gas cylinder devices are divided into two types: compressed gas systems and liquefied gas systems. Their common structural feature is that gas is always released from cylinders under high pressure. Therefore, a special reducer is included in the system. The reducer reduces the gas pressure, stabilizes it, and controls the gas flow transmitted to the engine.


ISSN 3030-3907



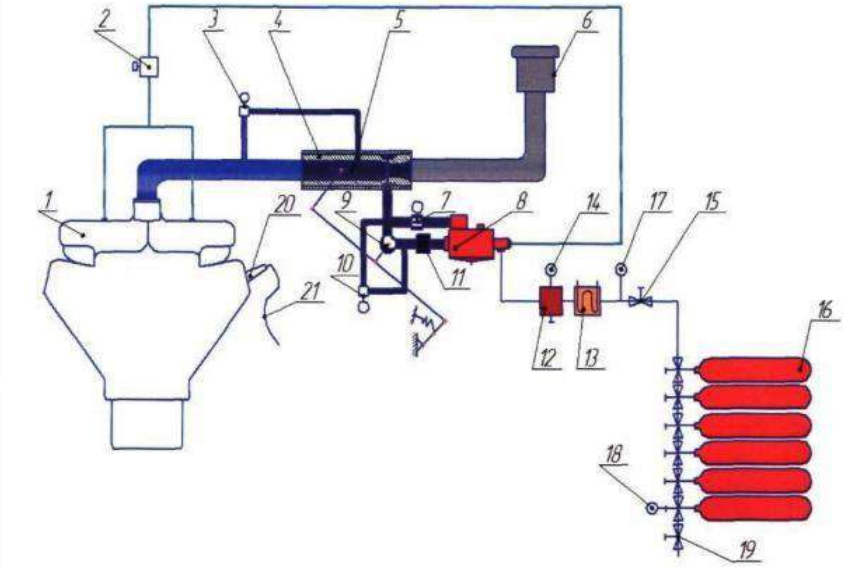

**1-picture. Principle diagram of gas cylinder equipment powered by compressed gas**

The principle scheme of equipment with gas cylinders is 1-cylinder; 2-Connecting fittings; 3-steel pipes; 4-consumption crane; 5 - filling crane; 6-heater; 7-exhaust gas system pipe; 8-dosing machine; 9 - main crane; 10-filter; 11-reducer; 12 - pipe connecting pipe; 13 - inlet pipe; 14-gas valve; 15-base; 16-sprinkler; 17-diesel mixer; 18-injector; 19-salt working pipe; 20-low pressure manometer; 21-high pressure manometer. The compressed gas at a pressure of 20 MPa is divided into two groups (I and II) and stored in five steel cylinders 1, each with a volume of 50 l, installed under the loading platform. Cylinders are connected to each other by connecting fittings 2 and pipes 3. As a result of the differentiation of the car frame, the pipes are provided with compensators so that 3 does not break.The compressed gas at a pressure of 0 MPa is divided into two groups (I and II) and is stored in a steel cylinder 1, each with a volume of 50 l, installed under the loading platform. Cylinders are connected to each other by connecting fittings 2 and pipes 3. As a result of the differentiation of the vehicle frame, the pipes are provided with compensators to prevent damage to the 3. Gas from the cylinders 1 is discharged through the exhaust valve 4 to the heater 6 main valve 9, then it is cleaned in the filter 10 and passes through the reducer 11.

In the reducer 11, the gas pressure is reduced to atmospheric pressure.'s. In the reducer 11, the gas pressure is reduced to atmospheric pressure. Diagram of the placement of gas equipment in the car 1 ventilation pipe; 2-hermetic box; 3-fittings; 4, 11 Tee; 5-mixer; 6-dispenser; 7-Control Unit; 8-filter electromagnetic gas valve; 9-reducer 21-connector; 10-electromagnetic gasoline valve; 12-internal heater; 13-heater button; 14 - high pressure pipe; 15-duralumin cylinder; 16-ejectors; 17-transition pipe; 18-Cast device. Due to the sudden drop (expansion) in gas pressure, if it contains moisture, it can freeze and disrupt the normal operation of the system. Therefore, the gas is passed through the heater 6. The heat of the gases used to heat the gas is used. 7.8. When the engine is not running, the reducer closes the gas pipeline. Due to a sharp decrease (expansion) in the az pressure, if it contains


ISSN 3030-3907

moisture, it can freeze and disrupt the normal operation of the system. Therefore, the gas is heated through 6. The heat of the gases used to heat the gas is used 7.8. When the engine is not running, the reducer closes the gas pipeline. In a running engine, as a result of the rarefied gas, the gas passes from the nozzle 18 to the diesel mixer 17 and, mixing with air, forms a gas-air mixture. In Salt mode, the gas is injected directly into the bottom of the gas through the pipe 19. The gas pressure in the cylinders and the amount proportional to it are controlled using a high-pressure manometer 21. The operation of the reducer is controlled using a low-pressure pressure gauge 20. Both pressure gauges are mounted on the dashboard in the car interior. The cylinders are filled with gas through valve (tap) 5.




**2-picture. The gas is removed from the liquid phase through an exhaust valve installed above it.**

The device shown in the picture is universal and, thanks to the backup gasoline fuel system, allows you to work normally on gasoline, if you are careful. In liquefied gas-powered devices, the transition of gas to a vapor state occurs in a special heat exchanger, namely, in the evaporator. A distinctive feature of a liquefied gas device is that its operating pressure does not depend on the amount of gas in the cylinder, but on the structural composition of the gas mixture and ambient temperature to determine the amount of liquefied gas in the cylinder, unlike a compressed gas device. A special level indicator must be installed on the liquefied gas device. The liquefied gas is stored in 20 cylinders of 225 liters, which are installed under the platform and attached to the left side of the frame. The exhaust valves are mounted on the front wall of the cylinder, through which gas passes from the cylinder gauge (troy) 19 to the speed valve 18.

Engine 1; 2-electromagnetic valve; 3.10-electric control valves; 4-Mixer;5-gas air cap; 6-gas air intake filter; 7-gas cap; 8-low - pressure reducer; 9-separator; 11 filter cleaner; 12-high-pressure gas reducer; 13-liquid heating; 14, 17, 18


ISSN 3030-3907

pressure gauges; 15 - main crane; 16-cylinder part; 19-filling crane car liquefied gas supply system Scheme: 1-Inlet Collector; 2-reducer only working system mixer; 3-pipe between reducer and Mixer; hose between car. inlet pipe from the 4th reducer; 5-pipe between the solenoid valve of the starting system from the reducer; 6 - pipe between the evaporator and the reducer; 7-gas mixer; 8-gas reducer; 9 - gas reducer filter; 10-starting system electromagnetic valve; 11 tubes between the mixer from the starting system valve; 12-high pressure hose between the solenoid valve and the evaporator; 13 - evaporator; 14-backup system; 15-electromagnetic valve; 16.17 pipes; 18-speed valve; 19-cylinder three (three).- pipe between the reducer and the solenoid valve of the starting system; 6 - pipe between the evaporator and the reducer; 7-gas mixer; 8 - gas reducer; 9-gas reducer filter; 10-starting system electromagnetic valve; 11 tubes between the mixer from the start system Valve; 12 - high pressure hose between the solenoid valve and evaporator; 13-evaporator; 14-backup system; 15-electromagnetic valve; 16.17 pipes; 18-speed valve; 19-cylinder three (three). The gas from tee 19 passes through pipes 16, 17 to the electromagnetic valve 15. When the contact is made, the gas is transferred through the high-pressure hose 12 to the evaporator 1 installed in the engine's intake manifold 13.

From the evaporator 13, the gas enters the two-stage reducer 8 and reduces its pressure. Before the first stage of the reducer, a filter 9 is installed, from the cavity of the second stage of the reducer, the gas passes to the gas metering and saving device, and from it the required amount of gas is sent to the mixer 7 in accordance with the operating mode of the engine. The engine start system includes an electromagnetic start valve 10 with measuring nozzles, tubes, and shut-off valves. When starting a cold engine, after the start valve is connected, the gas under pressure passes through the first stage of the reducer into the mixing system through the 2nd tube. The operation of the 23 supply system is controlled by a pressure gauge installed in the driver's cabin. The gas pressure after the first stage of the reducer should be 0.15 MPa. The function of the gas reducer is to reduce

The main function of the reducer is to automatically control the amount of gas supplied to the mixer in accordance with the operating modes of the engine and to regulate the pressure of the gas exiting the cylinder to completely cut off the gas flow when the engine is stopped.

A comparison of the technical and economic characteristics of gas and diesel fuels shows that gaseous fuels have a number of significant advantages over liquid fuels. First of all, gaseous fuel is often available as a local raw material and is characterized by its economic affordability. The use of gas in spark-ignition engines significantly improves the process of forming the combustible mixture: gas mixes with air in various proportions quickly and evenly, resulting in optimal


ISSN 3030-3907

distribution of the mixture throughout the cylinders. The flame spread range of gases is wider than that of liquid fuels, and the combustion process is complete even if the mixture contains a large amount of air. These factors serve to simplify the devices that form the combustible mixture and reduce the amount of environmentally harmful emissions.

Other advantages of gas include: it is widespread, inexpensive and has large natural reserves; no tar, Black Moth or ash is formed during the combustion process; the proportion of environmentally harmful substances in the composition of waste products is much lower; gas can be easily transported over long distances through pipelines and is convenient to store in a centralized state. Also, the oil degradation process is significantly slower in engines running on gaseous fuels. This is due, firstly, to the absence of condensation of fuel vapors on the cylinder walls, and secondly, to the low formation of soot and deposits in the combustion chamber. As a result, the engine's service life before overhaul can be increased by 1.5–2 times.

However, there are also some disadvantages to gas fuels. The most important negative feature is the high level of explosion hazard of many gaseous fuels (especially methane, hydrogen, and natural gas). Therefore, it is necessary to strictly adhere to fire safety rules and technical regulations when using gas appliances. In addition, gaseous fuel fills the cylinders less than liquid fuel, which leads to a slight decrease in engine power.

Nevertheless, the above analysis shows that the complex properties of gaseous fuel make it a very suitable fuel type for spark-ignition engines, and it can also be effectively used in diesel engines when appropriate systems are used.

Synthetic combustible gases are obtained through the processing of solid and liquid fuels, particularly through dry roasting, semi-coking, and other thermochemical methods. These gases are classified into low or high-calorie types according to their ability to allocate energy and are mainly used as fuel. In order to reduce the risk of explosion in the composition of synthetic gases, natural gas is added to them in a certain proportion. The mixing process takes place in special technological stations, and the finished product is delivered to consumers.

It should be remembered that most synthetic gases are explosive and contain components that can be harmful to human health. Therefore, it is necessary to strictly adhere to safety requirements when using such gases and comply with fire and explosion safety standards.

When using cars on gas fuel, two types of fuel are mainly used: compressed gas and liquefied gas. Each type of fuel requires a separate technical approach due to its physical and chemical properties, energy content, and safety requirements.


ISSN 3030-3907

Hydrocarbons whose critical temperature is higher than the ambient temperature transition from a gaseous state to a liquid state under low pressure. Such gases are called liquefied gases. To liquefy a gas, a certain temperature and a certain pressure must be present. For example, liquefying propane at 20 °C requires a pressure of approximately 0.85 MPa, while liquefying butane requires a pressure of 0.2 MPa.

Conversely, gases with a critical temperature below the operating temperature are usually stored compressed at high pressures up to 20 MPa and are called compressed gases. Unlike liquefied gases, compressed gases maintain their gaseous state under normal temperature conditions; they only liquefy when supercooled at very low temperatures (below –62 °C). Natural gas, compressed to a pressure of up to 20 MPa, is commonly used as a fuel in automobiles.

Natural gas is extracted from gas fields and its main component is methane. Methane releases about 49,800 kJ/kg of heat when burned. However, the volumetric heat capacity of natural gas in a compressed state under a pressure of 20 MPa does not exceed 7,000 kJ/m³, which is at least three times lower than the volumetric heat capacity of liquefied gas. The low volumetric heat capacity does not allow for storing a sufficiently large amount of gas in a car, even in high-pressure cylinders. Therefore, the driving range of vehicles running on compressed natural gas is approximately half that of vehicles running on gasoline or liquefied gas.

The octane number of methane is approximately 110 units, which indicates its high resistance to explosion. The widespread availability, relative cheapness, and environmental friendliness of natural gas make it a viable and promising alternative to diesel fuel, especially for vehicles operating in urban areas.

The analysis shows that the use of gaseous fuels in automotive and industrial engines is highly efficient from a technical, environmental and economic perspective. The rapid mixing of gaseous fuels with air, wide combustion range, high octane number, and clean combustion properties optimize the combustion process and increase the thermal efficiency of the engine. In addition, the use of gas fuel leads to a reduction in harmful emissions into the atmosphere, an increase in the service life of engine oil, and an increase in the overall operational reliability of the engine.

The analyzed data showed that the physicochemical properties of liquefied and compressed gases, the mechanisms of their storage and transportation, and their impact on engine energy efficiency differ significantly from each other. Although liquefied gases are more efficient due to their high volumetric heat capacity, compressed natural gas is distinguished by its environmental friendliness and economic affordability. Methane’s high explosion resistance makes it a promising fuel type for spark-ignition engines.


ISSN 3030-3907

At the same time, it is necessary to strictly adhere to safety requirements when using gas appliances, since many types of gas are explosive and sometimes have toxic components. These factors place high demands on the quality and level of control of gas cylinder systems.These characteristics make the use of gas fuels in modern energy and transport sectors a more relevant and promising direction load, and extending engine life. These characteristics make the use of gas fuels in modern energy and transport sectors a more relevant and promising direction.

## LIST OF LITERATURE USED

1. Negmatov M., Boboeva G., Negmatov U. Environmental aspects of processing and use wastewater sludge in agriculture //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2022. – T. 1076. – №. 1. – C. 012046.
2. Gadaev A., Juraev A., Boboeva G. Sustainable water resources management in Uzbekistan: Transboundary issues. – 2019.
3. Sadikovna B. G., Farhadovna K. Monitoring Water Consumption of The Slate Manufacturing Plant //Middle European Scientific Bulletin. – 2020. – T. 5. – C. 5-6.
4. Gadaev A. N., Boboeva G. S. New Oases: Providing Potable Water to People from Deep Wells/Disaster by Design: Aral Sea Sustainability and its lessons.–UK. – 2012.
5. Sadykovna B. G., Rakhimovna M. T. Environmental Analysis of the Design Solution Water Consumption in Production //INTERNATIONAL JOURNAL OF BIOLOGICAL ENGINEERING AND AGRICULTURE. – 2022. – T. 1. – №. 5. – C. 93-96.
6. FARHADOVNA K. G., SADIKOVNA B. G., RAKHIMOVNA M. T. Assessment of the impact of industrial enterprises on the environment and the introduction of new types of equipment for dust and gas cleaning //Journal of Positive School Psychology. – 2022. – T. 6. – №. 1s. – C. 1–7- 1–7.
7. Farkhadovna K. G. et al. ANALYSIS OF THE IMPACT OF INDUSTRIAL ENTERPRISES ON
8. Madjidova T. R., Boboeva G. S., Keldiyarova G. F. Environmental impact assessment of industrial enterprises (on the example of objects of category I, II of environmental impact in the Samarkand region) //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – T. 265. – C. 04025.


ISSN 3030-3907

# МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕР АТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА И РАСЧЕТ ПОДПОЧВЕННО ГО АККУМУЛЯТОРА ТЕПЛА СОЛНЕЧНОЙ ТЕПЛИЦЫ

**Файзиев Тулкин Амирович**

***к.т.н., профессор, «Каршинский государственный технический университет»***

**Аннотация.** Данная статья представляет собой математическую модель процесса тепломассообмена в солнечных теплицах на основе аналитического метода. Показана возможность аппроксимации сложных передаточных функций более простыми, удобными для практических целей. Полученная система дифференциальных уравнений вполне описывает теплообменные процессы в солнечное теплице и аккумуляторах тепла.

**Ключевые слова:** солнечная теплица, температурно-влажностный режим, математическая модель, подпочвенный аккумулятор тепла.

**Abstract.** This article is a mathematical model of the heat and mass transfer process in solar greenhouses based on the analytical method. The possibility of approximating complex transfer functions by simpler ones convenient for practical purposes is shown. The resulting system of differential equations fully describes the heat exchange processes in a solar greenhouse and heat accumulators.

**Keywords:** solar greenhouse, temperature and humidity regime, mathematical mo del, subsurface heat accumulator.

**Annotatsiya.** Ushbu maqola analitik usul asosida quyosh issiqxonalarida issiqlik-massa almashinuvi jarayonining matematik modelini taqdim etadi. Murakkab uzatish funksiyalarini sodda, amaliy maqsadlar uchun qulay bo‘lganlari bilan approksimatsiyalash mumkinligi ko‘rsatilgan. Olingan differensial tenglamalar tizimi quyosh issiqxonasi va issiqlik akkumulyatorlaridagi issiqlik almashinuv jarayonlarini to‘liq tavsiflaydi.

**Kalit so‘zlar:** quyosh issiqxonasi, harorat va namlik rejimi, matematik model, tuproq osti issiqlik akkumulyatori.

## ВВЕДЕНИЕ.

Солнечная энергетика относится к быстроразвивающимся отраслям науки, техники и технологии. Основу такого развития составляет создание и совершенствование высокоэффективных энергоустановок для преобразования солнечной энергии в тепловой и электрической энергии. Сегодняшние солнечные системы уже рентабельны, надежны и просты в эксплуатации. Их использование набирает популярность в развитых странах. Это становится не только экономно, но и престижно.


ISSN 3030-3907

В настоящее время применение новых инновационных технологий и методов создает возможность для поиска оптимальных условий проектирования сложных теплотехнических объектов и процессов. Создание и реализации эффективных систем автоматического управления и регулирования динамической характеристики солнечной теплицы требует решения вопроса разработки математической модели процесса тепло-и массообмена происходящего в сооружении как объекта автоматического управления.

**ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.** Известно, что солнечная теплица является сложным объектом с распределенными параметрами, в котором одновременно протекают теплообменные и массообменные процессы [1-4, 7-9]. Определение динамических характеристик объекта может быть достигнуто либо экспериментальным, либо аналитическим методом. В данной работе выбрали аналитический метод исходя из следующих соображений;

1. Ни в одной из функционирующих и рекомендуемых солнечных теплиц до сих пор нет даже неавтоматизированных устройств для необходимого микроклимата, принудительной вентиляции обогрева.

2. Количество типов солнечных тепличных построек весьма велика, причем типовые проекта отсутствует (строится преимущественно по индивидуальному заказу) и постройки имеют существенные различия (по конструкциям, по применяемым аккумуляторам тепла и.т.д.). Эти различия в значительной мере определяют динамику объекта регулирования.

3. Аналитический метод позволяет получить динамические характеристики разработанной, но еще не построенной солнечной теплицы, а поэтому можно конструировать регулятор микроклимата одновременно с проектированием сооружения.

Динамические характеристики солнечной теплиц будем находить в форме передаточных функций. Подобная задача впервые применительна к солнечное теплице была решена в [2-4, 9]. Однако в этой работе, во - первых не учитывается такой важный параметр микроклимата как влажность, во - вторых для упрощения вывода и понижения порядка степени дифференциального уравнения описывающего теплообменные процессы солнечной теплицы, рассматривается как двухемкостный объект регулирования температуры. Не учтены такие особенности солнечной теплицы как: а) солнечная теплица - это сооружение с интенсивным выделением водянных паров, он зависит от внутренней температуры; б) сооружение имеет большую поверхность испарения воды из почвы, поступающей по отношению в микроклимату извне (полив и другие.); в) при


ISSN 3030-3907

анализе динамики температурного режима солнечной теплицы недостаточно учитывать лишь теплоаккумулирующие свойства подпочвенного аккумулятора и внутреннего воздуха, как это принято в работе [3,4].

Ввиду того, что порядок дифференциального уравнения описывающего температуру воздуха солнечной теплицы определяется числом теплоаккумулирующих веществ**,** то порядок уравнения для солнечной теплицы данной конструкции [3,4] равен шести (если учесть теплоемкость внутреннего воздуха, водяного и подпочвенного аккумулятора тепла, почву, растительного покрова и светопрозрачного ограждения).

Для температурного режима получим процессы изменения температуры, независящие друг от друга, для которых находятся передаточные функции. Во многих практических расчетах энергетического режима солнечных теплиц теплоаккумулирующими способностями светопрозрачного ограждения принебрегают из-за ее относительно незначительностью по сравнению с другими емкостями сооружения. Поэтому при составлении дифференциального уравнения солнечной теплицы в целом составляем уравнения теплообмена. При этом учитываем следующие факторы: - поступление тепла за счет радиации; - тепловыделение почвы; - теплопотери через светопрозрачные ограждения; - тепло потери с рециркулируемым воздухом; - затраты тепла на испарение влаги с почвы и растительности.

Процессы аккумулирования тепла происходят путем изменения физических параметров теплоаккумулирующего материала. В последние годы наиболее распространены тепловые аккумуляторы с твёрдым теплоаккумулирующим материалом [5,6,10].

Жидкостные тепловые аккумуляторы относятся к числу наиболее простых и надежных устройств аккумулирования тепла, что связано с совмещением функций теплоаккумулирующего материала теплоносителя.

**МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ.** Тепловой режим в подпочвенного аккумулятора тепла солнечных теплиц формируется главным образом под действием солнечной радиации и тепловым воздействием воздушной среды внутри солнечной теплицы [6]. Нахождение температурного поля в подпочвенного аккумулятора тепла, где действует ряд факторов переноса тепла (конвекция, кондукция, и излучение), является задачей большой сложности [10].


ISSN 3030-3907

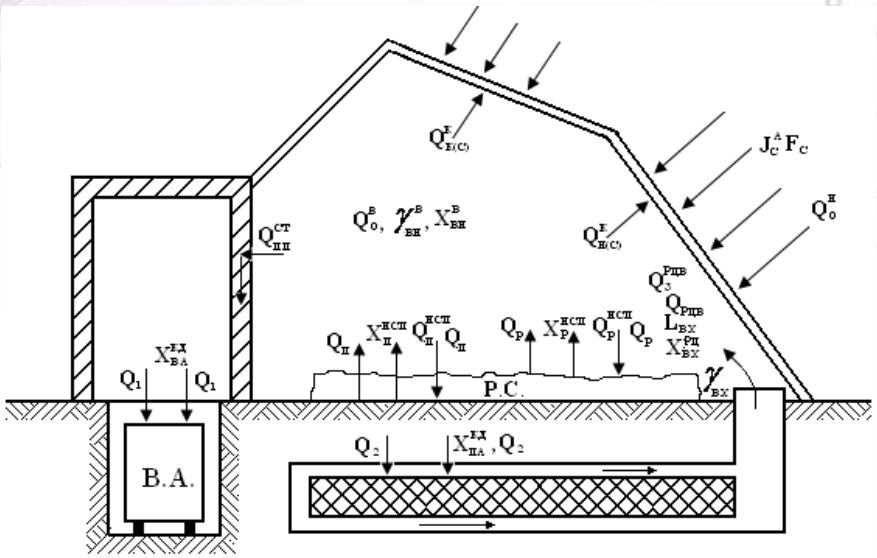



**Рис.1. Схема солнечной теплицы с аккумулятором тепла.**

На рис.2 представлена принципиальная расчетная схема водяного аккумулятора тепла, как объекта регулирования температуры воздуха на выходе из аккумулятора, задачей которой является стабилизация температур на заданном значении [4].

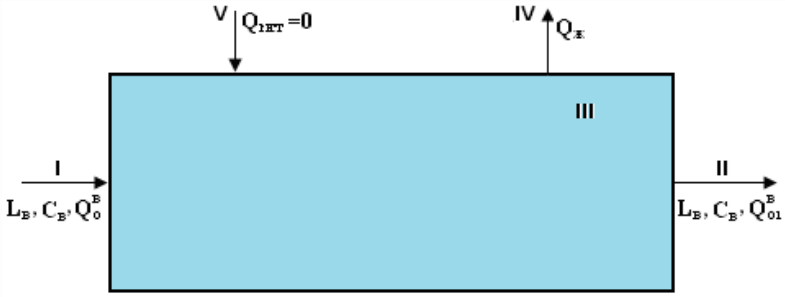



**Рис.1. Принципиальная расчетная схема водяного аккумулятора тепла.**

I-воздух на входе в аккумулятор; II- воздух на выходе из аккумулятора; III- водяной аккумулятор тепла; IV-тепло теряемое в процессе теплопередача аккумулятором; V-тепло подводимое нагревателями

Тепловой баланс каждого теплоаккумулирующего элемента, включает поступление тепла от внутреннего воздуха, потерю тепла в процессе теплопередачи и аккумулирование тепла водяным и подпочвенным аккумуляторами. Найдем аналитические выражения для отдельных слагаемых систем уравнения (1).

Потери тепла через светопрозрачные ограждения находим по известной формуле [7,8]:

$$Q_C = \sum_{i=1}^{n} K_i F_i (\theta_0^B - \theta_0^H); \qquad (1)$$


ISSN 3030-3907

где $K_i$ -коэффициент теплопередачи $i$ - го нетеплоемкого элемента; $F_i$ - величина теплопередающей поверхности этого элемента; $\theta_0^H$ -наружная температура.

Тепло, отдаваемое рециркулируемым воздухом равно теплоемкости всего воздуха, проходящего через водяной и подпочвенной аккумуляторы тепла, поступающего в сооружение в единицу времени, т. е.

$$Q_3^{РЦ} = C_B L_{BX}(\theta_3^{РЦ} - \theta_0^B); \qquad (2)$$

где $L_{BX}$ -часовая производительность вентилятора (по весу); $C_B$ - удельная теплоемкость воздуха; $\theta_3^{РЦ}$ -температура воздуха на выходе из подпочвенного аккумулятора тепла;

Потери тепла на инфильтрацию:

$$Q^{ИНФ} = C_B G_B^{ИНФ}(\theta_0^B - \theta_0^H)F_C; \qquad (3)$$

где $G_B^{ИНФ}$ -количество воздуха, поступившего в сооружение инфильтрацией через единицу площади ограждения в единицу времени; $F_C$ - площадь неплотности ограждений.

Затраты тепла на нагрев вентиляционного воздуха

$$Q^{ВЕНТ} = C_B G_{BX}(\theta_0^B - \theta_0^H); \qquad (4)$$

где $G_{BX}$ -весовой расход приточного (вентиляционного воздуха).

Тепло, аккумулируемое стенами подсобного помещения и другими строительными конструкциями:

$$Q_{ПП}^{СТ} = MV \cdot \frac{d\theta_0^B}{dt}; \qquad \mathbf{(5)}$$

где $M$ -коэффициент, характеризующий теплоаккумулирующую способность стен подсобного помещения и других строительных конструкций, и оборудования при изменении температуры воздуха на 1°С; $V$ -объем сооружения по внутреннему обмеру.

В целом уравнение теплового баланса внутреннего воздуха в развернутом виде имеет следующий вид:

$$C_B G_B \frac{d\theta_0^B}{dt} = \alpha_П F_П \theta_П + \alpha_P F_P \theta_P - (\alpha_П F_П + \alpha_P F_P + \sum_{i=1}^{n} K_i F_i + C_B L_{BX} + C_B G^{ИНФ} F_C + C_B G_{BX}^{ВЕНТ})\theta_0^B +$$
$$+ (\sum_{i=1}^{n} K_i F_i + C_B G_{BX}^{ВЕНТ} + C_B G_B^{ИНФ} F_C)\theta_0^H + C_B L_{BX} \theta_3^{РЦ} + Q^{РАД} + \Delta Q_{ЭН}^{РЕГ} - MV \cdot \frac{d\theta_0^B}{dt};$$

(6)

где $\alpha_П, \alpha_P$ -коэффициенты теплоотдачи почвы и растения; $F_П, F_P$ - площадь поверхности почвы и растения;

После некоторых преобразований и имея ввиду при зарядке и разрядке подпочвенного аккумулятора тепла получим полную систему


ISSN 3030-3907

дифференциальных уравнений описывающая динамику регулируемого объекта [7,8]:

$$\begin{cases} T_0 \dfrac{d\Delta\theta_0^B}{dt} + \Delta\theta_0^B = K_{H_1}\Delta\theta_0^H + K_{H_2}\Delta q^* + K_{01}\Delta\theta_{П} + K_{02}\Delta\theta_P + K_{03}\Delta\theta_3^{РЦ} + K_{РЕГ}\Delta\theta_{РЕГ}; \\ T_1 \dfrac{d\Delta\theta_{П}}{dt} + \Delta\theta_{П} = K_{11}\Delta\theta_0^B + K_{12}\Delta q^*; \\ T_2 \dfrac{d\Delta\theta_P}{dt} + \Delta\theta_P = K_{21}\Delta\theta_0^B + K_{22}\Delta q^*; \\ T_3 \dfrac{d\Delta\theta_{01}^B}{dt} + \Delta\theta_{01}^B = \pm K_{31}(K_{31}^{'})\Delta\theta_0^B + K_{32}\Delta\theta^{Ж}; \\ T_4 \dfrac{d\Delta\theta^{Ж}}{dt} + \Delta\theta^{Ж} = \Delta\theta_0^B; \\ T_5 \dfrac{d\Delta\theta_3^{РЦ}}{dt} + \Delta\theta_3^{РЦ} = \pm K_{51}(K_{51}^{'})\Delta\theta_{01}^B + K_{52}\Delta\theta_{НАС}; \\ T_6 \dfrac{d\Delta\theta_{НАС}}{dt} + \Delta\theta_{НАС} = \Delta\theta_{01}^B; \end{cases}$$

(7)

Полученная система дифференциальных уравнений (7) вполне описывает теплообменные процессы в солнечное теплице и аккумуляторах тепла. Переходя к операторной форме записи для системы (7) и решая совместно систему уравнений находим искомые передаточные функции для регулирования температуры по каналам возмущения и регулирования. Промежуточные выкладки из-за грамоздкости опускаем, и приводим окончательные результаты преобразований. Время запаздывания регулируемой величины в аккумуляторах тепла из-за незначительности по сравнению с временем переходных процессов учитывать не будем.

Передаточная функция температуры по каналу регулирования:

$$W_{\theta_P}(P) = \frac{\tau_{21}^6 P^6 + \tau_{22}^5 P^5 + \tau_{23}^4 P^4 + \tau_{24}^3 P^3 + \tau_{25}^2 P^2 + \tau_{26} P + K_{0P}}{T_{01}^7 P^7 + T_{02}^6 P^6 + T_{03}^5 P^5 + T_{04}^4 P^4 + T_{05}^3 P^3 + T_{06}^2 P^2 + T_{07} P + K_C}; \quad (8)$$

Передаточная функция температуры по каналу наружной температуры на входе - температура внутреннего воздуха на выходе:

$$W_{\theta_H}(P) = \frac{\tau_{01}^6 P^6 + \tau_{02}^5 P^5 + \tau_{03}^4 P^4 + \tau_{04}^3 P^3 + \tau_{05}^2 P^2 + \tau_{06} P + K_{H1}}{T_{01}^7 P^7 + T_{02}^6 P^6 + T_{03}^5 P^5 + T_{04}^4 P^4 + T_{05}^3 P^3 + T_{06}^2 P^2 + T_{07} P + K_C}; \quad (9)$$

Передаточная функция температуры по каналу солнечной радиации на входе - температура внутреннего воздуха на выходе:

$$W_{q^*}(P) = \frac{\tau_{11}^6 P^6 + \tau_{12}^5 P^5 + \tau_{13}^4 P^4 + \tau_{14}^3 P^3 + \tau_{15}^2 P^2 + \tau_{16} P + K_q}{T_{01}^7 P^7 + T_{02}^6 P^6 + T_{03}^5 P^5 + T_{04}^4 P^4 + T_{05}^3 P^3 + T_{06}^2 P^2 + T_{07} P + K_C}; \quad (10)$$

где $T_{01}$, $T_{02}$, $T_{03}$, $T_{04}$, $T_{05}$, $T_{06}$, $T_{07}$, $K_C$, $\tau_{01}$, $\tau_{02}$, $\tau_{03}$, $\tau_{04}$, $\tau_{05}$, $\tau_{06}$, $\tau_{11}$, $\tau_{12}$, $\tau_{13}$, $\tau_{14}$, $\tau_{15}$, $\tau_{16}$, $K_q$, $\tau_{22}$, $\tau_{23}$, $\tau_{24}$, $\tau_{25}$ и $\tau_{26}$ определяются однозначна через


ISSN 3030-3907

теплофизические и конструктивные параметры воздуха сооружения и аккумуляторов тепла. Аналитические_выражения для их определения приведены в работе [1,3,4].

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Полученные передаточные функции по каналам управления и возмущения в инженерном отношении являются громоздкими для использования практических целей. Поэтому, по результатам экспериментальных разгонных характеристик объекта управления передаточные функции по основным и перекрестным каналам аппроксимировали следующими передаточными функциями используя метод приведенные в работе [1,3].

$$W_{11}(p) = W_{\theta_P}(P) = \frac{T_2 P + 1}{T_0^2 P^2 + T_1 P + 1}; \qquad (11)$$

$$W_{22}(p) = W_{X_P}(P) = \frac{a(1 - T_3 P)}{T_{01}^2 P^2 + T_{11} P + 1}; \qquad (12)$$

$$W_{21}(p) = \frac{b_1}{(C_1 P + 1)(C_2 P + 1)}; \qquad (13)$$

$$W_{12}(p) = \frac{b_2}{(T_{02}^2 P^2 + T_{12} P + 1)}; \qquad (14)$$

Для конкретной [3,4] солнечной теплицы получены следующие значения коэффициентов передаточных функций:

$T_0^2 = 151;\quad T_1 = 10{,}22;\quad T_2 = 4{,}37;\quad a = 1{,}54;\quad T_{01}^2 = 1152;\quad T_{11} = 108;\quad T_3 = 141{,}6;$

$b_1 = 0{,}5;\quad C_1 = 96;\quad C_2 = 12;\quad b_2 = 1{,}54;\quad T_0^2 = 151;\quad T_{12} = 29{,}52;$

Данный метод позволяет получить динамические характеристики при проектировании и автоматического регулирования солнечной теплицы, а также является важным преимуществом для его практического использования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байрамов Р.Б., Рыбакова Л.Б. Микроклимат теплиц на солнечном обогреве. Ашхабад, 1983 г., 85 с.
2. Вардияшвили А.Б. Теплообмен и гидродинамика в комбинированных солнечных теплицах с субстратом и аккумулированием тепла. Ташкент, Фан, 1990 г., 194 с.
3. Исаев С.М. К вопросу аналитического определения удельного влагосодержания воздуха гелиотеплицы. Сб. научно-теоретической конференции в честь 600-летия Мирзо Улугбека. Карши. 1994 г. Т.4., 28-32 с.
4. Исаев С.М. Моделирование и управление температурно-влажностными режимами гелиотеплиц: Дисс..к.т.н. Т.: ТГТУ, 1997. с 126.


ISSN 3030-3907

5. Левенберг В.Д., Ткач М.Р., Гольстрем В.А. Аккумулирование тепла.- Киев : Тэхника, 1991. - 111 с.
6. Нерлин С.В., Чудновский А.Ф. Энерго- и массообмен в системе растение-почвы- воздух. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 352с.
7. Симою М.П. Определение коэффициентов передаточных функций линеаризованных звеньев систем регулирования. //Автоматика и телемеханика. 1957. №6.
8. Симою М.П. Определение передаточных функций по временным характеристикам линеаризованных систем. //Приборостроение. 1958. №3.
10. Хайриддинов Б.Э., Исаев С.М., Аширбаев М.У. Математическая модель блочной гелиотеплицы-сушилки с подпочвенным аккумулятором тепла. // Гелиотехника. 1990. №5. 80-83 с.
11. Чудновский А.Ф. Теплофизика почв. – М.: Наука, 1976. – с. 352


ISSN 3030-3907

# BUG‘LANISH ASOSIDAGI SOVITISH TIZIMINING FOTOELEKTRIK MODULLAR SAMARADORLIGIGA TA’SIRI TAHLILI

**Nasrullayev Yusuf Zokirovich**
*Qarshi davlat texnika universiteti, texnika fanlari falsafa doktori (PhD) dotsent*
**Nematov Alibek Xayitniyazovich**
*Qarshi davlat texnika universiteti, magistrant*
**Abdug‘aniyev Boburjon Akramjon o‘g‘li**
*Qarshi davlat texnika universiteti, magistrant*
*Qarshi, O‘zbekiston.*

**Annotatsiya.** Fotoelektrik modullarning energiya samaradorligi ularning ishchi haroratiga bevosita bog‘liq. Modul haroratining ortishi elektr tavsiflarining yomonlashishiga va ishlab chiqariladigan quvvatning kamayishiga olib keladi. Ushbu maqolada bug‘lanish asosidagi sovitish tizimining fotoelektrik modullar samaradorligiga ta’siri tahlil qilingan. Tadqiqot davomida quyosh nurlanish intensivligi, atrof-muhit harorati, shamol tezligi, namlik va changlanish kabi omillarning modul ishlashiga ta’siri o‘rganildi. Olingan natijalar bug‘lanish asosidagi sovitish tizimi fotoelektrik modullarning ishchi haroratini pasaytirishini, natijada kuchlanish, ishlab chiqarilayotgan quvvat va umumiy energiya samaradorligini oshirishini ko‘rsatdi. Taklif etilgan usul quyosh nurlanishi yuqori va issiq iqlim sharoitlariga ega hududlarda fotoelektrik tizimlar samaradorligini oshirish uchun samarali yechim hisoblanadi.

**Kalit so‘zlar:** fotoelektrik modullar, bug‘lanish asosidagi sovitish, modul harorati, quyosh nurlanishi, energiya samaradorligi, qayta tiklanuvchi energiya, fotoelektrik tizimlar.

**Abstract.** The efficiency of photovoltaic (PV) modules is strongly influenced by their operating temperature. An increase in module temperature leads to a decrease in electrical performance and power output. This study analyzes the impact of an evaporative cooling system on the efficiency of photovoltaic modules under varying environmental conditions. The effects of solar irradiance, ambient temperature, wind speed, humidity, and dust accumulation on module performance were examined. Experimental results show that evaporative cooling effectively reduces the operating temperature of PV modules, resulting in improved voltage characteristics, increased power generation, and higher overall efficiency. The proposed cooling method can enhance the reliability and energy performance of photovoltaic systems, particularly in regions with high solar radiation and elevated ambient temperatures.

**Keywords:** photovoltaic modules, evaporative cooling, module temperature, solar irradiance, energy efficiency, renewable energy, photovoltaic performance.

**Аннотация.** Эффективность фотоэлектрических модулей в значительной степени зависит от их рабочей температуры. Повышение температуры модуля приводит к снижению электрических характеристик и вырабатываемой мощности. В данной работе проведён анализ влияния испарительной системы охлаждения на эффективность фотоэлектрических модулей в различных условиях окружающей среды. Исследовано воздействие солнечной радиации, температуры окружающего воздуха, скорости ветра, влажности и запылённости на работу модулей. Результаты показали, что применение испарительного охлаждения позволяет снизить рабочую температуру фотоэлектрических модулей, повысить выходное напряжение, выработку электроэнергии и общий коэффициент полезного действия. Предложенный метод охлаждения может быть эффективно использован в регионах с высокой солнечной активностью и жарким климатом.

**Ключевые слова:** фотоэлектрические модули, испарительное охлаждение, температура модуля, солнечная радиация, энергоэффективность, возобновляемая энергетика, производительность фотоэлектрических систем.

**KIRISH.**

Fotoelektrik modullar quyosh energiyasini bevosita elektr energiyasiga aylantiruvchi asosiy qurilmalar bo‘lib, asosan kremniy yarimo‘tkazgich materiallardan tayyorlanadi. Ishlash jarayonida modul yuzasi quyosh nurlanishi ta’sirida qiziydi, natijada yarimo‘tkazgich xossalari yomonlashadi. Bu holat Fotoelektrik modullarning kuchlanishi (Voc) va tok kuchi energiya samaradorligi pasayishiga olib keladi. Fotoelektriok modullarning samaradorligi odatda past bo‘ladi, chunki tushayotgan quyosh energiyasining katta qismi elektr energiyasiga emas, balki issiqlikka aylanib ketadi. Bundan tashqari, ushbu past samaradorlik fotoelektrik modullarning ishlash harorati hosil bo‘layotgan issiqlik tufayli ortib borishi natijasida yanada kamayadi [1]. O‘rganilgan adabiyot tahlillarida, fotoelektrik modullarning ishchi haroratini har 1 °C ga oshishi ularning energiya samaradorligini o‘rtacha 0,5 % ga pasayishiga olib keladi [2]. Quyosh nurlanishidan olinadigan energiyaning sezilarli qismi fotoelektrik modullar tomonidan elektr energiyasiga aylantirilmasdan issiqlik energiyasiga aylanadi. Hosil bo‘lgan ortiqcha issiqlik esa asosan nurlanish va konveksiya jarayonlari orqali atrof-muhitga tarqaladi. Buning natijasida modullarning ishchi harorati ortib boradi, bu esa ularning elektr energiya ishlab chiqarish samaradorligini sezilarli darajada pasaytiradi. Yuqori haroratning uzoq muddatli ta’siri fotoelektrik modullar tarkibidagi materiallar xususiyatlarini yamonlashuviga olib keladi, xususan, yarimo‘tkazgich qatlamlar va himoya qoplamalarining fizik-kimyoviy xususiyatlari yomonlashadi. Bu holat modullarning xizmat muddatining

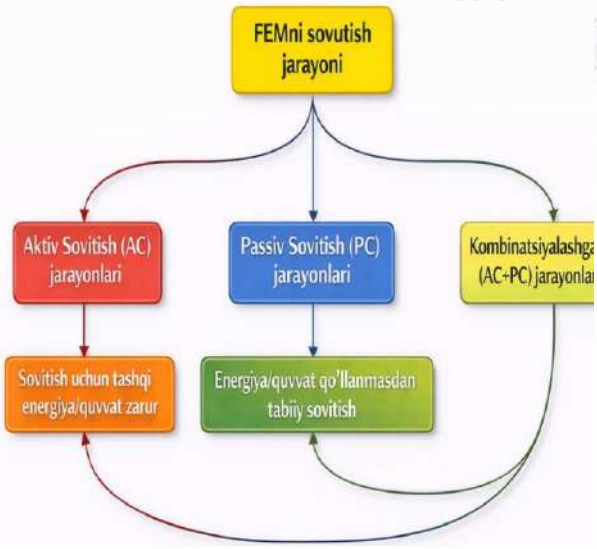

ISSN 3030-3907

qisqarishiga, ularning barqaror ishlash ko‘rsatkichlarining pasayishiga hamda umumiy iqtisodiy samaradorlikning kamayishiga olib keladi. Shu bilan birga, fotoelektrik modullarning energiya samaradorligiga ta’sir ko‘rsatuvchi turli atrof-muhit omillari quyosh nurlanish intensivligi, atrof-muhit harorati, shamol tezligi, changlanish darajasi va namlik o‘zgarishlari tahlil qilindi. Fotoelektrik modullarga bu omillarning o‘zaro ta’siri va ularning tizim samaradorligiga ta’siri 1-rasmda keltirilgan [3].

**TADQIQOT METODOLOGIYASI.** Fotoelektrik modullarga mos keladigan sovutish usuli bilan sovutish ushbu muammoni qisman bartaraf etishga yordam beradi.




**1-rasm. Fotoelektrik modullar energiya samaradorligiga ta’sir qiluvchi ekologik omillar [3]**

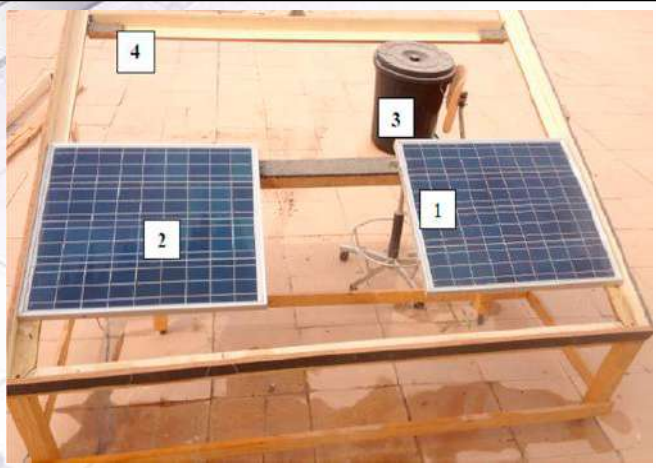



**2-rasm. Turli sovutish jarayonlarining sxematik diagrammasi [4]**

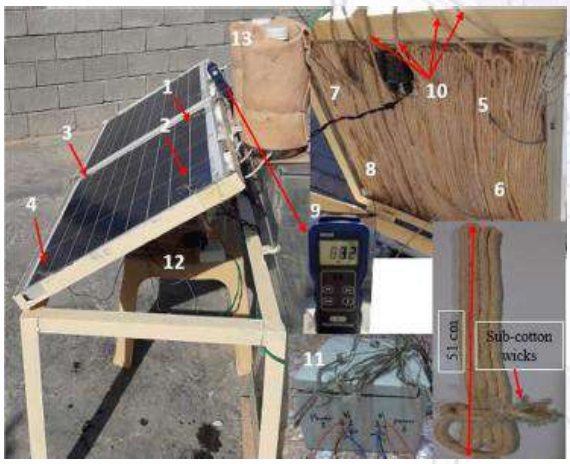
FEMni bug‘lanish asosida sovitish usulining samaradorligi eksperimental ravishda o‘rganildi. Tajriba jarayonida FEMning orqa yuzasi suv bilan namlanib, bug‘lanish natijasida issiqlik yutilishi hisobiga uning harorati pasaytirildi. Ishlab chiqilgan sodda qurilma ochiq havoda sinovdan o‘tkazildi. Olingan natijalar FEM haroratining 20°C dan ortiq pasayishini va elektr energiyasi ishlab chiqarish samaradorligining taxminan 14% ga oshishini ko‘rsatadi [5].

Fotoelektrik modulni pasiv sovitish usuli sifatida bug‘lanish orqali sovitish tadqiq qilindi: Fotoelektrik modul orqa qismiga suvga botirilgan paxta tolali iplar o‘rnatilib, modul harorati sezilarli darajada pasaytirildi. Olingan natijalar fotoelektrik modul haroratining 22% ga kamayishini, elektr quvvatining 16,3 Vt ga hamda nisbiy samaradorligining 53% ga oshishini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, bug‘lanish orqali sovitishda foydali elektr energiya ishlab chiqarilgan quvvatga teng bo‘lib, entropiya 14% ga kamayganligi 4-rasmda keltrilgan [6].


ISSN 3030-3907

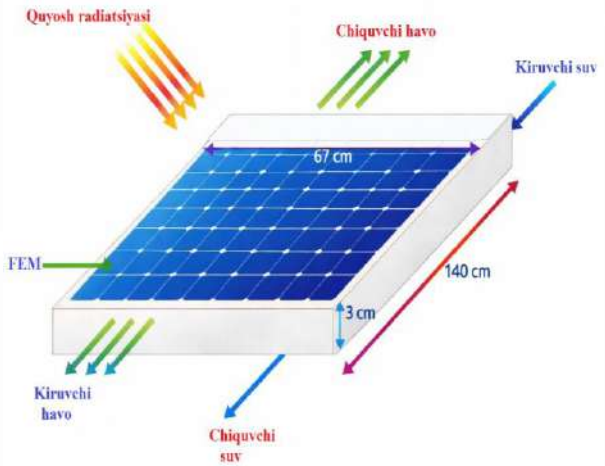



**3-rasm. Bug‘lanish asosida sovitiladigan FEM tizim [5]**

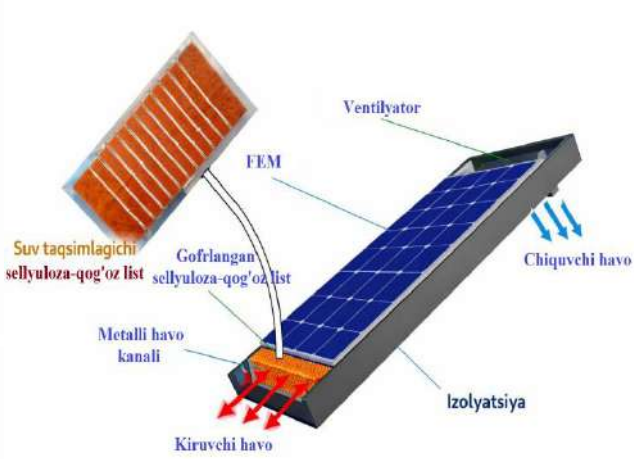



**4-rasm. Paxta tolali iplar yordamida FEMni passiv bug‘lanish orqali sovitish qurilmasi** [6]

Fotoelektrik modullarning samaradorligi atrof-muhit haroratining oshishi bilan pasayadi. Tadqiqotda FEMni bug‘lanish orqali sovitish usuli eksperimental va nazariy jihatdan o‘rganildi. Taklif etilgan tajriba qurilmasi sinovdan o‘tkazilib, model natijalari bilan mosligi aniqlandi. Natijada fotoelektrik modul harorati taxminan 10°C ga pasayib, elektr quvvati 5% ga oshdi va energiya ishlab chiqarish barqarorlashdi 5-rasm .




**5-rasm. Bug‘lanishli sovitish mexanizmi bilan jihozlangan fotoelektr modul tizimi** [7]




**6-rasm. Fotoelektrik modullar asosida ishlovchi bug‘lanishli sovitish tizimining sxemasi** [8]

Bug‘lanish orqali sovitish tizimi issiq iqlim sharoitida fotoelektrik modullarning energiya samaradorligini oshirish maqsadida tajribba qurilmasi sinovdan o‘tkazildi 6-rasm.

Tabiiy bug‘lanish bilan FEM harorati 2,79–3,98 °C ga pasaydi va samaradorlik 2,05–2,96% ga oshdi, majburiy bug‘lanishli sovutish tizimida esa harorat 5,78–8,44 °C ga pasayib, samaradorlik 3,77–5,10% ga oshishi kuzatildi.


ISSN 3030-3907

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, tabiiy bug‘lanish asosida fotoelektrik modul haroratini o‘rtacha 2,79–3,98 °C ga pasaydi va samaradorlik 2,05–2,96% ga oshdi, majburiy bug‘lanishli sovutish tizimida esa harorat 5,78–8,44 °C ga pasayib, samaradorlik 3,77–5,10% ga oshishi kuzatildi..

**XULOSA.** Bug‘lanish asosidagi sovitish tizimlari fotoelektrik modullarning ishchi haroratini pasaytirish orqali ularning energiya samaradorligini oshirishda samarali usullardan biri ekanligi aniqlandi. Tadqiqot jarayonida tabiiy havoli sovitish, majburiy havoli sovitish, suvli sovitish tizimlari, faza o‘zgaruvchi materiallar (PCM) asosidagi texnologiyalar, shaffof qoplamalar hamda bug‘lanish asosidagi sovitish qurilmalari tahlil qilindi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, ushbu usullar ichida bug‘lanish orqali sovitish tizimi yuqori samaradorlikka ega bo‘lib, modullar haroratini sezilarli darajada kamaytirdi. Fotoelektrik modullar haroratining pasayishi ularning chiqish quvvatini va tizim samaradorligini oshiradi va xizmat muddatini uzaytiradi. Iqtisodiy tahlillarda bug‘lanishli sovitish tizimlari kam energiya sarfi bilan yuqori natija berishi aniqlandi.

## FOYDALANGAN ADABIYOTLAR

1. Erdal Buyukbicakc., “Geographic and thermal impact on the performance of hybrid PV–TE energy systems,” *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–14, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-23850-x.
2. M. P. Rajakumar, S. Senthil Kumar, B. Srimanickam, S. Srividhya, K. Elangovan, Nandagopa Kaliappan, K. Kamakshi Priya., “Performance enhancement of photovoltaic thermal collectors using water based MnO2 nanofluids and machine learning models,” *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, p. 14, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-23505-x.
3. Olusola Bamisile., Caroline Acen., Dongsheng Cai., Qi Huang., Iain Staffell., “The environmental factors affecting solar photovoltaic output,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 18, no. 6, p. 4305, 2025, doi: 10.1016/j.rser.2024.115073.
4. Cheng Wang., Fumin Guo., Huijie Liu and Gang Wang., “A Comprehensive Review of Research Works on Cooling Methods for Solar Photovoltaic Panels,” *Energies*, vol. 18, no. 4, p. 4305, 2025, doi: https://doi.org/10.3390/en18164305.
5. Tej ., Zi_zak, Suzana Domjan, Sa_so Medved, Ciril Arkar., “Efficiency and sustainability assessment of evaporative cooling of photovoltaics,” *Energy*, vol. 254, p. 124260, 2022, doi: 10.1016/j.energy.2022.124260.
6. Mohammed Alktranee., Peter Bencs., “Effect of Evaporative Cooling on Photovoltaic Module Performance,” *Process Integr. Optim. Sustain.*, vol. 6, p. 2022, 2022, doi: 10.1007/s41660-022-00268-w.
7. Zeyad A. Haidar, Jamel Orfi and Zakariya Kaneesamkandi., “Photovoltaic Panels Temperature Regulation Using Evaporative Cooling Principle: Detailed Theoretical and Real Operating Conditions Experimental Approaches,” *Energies*,


ISSN 3030-3907

vol. 114, pp. 144–145, 2021, doi: 10.3390/en14010145.
8. Deyaa M. N., Mahmood Issam M., Ali Aljubury Najah M. L., Al Maimuri., Mudhar A., Al-Obaidi1., Farhan Lafta Rashid., Arman Ameen., Shaohua Dong, "Yasir MukhtarExperimental evaluation of a hybrid evaporative and Ground water cooling system for enhancing photovoltaic efficiency in arid climates," *Sci. Rep.*, vol. 2, pp. 306–312, 2024, doi: 10.1038/s41598-025-22704-w.

# PROSPECTS OF DECENTRALIZED DIRECT CURRENT POWER SUPPLY SYSTEMS WITH DISTRIBUTED SOLAR GENERATION

**Mirabbos Khidirov**

***Karshi State Technical University, Senior Lecturer***

**Abstract.** This study investigates the prospects of decentralized direct current (DC) power supply systems integrating distributed solar generation for autonomous and remote consumers. The research aims to improve power quality, enhance energy security, reduce greenhouse gas emissions, and decrease electricity generation costs through the adoption of DC distribution architectures. Mathematical modeling and simulation were performed using MATLAB/Simulink to analyze the operation of photovoltaic-diesel hybrid power systems under varying load and solar irradiation conditions. A simulation model was developed to determine the optimal technical and economic parameters of the system. The results demonstrate that decentralized DC power supply systems can reduce energy conversion losses, improve the utilization of renewable energy resources, and increase the reliability of autonomous power supply. The proposed approach contributes to the development of sustainable and environmentally friendly energy systems for distributed generation applications.

**Keywords:** decentralized DC power systems, distributed solar generation, photovoltaic-diesel systems, renewable energy, microgrids, energy efficiency.

**Аннотация.** В данной работе рассматриваются перспективы децентрализованных систем электроснабжения постоянного тока с интеграцией распределённой солнечной генерации для автономных и удалённых потребителей. Цель исследования заключается в повышении качества электрической энергии, укреплении энергетической безопасности, снижении выбросов парниковых газов и уменьшении стоимости производства электроэнергии за счёт применения систем распределения постоянного тока. Для анализа режимов работы гибридных фотоэлектрическо-дизельных энергосистем использованы методы математического моделирования и компьютерной симуляции в среде MATLAB/Simulink. Разработана имитационная модель, позволяющая определять оптимальные технические и экономические параметры системы при изменяющихся нагрузках и уровнях солнечной радиации. Результаты исследования показывают, что децентрализованные системы электроснабжения постоянного тока способствуют снижению потерь энергии, повышению эффективности использования возобновляемых источников энергии и надёжности автономного электроснабжения.



ISSN 3030-3907

**Ключевые слова:** децентрализованные системы постоянного тока, распределённая солнечная генерация, фотоэлектрическо-дизельные системы, возобновляемая энергетика, микросети, энергоэффективность.

**Annotatsiya.** Mazkur maqolada avtonom va uzoq hududlardagi iste’molchilar uchun taqsimlangan quyosh generatsiyasiga ega markazlashmagan o‘zgarmas tok elektr ta’minoti tizimlarining istiqbollari o‘rganilgan. Tadqiqotning maqsadi o‘zgarmas tok taqsimlash tizimlarini qo‘llash orqali elektr energiyasi sifatini yaxshilash, energetik xavfsizlikni oshirish, issiqxona gazlari chiqindilarini kamaytirish hamda elektr energiyasi ishlab chiqarish xarajatlarini pasaytirishdan iborat. Fotoelektrik-dizel gibrid energiya tizimlarining ishlash rejimlarini tahlil qilish uchun MATLAB/Simulink muhitida matematik modellashtirish va kompyuter simulyatsiyasi usullaridan foydalanildi. O‘zgaruvchan yuklama va quyosh nurlanishi sharoitlarida tizimning optimal texnik-iqtisodiy parametrlarini aniqlash imkonini beruvchi model ishlab chiqildi. Tadqiqot natijalari markazlashmagan o‘zgarmas tok elektr ta’minoti tizimlari energiya yo‘qotishlarini kamaytirishi, qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish samaradorligini oshirishi hamda avtonom energiya ta’minoti ishonchliligini yaxshilashini ko‘rsatdi.

**Kalit so‘zlar:** markazlashmagan o‘zgarmas tok tizimlari, taqsimlangan quyosh generatsiyasi, fotoelektrik-dizel tizimlari, qayta tiklanuvchi energiya manbalari, mikrogridlar, energiya samaradorligi.

## INTRODUCTION.

Remote and sparsely populated regions of Russia continue to experience energy instability due to the slow expansion of the power system caused by low economic activity in these areas. Such small energy hubs, formed by rural settlements, have highly complex logistics for the transportation of hydrocarbon fuels. These regions primarily include Siberia, the Far East, and the Far North of the Russian Federation. A distinctive feature of these regions is the low population density across vast territories with limited industrial development.

Due to remoteness, low and uneven population distribution, combined with low household energy consumption (installed capacity ranging from tens to hundreds of kilowatts depending on the number of residents), electricity supply for such settlements is possible only through isolated systems with autonomous energy sources, usually diesel generators requiring expensive diesel fuel reserves. On the other hand, modern microgeneration systems with intelligent control architecture are capable of providing reliable electricity supply to decentralized consumers while reducing both direct and indirect fuel dependence, including fuel transportation, processing, delivery, and storage [1].

Microgeneration systems, under the growing attractiveness of integrating renewable energy sources (RES), have become a justified alternative for the


ISSN 3030-3907

development of decentralized power systems. This allows households, municipalities, and energy stakeholders to make modest initial investments in their energy systems and later modify them according to changing economic conditions and electricity demand. The authors note that such microgrids within Russia's decentralized infrastructure are mainly used for supplying electricity to agricultural, mining, and raw-material enterprises, including reindeer herding, fur farming, livestock breeding, fishing, agriculture, logging, woodworking, ore and precious metal mining, and others.

Electricity supply for such consumers based on renewable energy sources has already been implemented in the Russian Federation, as confirmed by recent studies [2–4]. The construction and commissioning of photovoltaic power plants (PVPPs) and wind power plants (WPPs) are no longer considered unusual. The authors prepared a table summarizing the installed capacities of the Unified Energy System of the Russian Federation (UES of Russia) [5].

**Table 1.**

**Installed capacity structure of the United Energy System of Russia Installed Capacity and Share in UES (2015–2018)**

| № | 2015 Capacity (MW) | 2015 Share (%) | 2016 Capacity (MW) | 2016 Share (%) | 2017 Capacity (MW) | 2017 Share (%) | 2018 Capacity (MW) | 2018 Share (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 160,233 | 68.1 | 160,242 | 67.8 | 162,779 | 67.9 | 164,586 | 67.7 |
| 2 | 47,855 | 20.3 | 48,085 | 20.3 | 48,449 | 20.2 | 48,506 | 19.9 |
| 3 | 27,146 | 11.5 | 27,929 | 11.8 | 27,914 | 11.6 | 29,132 | 12.0 |
| 4 | 60.2 | 0.03 | 75.2 | 0.03 | 534.2 | 0.22 | 834.2 | 0.4 |
| 5 | 10.9 | 0.01 | 10.9 | 0.01 | 134.4 | 0.06 | 183.9 | 0.08 |

As shown in Table 1, where 1 represents thermal power plants (TPPs) based on coal, natural gas, fuel oil, etc., 2 – hydropower plants (HPPs), 3 – nuclear power plants (NPPs), and 4 and 5 – photovoltaic (PV) and wind power plants (WPP), the share of renewable energy sources in the Unified Energy System (UES) of the Russian Federation remains relatively small, although their growth dynamics are clearly increasing.

The development of renewable energy generation should primarily be justified by socio-economic indicators in sparsely populated regions, including energy security, environmental decarbonization, power quality, reliability of electricity supply, and quality of life. These indicators should be supported not only by legal frameworks but also by improving the architecture of autonomous power supply systems (APSS).


ISSN 3030-3907

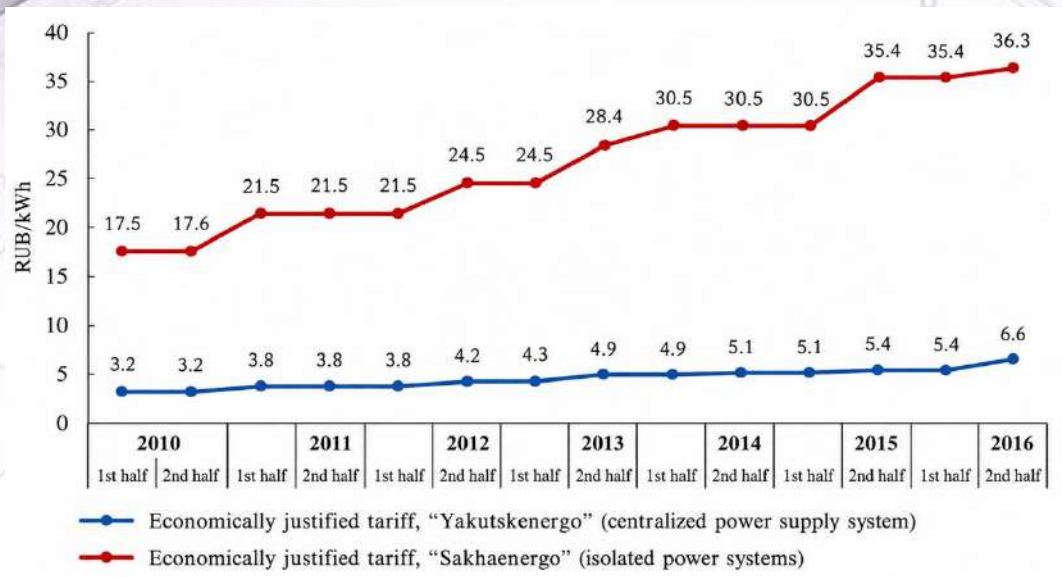



**Fig. 1. Economically sound tariff in centralized and decentralized systems as exemplified by the Republic of Sakha (Yakutia) [10]**

This study presents research results on photo-diesel autonomous power supply systems operating in AC and DC configurations. It focuses on a comparative analysis of decentralized photo-diesel power plants (PDPPs) based on AC and DC systems, considering energy security, capacity utilization factor, power quality, environmental impact, and economic efficiency.

Recent studies [6–8] identify three main approaches to electrifying decentralized consumers: expansion of centralized grids (over 2.7 million km in Russia), development of microgrids, and construction or improvement of autonomous power systems.

Decentralized electrification problems are not unique to Russia. According to the International Energy Agency (IEA), out of 588 million people living in Sub-Saharan Africa, only 30% can be economically efficiently electrified through centralized grid expansion. The remaining 70% are more effectively served by microgrids (52.5%) and autonomous power supply systems (17.5%) [9].

Comparing global experience with Russia, only 14% of the population lives in 67% of the country's decentralized territory. This makes centralized electrification economically inefficient due to high transmission losses and mismatch between grid voltage levels and power demand caused by long distances and low load density [11].

Diesel power plants (DPPs) are the most common solution for micro-systems in remote areas. Their modular structure allows phased implementation and flexible adaptation to demand. However, electricity from DPPs remains very expensive due to fuel transportation costs. As shown in Fig. 1, in Yakutia prices range from 17.6 to 36.3 RUB/kWh, compared to 3.2 to 6.6 RUB/kWh in centralized systems.


ISSN 3030-3907

To reduce fuel dependency, hybrid renewable systems such as solar-diesel plants are being developed. In addition, diesel fuel prices continue to rise in Russia due to both market factors and pricing policies of major oil companies such as Rosneft, Lukoil, and Gazprom Neft, which also contribute to regional price disparities [12, 13].

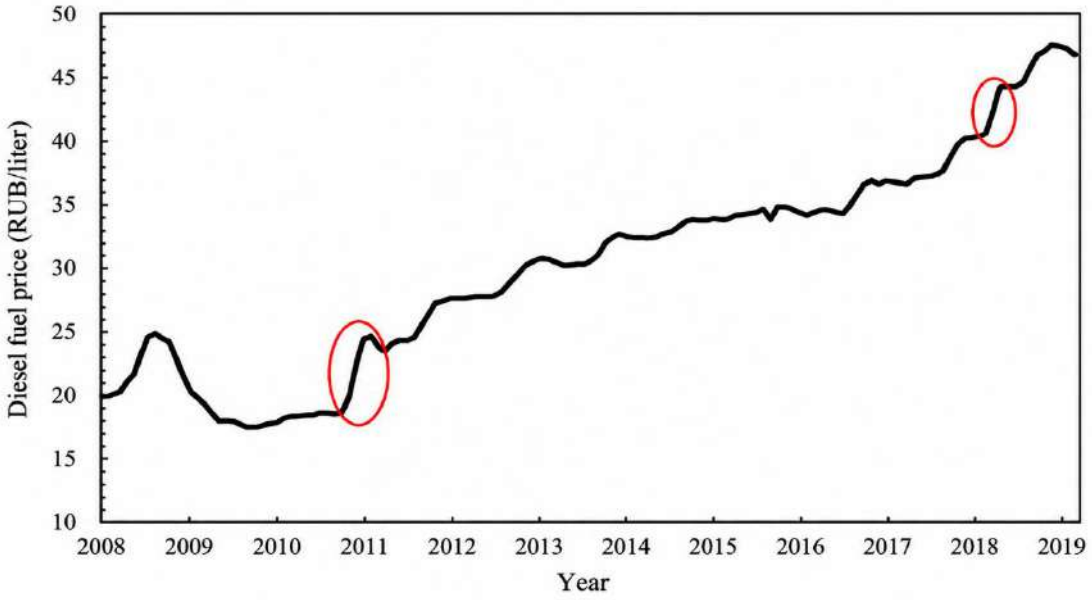



**Fig. 2. Dynamics of diesel fuel prices in Russia from 2008 to 2019 [12, 13]**

The recent increase in diesel fuel prices, which began in 2018, was caused by changes in the value-added tax (VAT), ranging from 0.6% to 1.7% depending on the fuel supplier. The composition and nature of local energy resources, the aggregate power demand, the configuration of the energy system, the cost of energy equipment, and the flexibility of microgeneration systems can provide viable solutions for the electrification of decentralized regions.

In particular, the declining costs of solar panels and other renewable energy technologies, which are comparable to the rate of increase in diesel fuel prices, create an important challenge in comparing alternative power supply options based on generating sources of different physical nature. According to estimates presented in [9], by 2030, approximately 400 TW of installed microgeneration capacity (including electric vehicles) will be deployed, accounting for about 40% of new energy sources required to achieve universal electrification.

**Analysis of DC Microgrids.**

The residential and community sector requires electricity primarily to power small household appliances such as lighting devices, smartphone chargers, small television sets, stereo systems, personal computers, and other similar equipment. As shown in Fig. 3, most general-purpose household appliances utilize electricity in either direct current (DC), alternating current (AC), or a combination of both forms. According to [14], up to 76% of the energy demands of the residential sector


ISSN 3030-3907

can be supplied through DC networks, where the majority of electricity consumption is associated with lighting systems and devices operating at nominal voltages of 12 V and 24 V, which are particularly attractive from an electrical safety perspective.

Therefore, it is reasonable to anticipate the development of decentralized DC microgrids based on local renewable energy sources, particularly photovoltaic power plants, which generate and store electrical energy in the form of direct current.

Microgrids are locally confined and independently controlled electrical networks in which a distributed architecture enables the supply of uneven electrical loads from distributed energy resources [15]. Compared with other electrification options, microgrids offer numerous advantages that make them attractive to investors. Unlike centralized power systems, they require lower installation costs, have shorter deployment periods (even under pessimistic scenarios, the installation of photovoltaic systems typically does not exceed one year), and can be designed to match local energy requirements. Furthermore, their capacity can be expanded in response to increasing demand or technological advancements.

In addition to supplying electricity to households and small businesses, microgrids have many other potential applications, as summarized in Table 2.

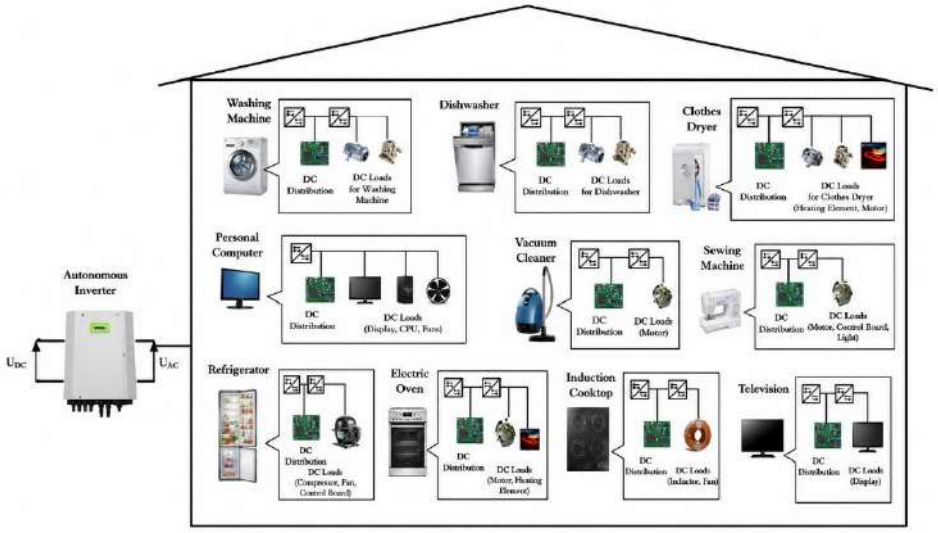



**Fig. 3. Composition of the electrical loads in a residential house [7]**

According to the data presented in [9, 15] and the information summarized in Table 2, microgrids can be classified into two main categories: microgrids with capacities below 10 kW and those ranging from 10 kW to 10 MW. Regardless of their installed capacity, every microgrid consists of an electricity generation system and a power distribution system.

The electricity generation system, in turn, comprises generation and energy storage subsystems. Power distribution systems with capacities up to 100 kW


ISSN 3030-3907

generally include distribution and consumption subsystems. The generation subsystem incorporates energy generators, voltage stabilization and conversion equipment, and power management technologies. Distribution subsystems consist of networks that deliver electricity to end users through cable lines (CLs) or overhead transmission lines (OHLs). Consumption subsystems include all equipment located on the consumer side of the point of common coupling, such as metering devices, electrical wiring, grounding systems, and electrical loads.

Microgrids can be implemented using direct current (DC), alternating current (AC), or hybrid AC/DC architectures. Importantly, DC networks eliminate many of the energy conversion stages required in AC systems, thereby improving overall techno-economic efficiency. Traditionally, AC systems have provided efficient voltage transformation and high-voltage power transmission over long distances. However, recent technological advances have led to the development of highly efficient AC/DC and DC/AC power converters, enabling efficient power transmission not only through AC systems but also through DC networks [15, 16].

Therefore, according to the authors, DC power distribution networks offer several significant advantages:

• Higher energy efficiency due to reduced conversion losses. According to [16], nearly 30% of AC power is processed through power electronic converters (inverters), with energy losses ranging from 10% to 25%.

• DC systems are inherently modular and scalable compared to AC systems. This characteristic results from the simpler control of DC converters, providing greater flexibility in system design and expansion and enabling more efficient investment management.

• DC systems offer higher transmission capacity than conventional AC systems, primarily because reactive power is absent in DC networks. Furthermore, DC system components are generally more compact than their AC counterparts due to the absence of frequency-dependent constraints.

• Easier integration of intermittent energy resources without the need for mutual synchronization. This feature enhances system resilience and operational reliability under both internal and external disturbances.

• Most distributed renewable energy sources and electrical energy storage devices inherently generate or store electricity in DC form, making DC-based architectures a natural and efficient solution that minimizes additional conversion stages.

• The majority of modern electrical loads require DC power supplies, further supporting the adoption of DC microgrids.

• Growing interest from the energy market in DC microgrids. DC microgrids integrated with distributed photovoltaic power plants can provide substantial


ISSN 3030-3907

economic benefits, including reduced investment and operating costs, lower power losses, improved power quality, fuel savings, decreased greenhouse gas emissions, and a reduction in the levelized cost of electricity (LCOE).

**RESEARCH RESULTS.**

In this section, the authors compare the identified DC and AC microgrid configurations through simulation modeling. The developed simulation model enables the analysis of operating modes of autonomous AC and DC power supply systems within a predefined time scale, where one day of real operation corresponds to 10 seconds of simulation time.

The economic feasibility assessment of the project is based on the maximum service life of the power generation equipment, particularly photovoltaic (PV) modules, which is assumed to be 20 years. The service life of the diesel power plant (DPP) is determined by the total operating hours of the diesel generators. Considering the availability of reserve generators within the DPP, actual operating conditions, optimal loading levels, scheduled maintenance, and repair activities, the operational lifetime of the diesel power plant is assumed to be comparable to that of the photovoltaic system.

Based on these assumptions and the data presented in Table 3, the main techno-economic parameters of the power supply systems were calculated using the MS Excel software package. The obtained results are summarized in Table 4.

**Table 4.**

**Simulation results of the technical and economic indicators of the options of the photo-diesel plant configuration**

| Number | Investments, ths. rub. | Mitigation of atmospheric pollutants, t/year | Decreasing of tariff, % | NPV, ths. rub. | ICUF, % |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 12 000 | 1,1 | 9,3 | 8 000 | 17,7 |
| **2** | 21 000 | 5,5 | 17 | 10 200 | 22 |

**CONCLUSION.**

This study compares photovoltaic–diesel power supply systems based on direct current (DC) and alternating current (AC) architectures for the electrification of remote rural areas in terms of cost, efficiency, and energy security.

The results demonstrate that power losses in distribution networks and energy conversion losses constitute a significant share of the operational costs of microgrid systems. By transitioning from an AC-based network to a DC-based


ISSN 3030-3907

network, power losses in the distribution system of the investigated case were reduced by 6.8%, while voltage drop was decreased by 3%.

Due to the reduction in the number of energy conversion stages and the absence of reactive power in DC networks, photovoltaic–diesel systems based on DC architecture represent an economically promising solution for the electrification of remote regions. The economic performance of the diesel power plant is enhanced through optimal loading achieved by intelligent control of generation units and battery energy storage systems (BESS). This control strategy reduced the cost of electricity generation from 40.7 RUB/kWh in the AC configuration to 37.3 RUB/kWh in the DC configuration, resulting in an efficiency improvement of 8.4%.

Optimization of the diesel power plant operating mode also contributed to a reduction in harmful atmospheric emissions, including carbon dioxide ($CO_2$), nitrogen dioxide ($NO_2$), and hydrocarbon compounds. The higher level of energy security offered by DC systems, together with their architectural flexibility and improved techno-economic performance, makes them an attractive option for owners of diesel power plants in municipalities and for other potential investors.

The findings further highlight the fundamental differences in maintaining the stability of electricity supply in AC and DC systems. The AC network configuration is directly dependent on the operational status of a reference power source through a grid-connected inverter. Consequently, this dependency represents a significant vulnerability of AC systems employing grid-tied inverters. Considering the conclusions presented in [29], concerns regarding energy security may shift consumer preferences toward DC-based systems, particularly among users seeking greater reliability and security of electricity supply.

Finally, the authors identify potential directions for the further development and improvement of DC power systems, including the application of inverter-based diesel power plants with variable rotational speed and the integration of hybrid energy storage systems for peak power compensation.

## REFERENCES

1. Лукутин Б.В. Интеллектуальные системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 115 с.
2. Драчѐв В. Три солнечные электростанции общей мощностью 45 МВт запустили в Бурятии // ТАСС. 2019. URL: https://tass.ru/ekonomika/7056227 (дата обращения 14.12.2019).
3. Шамуков Р. Две солнечные электростанции запустили в Чите // ТАСС. 2019. URL: https://tass.ru/ekonomika/7065192 (дата обращения 14.12.2019).


ISSN 3030-3907

4. Интернет-портал общества ТЭК. В арктическом поселке Тикси смонтировали первую ветроустановку // EnergyLand.info. 2018. URL: http://energyland.info/news-showtek-alternate-175862 (дата обращения 14.12.2019).
5. Марцинкевич Б. Развитие ВИЭ энергетики в России // Геоэнергетика.ru. 2019. URL: http://geoenergetics.ru/2019/09/27/ razvitie-vie-energetiki-v-rossii/ (дата обращения 14.12.2019).
6. Opiyo N.N. A comparison of DC- versus AC-based minigrids for cost-effective electrification of rural developing communities // Energy Reports Journal. – 2019. – V. 5. – P. 398–408. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.04.001.
7. AC and DC technology in microgrids: a review / E. Planas, J. Andreu, J.I. Gárate, I.M. Alegría, E. Ibarra // Renewable and Sustainable Energy Reviews Journal. – 2015. – V. 43. – P. 726–449. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.067.
8. Суржикова О.А. Проблемы и основные направления развития электроснабжения удаленных и малонаселенных потребителей России // Вестник науки Сибири. – 2012. – № 3 (4). – С. 103–108. URL: http://earchive.tpu.ru/handle/11683/16065 (дата обращения 14.12.2019).
9. World Energy Outlook // IEA. 2018. URL: https://www.iea.org/ reports/world-energy-outlook-2018 (дата обращения 14.12.2019).
10. Энергоснабжение изолированных территорий в России и мире / В. Гимади, А. Курдин, Д. Нестер, А. Амирагян, О. Колобов, С. Пих, И. Поминова, А. Мартынюк, А. Кутузова // Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. Энергетический бюллетень. – 2017. – № 51. – С. 14–18.
11. Пятков П.Ю. Потери мощности и электроэнергии в электрических сетях. – Екатеринбург: Изд-во: УрГУПС, 2009. – 36 с.
12. Цены на солярку: полный абсурд и наглость // Авто Mail.ru. 2011. URL: https://auto.mail.ru/article/34055-ceny_na_solyarku_ polnyi_absurd_i_naglost/ (дата обращения 14.12.2019).
13. Мордюшенко О. Дизель разогревает цены // Газета КОММЕРСАНТЪ. 2017. URL: https://www.kommersant.ru/doc/3408522 (дата обращения 14.12.2019).
14. Fairley P. DC versus AC: the second war of currents has already begun [in my view] // IEEE Power and Energy Magazine. – 2012. – V. 10 (6). – P. 102–104.
15. Opiyo N.N. Droop control methods for PV-based minigrids with different line resistances and impedances // Sustainable Energy Grids Netw. – 2018. – V. 9 (6). – P. 101–112.


ISSN 3030-3907

# HAVONING CHANGLANGANLIK DARAJASINI OPTIK USUL YORDAMIDA TAHLIL QILISH

**Maxmudov M.I.**
*Buxoro davlat texnika universiteti*
**Nurov S.S.**
*Buxoro davlat texnika universiteti*
**Doniyorov F.O.**
*Buxoro davlat texnika universiteti*

**Annotasiya.** Mazkur ilmiy tezisda havoning changlanganlik darajasini optik usul yordamida aniqlashning nazariy va amaliy jihatlari o‘rganilgan. Tadqiqot davomida aerozol va chang zarrachalarining yorug‘lik bilan o‘zaro ta’siri, optik sochilish qonuniyatlari hamda lazerli optik monitoring tizimlarining ishlash prinsiplari chuqur tahlil qilindi. Optik o‘lchash tizimlarining ekologik monitoringdagi o‘rni, ularning sezgirligi, tezkorligi va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlariga integratsiya qilish imkoniyatlari tadqiq etildi. Eksperimental tadqiqotlar asosida chang konsentratsiyasi va optik signal intensivligi orasidagi matematik bog‘liqlik aniqlandi. Tadqiqot natijalari ekologik monitoring tizimlari, sanoat korxonalari, shaxtalar va aqlli sensor platformalarida qo‘llanishi mumkinligi bilan ahamiyatlidir.

**Kalit so‘zlar:** atmosfera havosi, changlanganlik darajasi, aerozol, optik usul, yorug‘lik sochilishi, Rayleigh sochilishi, Mie sochilishi, lazerli sensor, fotodatchik, ekologik monitoring, chang konsentratsiyasi, optik signal, PM2.5, PM10, monitoring tizimi, optik o‘lchash, mikrokontroller, aerozol monitoringi, real vaqt nazorati, ekologik xavfsizlik.

**Аннотация**. В данной научной диссертации исследованы теоретические и практические аспекты определения степени запыленности воздуха оптическим методом. В ходе исследования был проведен углубленный анализ взаимодействия частиц аэрозоля и пыли со светом, закономерностей оптического рассеяния и принципов работы лазерно-оптических систем мониторинга. Исследована роль оптических измерительных систем в мониторинге окружающей среды, их чувствительность, быстродействие и возможности интеграции в автоматизированные системы управления. На основе экспериментальных исследований выявлена математическая зависимость между концентрацией пыли и интенсивностью оптического сигнала. Результаты исследования значительны тем, что их можно применять в системах экологического мониторинга, промышленных предприятиях, шахтах и интеллектуальных сенсорных платформах.

**Ключевые слова:** атмосферный воздух, уровень запыленности, аэрозоль, оптический метод, рассеяние света, рассеяние Рэлея, рассеяние Mie,

лазерный датчик, фотодатчик, мониторинг окружающей среды, концентрация пыли, оптический сигнал, PM2, 5, PM10, система мониторинга, оптические измерения, микроконтроллер, мониторинг аэрозолей, мониторинг в реальном времени, экологическая безопасность.

**Annotation**. This scientific thesis studied the theoretical and practical aspects of determining the degree of pollination of air using an optical method. During the study, an in-depth analysis of the interaction of aerosol and dust particles with light, the laws of optical scattering and the principles of operation of laser optical monitoring systems was carried out. The role of optical measurement systems in environmental monitoring, their sensitivity, agility and the possibilities of integration into automated control systems have been researched. Based on experimental studies, a mathematical relationship between dust concentration and optical signal intensity was established. The results of the study are significant in that they can be used in environmental monitoring systems, industrial enterprises, shafts and smart sensor platforms.

**Keywords:** atmospheric air, pollination rate, aerosol, optical method, light scattering, Rayleigh scattering, Mie scattering, laser sensor, photodatchic, environmental monitoring, dust concentration, optical signal, PM2.5, PM10, monitoring system, optical measurement, microcontroller, aerosol monitoring, real-time control, environmental safety.

**Kirish.**

Atmosfera havosining ifloslanishi zamonaviy ekologiyaning eng dolzarb muammolaridan biri hisoblanadi. Sanoat korxonalari, issiqlik elektr stansiyalari, transport vositalari va qurilish maydonlaridan ajralib chiqayotgan chang va aerozol zarrachalari atmosfera sifatiga salbiy ta’sir ko‘rsatmoqda. Ayniqsa PM2.5 va PM10 turidagi mikrozarralar inson organizmiga chuqur kirib borib, nafas olish tizimi va yurak-qon tomir kasalliklarini keltirib chiqaradi.

Hozirgi vaqtda ekologik monitoring tizimlariga bo‘lgan talab ortib bormoqda. Shu sababli atmosfera havosidagi chang konsentratsiyasini real vaqt rejimida nazorat qilish muhim ilmiy va amaliy masala hisoblanadi. An’anaviy gravimetrik usullar yuqori aniqlikka ega bo‘lsa ham, ular katta vaqt talab qiladi va doimiy monitoringni ta’minlay olmaydi. Optik usullar esa yorug‘likning chang zarrachalarida sochilishi va yutilishi hodisalariga asoslanib ishlaydi. Ushbu usullar yuqori sezgirlik, tezkorlik va avtomatlashtirish imkoniyatlariga ega. Ayniqsa lazerli optik sensorlar yordamida havodagi aerozol konsentratsiyasini yuqori aniqlikda aniqlash mumkin. Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi havoning changlanganlik darajasini optik usul asosida tahlil qilish, optik monitoring tizimining strukturaviy modelini ishlab chiqish va optik signalning chang konsentratsiyasiga bog‘liqligini tadqiq etishdan iborat.


ISSN 3030-3907

Xulosa qilib aytganda, havoning changlanganlik darajasini aniqlashda optik usullar yuqori tezkorlik, avtomatlashtirish imkoniyati va real vaqt monitoringi kabi muhim afzalliklarga ega. Shu bilan birga, tashqi muhit omillari, zarrachalarning optik xususiyatlari va kalibrlash muammolari ushbu usullarning asosiy cheklovlari hisoblanadi. Optik chang o‘lchov texnologiyalarini takomillashtirish, xususan, kompensatsiya algoritmlari va ko‘pkanalli o‘lchov usullarini joriy etish orqali ularning aniqligi va ishonchliligini yanada oshirish mumkin.

**ADABIYOTLAR TAHLILI.** Havoning changlanganlik darajasini optik usul yordamida aniqlash bo‘yicha ko‘plab ilmiy tadqiqotlar olib borilgan. Born va Wolf tomonidan ishlab chiqilgan optika nazariyasi yorug‘likning modda bilan o‘zaro ta’sirini chuqur tushuntirib beradi. Ularning tadqiqotlari optik sensor tizimlarining nazariy asoslarini shakllantirishda muhim rol o‘ynagan. Hinds tomonidan ishlab chiqilgan “Aerosol Technology” asarida aerozol zarrachalarining fizik xususiyatlari va ularni o‘lchash usullari batafsil yoritilgan. Ushbu tadqiqotlarda aerozol zarrachalarining diametri, konsentratsiyasi va optik xususiyatlari orasidagi bog‘liqlik tahlil qilingan.

Rayleigh va Mie nazariyalari yorug‘likning zarrachalarda sochilish mexanizmlarini tushuntirib beradi. Rayleigh nazariyasiga ko‘ra kichik o‘lchamdagi zarrachalar yorug‘likni kuchli sochadi, Mie nazariyasi esa katta zarrachalarning optik xatti-harakatlarini tavsiflaydi. Zamonaviy ilmiy ishlarda lazerli optik sensorlardan foydalanish orqali PM2.5 va PM10 zarrachalarini aniqlashning yuqori samaradorligi qayd etilgan. IoT (Internet of Things – Aqilli qurilmalar tarmog‘i) va sun’iy intellekt texnologiyalarining rivojlanishi natijasida ekologik monitoring tizimlarining aniqligi sezilarli darajada oshmoqda.

**NAZARIY ASOSLAR.** Optik monitoring tizimlarining ishlash prinsipi yorug‘likning chang zarrachalarida sochilishi hodisasiga asoslanadi. Lazer manbaidan chiqayotgan nur changli muhit orqali o‘tganda zarrachalar bilan to‘qnashadi va turli yo‘nalishlarda sochiladi. Sochilgan yorug‘lik intensivligi zarrachalar soniga, diametriga va optik xususiyatlariga bog‘liq bo‘ladi. Tizim tarkibiga lazer manbai, changli havo kamerasi, fotodatchiklar, ADC moduli va mikrokontroller kiradi. Fotodatchiklar yorug‘lik intensivligini elektr signaliga aylantiradi. ADC moduli analog signalni raqamlashtirib, mikrokontroller orqali monitoring tizimiga uzatadi. Ushbu usulning asosiy afzalliklari quyidagilardan iborat: Kontaktsiz o‘lchash, Yuqori sezgirlik, Real vaqt monitoring, Avtomatlashtirish imkoniyati, Energiya sarfining kamligi.

**MATEMATIK MODEL.**

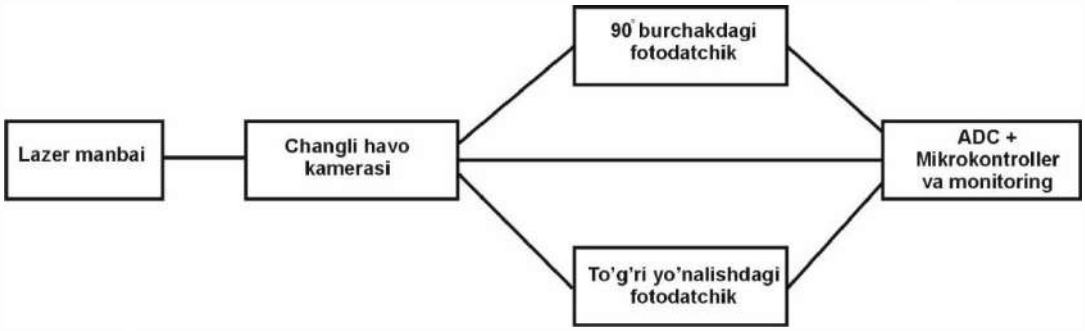
Optik signal intensivligi va chang konsentratsiyasi orasidagi bog‘liqlik quyidagi tenglama yordamida ifodalanadi:

$$I = k \cdot C + I_0$$


ISSN 3030-3907

Bu yerda:
I – optik signal intensivligi;
C – chang konsentratsiyasi;
k – kalibrlash koeffitsienti;
$I_0$ – fon signali.

Mazkur tenglama optik monitoring tizimining asosiy matematik modelini ifodalaydi. Chang konsentratsiyasi oshishi bilan fotodatchik qayd etadigan signal intensivligi ham ortadi. Kalibrlash koeffitsienti tizimning sezgirligini belgilovchi muhim parametr hisoblanadi. Eksperimental natijalarga ko‘ra, optik signal va chang konsentratsiyasi orasidagi bog‘liqlik ma’lum diapazonda chiziqli xarakterga ega. Bu esa optik usulning yuqori aniqlik bilan ishlashini ko‘rsatadi. Matematik model asosida sensor tizimining sezgirligi, o‘lchash xatoligi va dinamik diapazoni baholanishi mumkin. Optik monitoring tizimlarida filtratsiya algoritmlaridan foydalanish o‘lchash aniqligini oshiradi. Ayniqsa, tashqi yorug‘lik shovqinlarini kamaytirish orqali tizimning ishonchliligi sezilarli ravishda ortadi.



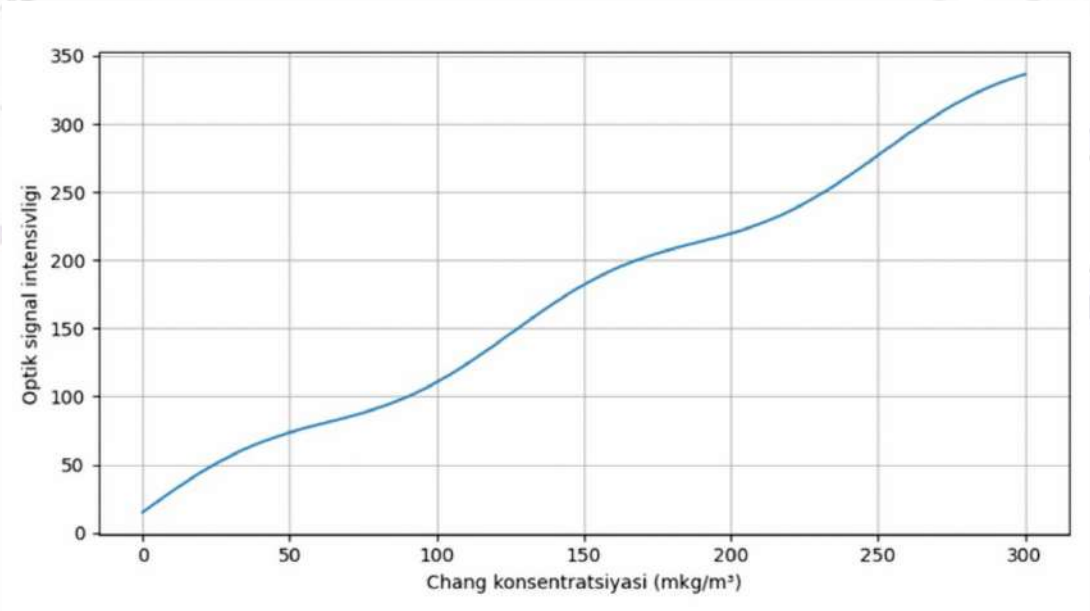

**1-sxema. Optik chang monitoring tizimining strukturaviy sxemasi**

Yuqoridagi sxemada optik chang monitoring tizimining asosiy elementlari ko‘rsatilgan. Lazer manbai orqali hosil qilingan yorug‘lik nuri changli havo kamerasi orqali uzatiladi. Zarrachalar tomonidan sochilgan yorug‘lik 90° burchakdagi va to‘g‘ri yo‘nalishdagi fotodatchiklar tomonidan qayd etiladi. Fotodatchiklardan olingan signal ADC moduli orqali raqamlashtiriladi va mikrokontrollerga uzatiladi. Mikrokontroller signalni qayta ishlab, chang konsentratsiyasini hisoblaydi hamda monitoring tizimiga uzatadi. Ushbu struktura real vaqt rejimida monitoring olib borish imkonini beradi.

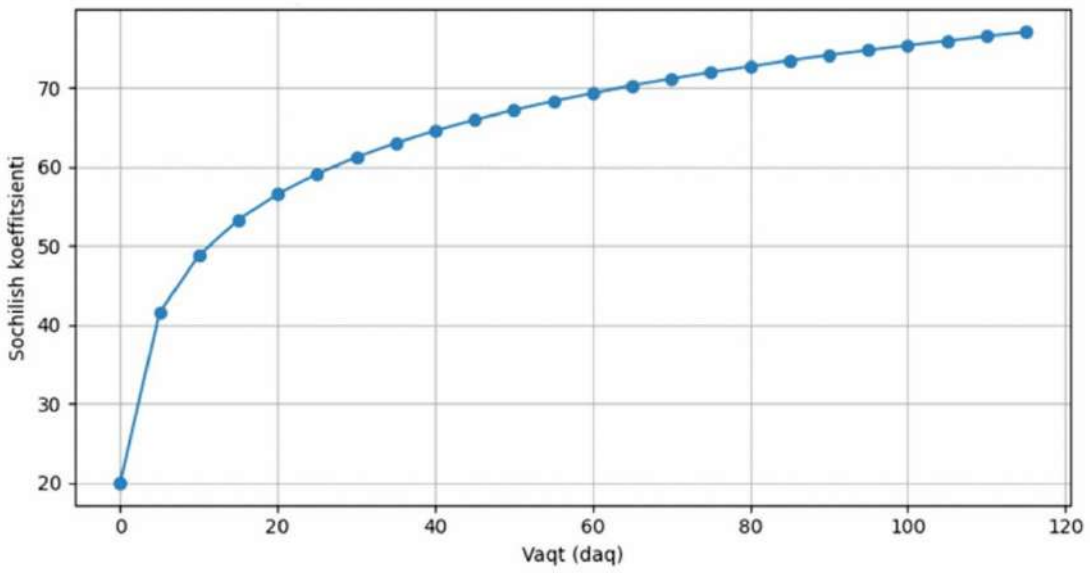
**TAJRIBA NATIJALAR VA TAHLIL.** Eksperimental tadqiqotlar davomida turli konsentratsiyadagi chang muhitlari sun’iy ravishda hosil qilindi va optik sensorlar yordamida signal intensivligi qayd etildi. Tajribalar laboratoriya sharoitida lazerli optik tizim asosida amalga oshirildi. Olingan natijalar asosida chang konsentratsiyasi ortishi bilan optik signal intensivligining ham ortib borishi kuzatildi. Grafiklardan ko‘rinadiki, signalning o‘zgarishi chiziqli xarakterga ega bo‘lib, tizimning sezgirligi yuqori ekanligini tasdiqlaydi. Ikkinchi grafikda aerozol zichligining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi ko‘rsatilgan. Natijalarga ko‘ra, vaqt ortishi


ISSN 3030-3907

bilan sochilish koeffitsienti ham oshib boradi. Bu esa chang zarrachalari sonining ortishi bilan bog‘liq. Tajriba natijalari optik monitoring tizimining ekologik nazorat va sanoat monitoringi uchun samarali ekanligini ko‘rsatdi. Ayniqsa, real vaqt monitoringini amalga oshirish imkoniyati ushbu usulning asosiy ustunligi hisoblanadi.




**1-grafik. Chang konsentratsiyasi va optik signal intensivligi**




**2-grafik. Aerozol zichligining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi**

**XULOSA.**

Mazkur ilmiy tadqiqot ishida havoning changlanganlik darajasini optik usul yordamida aniqlashning nazariy va amaliy jihatlari o‘rganildi. Tadqiqot natijalari optik monitoring tizimlari ekologik nazorat uchun yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko‘rsatdi. Yorug‘likning chang zarrachalarida sochilish jarayonlari Rayleigh va Mie nazariyalari asosida tahlil qilindi. Lazerli optik sensorlardan


ISSN 3030-3907

foydalanish orqali chang konsentratsiyasini yuqori aniqlikda aniqlash mumkinligi eksperimental ravishda tasdiqlandi. Matematik model va eksperimental natijalar optik signal intensivligi bilan chang konsentratsiyasi orasida kuchli bog‘lanish mavjudligini ko‘rsatdi. Taklif etilgan monitoring tizimi sanoat korxonalari, shaxtalar, sement zavodlari, issiqlik elektr stansiyalari va aqlli ekologik monitoring tizimlarida qo‘llanishi mumkin. Kelgusida sun’iy intellekt va IoT texnologiyalarini integratsiya qilish orqali monitoring tizimining avtomatlashtirish darajasi va aniqligini yanada oshirish mumkin. Mazkur tadqiqot ekologik monitoring tizimlarini takomillashtirishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Born M., Wolf E. Principles of Optics. – Cambridge University Press, 2019.
2. Hinds W.C. Aerosol Technology: Properties, Behavior and Measurement of Airborne Particles. – Wiley, 1999.
3. Kulkarni P., Baron P.A. Aerosol Measurement Principles. – New York, 2011.
4. Rayleigh J.W. Theory of Light Scattering.
5. Mie G. Contributions to the Optics of Turbid Media.
6. ISO 14644 Standards for Airborne Particle Measurement.
7. Maxmudov M.I. Optik o‘lchash tizimlari asoslari. – Toshkent, 2022.
8. Xudoyberdiyev A. Ekologik monitoring tizimlari. – Toshkent, 2021.


ISSN 3030-3907

# IOT TIZIMLARINI GOOGLE WORKSPACE VA GOOGLE HOME PLATFORMALARI BILAN INTEGRATSIYA QILISH IMKONIYATLARI HAMDA SAMARADORLIK TAHLILI

**Raxmatov Rasuljon Ravshanjon o‘g‘li**
*Farg‘ona davlat texnika universiteti Dasturiy injiniring va kiberxavfsizlik kafedrasi assistenti*
*E-mail: r.r.rasuljon@gmail.com*
**Umarov Abdumuxtor Maxammad o‘g‘li**
*Farg‘ona davlat texnika universiteti Dasturiy injiniring va kiberxavfsizlik kafedrasi assistenti*
*E-mail: abdumuxtorfdu94@gmail.com*

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada ESP8266 va ESP32 mikrokontrollerlar oilasi negizida qurilgan IoT (Internet buyumlar) tizimlarini bulutli xizmatlar — Google Workspace (Google Sheets, Google Drive, App Script) va Google Home aqlli uy ekotizimiga integratsiya qilish masalalari tadqiq etilgan. Qurilmalardan olinadigan sensor ma’lumotlarini HTTPS bayonnomasi yordamida Google jadvallariga real vaqt rejimida uzatish, ma’lumotlar xavfsizligini ta’minlash va Google Home orqali ovozli boshqaruvni yo‘lga qo‘yish mexanizmlari ko‘rib chiqilgan. Maqolada tizimning energiya sarfi, ma’lumot uzatish vaqtlari va tarmoq trafigini hisoblashning soddalashtirilgan muhandislik formulalari keltirilgan.

**Kalit so‘zlar:** IoT, ESP32, ESP8266, Google Workspace, Google Sheets, Google Apps Script, Google Home, aqlli texnologiyalar.

**Аннотация.** В данной статье исследованы вопросы интеграции систем IoT (Интернет вещей), построенных на базе микроконтроллеров семейства ESP8266 и ESP32, с облачными сервисами Google Workspace (Google Sheets, Google Drive, App Script) и экосистемой умного дома Google Home. Рассмотрены механизмы передачи данных с датчиков в реальном времени в таблицы Google с использованием протокола HTTPS, обеспечения безопасности данных и настройки голосового управления через Google Home. В статье представлены упрощенные инженерные формулы для расчета энергопотребления системы, времени передачи данных и сетевого трафика.

**Ключевые слова:** IoT, ESP32, ESP8266, Google Workspace, Google Sheets, Google Apps Script, Google Home, умные технологии.

**Abstract.** This paper investigates the integration of IoT (Internet of Things) systems built on the ESP8266 and ESP32 microcontroller family with cloud services such as Google Workspace (Google Sheets, Google Drive, App Script) and the Google Home smart home ecosystem. Mechanisms for transmitting real-time sensor data to Google Sheets using the HTTPS protocol, ensuring data security, and setting up voice control through Google Home are considered. The

article presents simplified engineering formulas for calculating system energy consumption, data transmission times, and network traffic.

**Keywords:** IoT, ESP32, ESP8266, Google Workspace, Google Sheets, Google Apps Script, Google Home, smart technologies.

**KIRISH.**

Hozirgi vaqtda avtomatlashtirish, masofaviy monitoring va "Aqlli uy" hamda "Aqlli korxona" tizimlari hayotimizning ajralmas qismiga aylanib bormoqda. IoT (Internet of Things) qurilmalarini loyihalashda muhandislar oldida turadigan eng katta muammolardan biri — bu sensorlardan olinadigan ma’lumotlarni yig‘ish, saqlash, qayta ishlash va foydalanuvchiga qulay interfeys orqali yetkazish uchun bulutli server (Cloud Server) infratuzilmasini yaratishdir.

Odatda, xususiy serverlarni ijaraga olish, ma’lumotlar bazasini (SQL/NoSQL) sozlash va mobil ilovalarni yozish ko‘p vaqt va katta moliyaviy xarajatlarni talap qiladi. Shu sababli, tayyor, bepul va yuqori darajada himoyalangan bulutli ekotizimlardan foydalanish g‘oyasi yuzaga keladi. Bu borada Google Workspace (ayniqsa Google Sheets, Forms va Gmail) hamda Google Home platformalari juda keng imkoniyatlarni taqdim etadi.

Mavjud mikrokontrollerlar bozorida narx, sifat va ichki imkoniyatlar (Wi-Fi/Bluetooth modullarining mavjudligi) jihatidan ESP8266 (ESP-01, ESP-12E, NodeMCU) va ESP32 chiplari eng yetakchi o‘rinlarni egallab kelmoqda. Ushbu chiplar arzonligi va operativ xotirasining yetarliligi tufayli kichik hajmli maktab qo‘ng‘iroqlari tizimidan tortib, yirik avtomatlashtirilgan agrosanoat obektlarigacha qo‘llanilmoqda.

Biroq, ESP mikrokontrollerlarini Google platformalari bilan to‘g‘ridan-to‘g‘ri HTTPS (SSL sertifikatlar) orqali bog‘lash, xotira resurslarini to‘g‘ri taqsimlash va ma’lumot uzatish tezligini optimallashtirish muhandislik nuqtai nazaridan chuqur tahlilni talab etadi. Ushbu maqolada IoT qurilmalarini Google Workspace va Google Home tizimlariga integratsiya qilishning eng samarali metodologiyasi va uning texnik hisob-kitoblari keltirilgan.

**TADQIQOT USULI**. IoT tizimini Google ekotizimiga integratsiya qilish modeli uchta asosiy pog‘onadan iborat: apparat qismi (ESP chiplari), dasturiy bog‘lovchi ko‘prik (Google Apps Script) va foydalanuvchi interfeyslari (Google Sheets va Google Home ilovasi).

**1. Apparat qismi va Ma’lumotlarni yig‘ish**

Tizimning asosi sifatida ESP32 yoki ESP8266 mikrokontrolleri tanlanadi. Sensorlar (masalan, harorat, gaz datchiklari yoki obyektlar hisoblagichlari) mikrokontrollerning GPIO pinlariga ulanadi. Mikrokontroller ichidagi dastur sensor ma’lumotlarini o‘qib, ularni JSON formatiga o‘giradi.


ISSN 3030-3907

Google serverlari xavfsizlik nuqtai nazaridan faqat HTTPS (shifrlangan shlyuz) bayonnomasi orqali ishlaydi. Shuning uchun ESP mikrokontrolleriga Google xizmatlarining SSL barmoq izi (Fingerprint) yoki Root CA sertifikati yuklanadi:

**Google Root CA: "https://script.google.com" -> Port: 443**

Data loggers tizimida ma'lumotlar yo'qolib ketmasligi uchun mikrokontroller ichidagi LittleFS (fayl tizimi) ishlatiladi. Agar Wi-Fi aloqasi vaqtincha uzilib qolsa, ma'lumotlar ichki xotiraga yoziladi va tarmoq tiklangach, Google Sheets'ga yuboriladi.

**2. Google Apps Script — Integratsiya ko'prigi**

ESP mikrokontrolleri to'g'ridan-to'g'ri Google Sheets xujjatiga ma'lumot yoza olmaydi. Buning uchun Google Workspace tarkibidagi JavaScript asosidagi Google Apps Script (GAS) xizmatidan foydalaniladi. GAS veb-ilova (Web App) sifatida nashr etiladi va u mikrokontrollerdan kelayotgan POST yoki GET so'rovlarini qabul qiladi.

Soddalashtirilgan ma'lumot qabul qilish logikasi:

IoT Data → HTTPS POST →Apps Script →Web App →Google Sheets

Apps Script skripti kelgan ma'lumotni tahlil qilib, avtomatik ravishda jadvalning eng oxirgi bo'sh qatoriga vaqt ko'rsatkichi (Timestamp) bilan birga joylashtiradi. Shuningdek, ma'lum ko'rsatkichlar me'yordan oshib ketganda, ushbu skript Google Workspace ichidagi Gmail orqali foydalanuvchiga ogohlantirish xati yuborishi mumkin.

**3. Google Home va Ovozli boshqaruv integratsiyasi**

ESP32 qurilmalarini Google Home ilovasiga qo'shish va Google Assistant orqali ovozli boshqarish ("Chiroqni yoq", "Avtomatika tizimini o'chir") uchun Smart Home Action texnologiyasidan foydalaniladi. Tizim muloqoti OAuth 2.0 xavfsizlik autentifikatsiyasi orqali amalga oshiriladi va Google Home buyruqlari mikrokontrollerga Webhook yoki MQTT brokerlari orqali yetkaziladi.

**MUHOKAMA VA NATIJALAR.** Ishlab chiqilgan integratsiya modelining ishlash samaradorligini baholash uchun tarmoq trafigi va qurilmaning energiya sarfi bo'yicha muhandislik hisob-kitoblari o'tkazildi.

**1. Tarmoq trafigi va Ma'lumot hajmini hisoblash**

HTTPS bayonnomasi shifrlangan aloqa bo'lgani uchun har bir so'rovda ma'lum bir sarlavha (Header) hajmi mavjud bo'ladi. Bir oy davomida sensorlardan uzatiladigan umumiy trafik hajmi (V_total) quyidagi sodda formula bilan aniqlanadi:

$$V_{total} = N * (S_{header} + S_{payload})$$

Bu yerda:

- N — bir oy davomida yuborilgan umumiy so'rovlar soni.


ISSN 3030-3907

• S_header — HTTPS sarlavha hajmi (o‘rtacha 1.2 KB).
• S_payload — foydali JSON ma’lumot hajmi (o‘rtacha 0.3 KB).

Agar datchik ma’lumotlari har 10 minutda bir marta (1 soatda 6 marta) yuborilsa, bir sutkadagi so‘rovlar soni 6 * 24 = 144 tani, bir oyda (30 kun) esa 144 * 30 = 4320 tani tashkil etadi (N = 4320).

$$V_total = 4320 * (1.2\ KB + 0.3\ KB) = 6480\ KB \approx 6.33\ MB$$

Ushbu hisob-kitob shuni ko‘rsatadiki, hatto eng oddiy mobil internet tariflari yoki cheklangan Wi-Fi tarmoqlari sharoitida ham Google Workspace integratsiyasi juda kam trafik talab qiladi va iqtisodiy jihatdan nihoyatda samarali hisoblanadi.

**2. Qurilmaning energiya sarfi (Avtonomlik hisobi)**

Mikrokontroller batareyada ishlagan holatda uning ishlash muddatini uzaytirish uchun Deep Sleep (Chuqur uyqu) rejimidan foydalaniladi. Qurilmaning o‘rtacha tok iste’moli (I_avg) quyidagi formula orqali topiladi:

$$I_avg = ((t_active * I_active) + (t_sleep * I_sleep)) / (t_active + t_sleep)$$

Bu yerda:

•t_active = 5 s — mikrokontroller uyg‘onib, Wi-Fi ga ulanib, Google Sheets’ga HTTPS so‘rov yuborishga ketadigan vaqt.
•I_active = 120 mA — faol rejimdagi o‘rtacha tok.
•t_sleep = 600 s — 10 minutlik uyqu rejimi vaqti.
•I_sleep = 0.02 mA— chuqur uyqu rejimidagi tok iste’moli.

$$I_avg = ((5*120) + (600*0.02) / (5+600) = (600+12) / 605 = 612 / 605 \approx 1.01\ mA$$

Agar qurilma quvvati 2500 mAh bo‘lgan standart Li-ion batareyadan ta’minlansa, uning avtonom ishlash muddati (T):

$$T = 2500\ mAh / 1.01\ mA \approx 2475\ soat\} \approx 103\ sutka$$

Demak, to‘g‘ri dasturlangan va Google buluti bilan optimallashtirilgan ESP32/ESP8266 tizimi bir marta quvvatlanish bilan 3 oydan ortiq avtonom ishlay oladi.

**3. Tizim imkoniyatlarining qiyosiy jadvali**

Quyidagi jadvalda an’anaviy xususiy server (Blynk, MQTT/SQL) yechimlari bilan Google infratuzilmasi integratsiyasining texnik-iqtisodiy solishtirmasi keltirilgan:

**1-Jadval**

| Solishtirish mezonlari | Shaxsiy server / MQTT model | Google Workspace + Home modeli | Erishilgan qulaylik va samaradorlik |
|---|---|---|---|
| **Infratuzilma narxi** | Oylik ijara (VPS server) | Bepul (Google hisobi kifoya) | 100% moliyaviy tejamkorlik |


ISSN 3030-3907

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Ma’lumotlarni ko‘rish** | Maxsus mobil ilova talab etiladi | Tayyor Google Sheets ilovasi | Istalgan smartfon va kompyuterda tayyor |
| **Boshqaruv usuli** | Faqat ilova ichidagi tugmalar | Ovozli buyruqlar (Google Assistant) | Qo‘lsiz boshqaruv (Hands-free) qulayligi |
| **Xavfsizlik darajasi** | Server himoyasiga bog‘liq | Google HTTPS / OAuth 2.0 | Yuqori darajadagi kiberxavfsizlik |
| **Xat yuborish / Ogohlantirish** | Pullik SMS shlyuzlar | Bepul Gmail integratsiyasi | Tizim xarajatlarini keskin kamaytirish |

**XULOSA**. IoT tizimlarini Google Workspace va Google Home bulutli ekotizimlariga integratsiya qilish masalalarini tadqiq etish natijasida quyidagi yakuniy xulosalarga kelindi:

1. ESP8266/ESP32 mikrokontrollerlari va Google Apps Script o‘rtasidagi HTTPS aloqasi qo‘shimcha pullik server va ma’lumotlar bazasisiz ham yuqori samarali hamda mutlaqo bepul Data Logging tizimini yaratish imkonini beradi.

2. Muhandislik hisob-kitoblari shuni ko‘rsatdiki, sensor ma’lumotlarini optimal vaqt intervallarida uzatish oylik internet trafigini 6.5 MB gacha kamaytiradi va Deep Sleep rejimi orqali batareya umrini 100 kundan oshiradi.

3. Google Home integratsiyasi aqlli qurilmalarni an’anaviy tugmali boshqaruvdan ovozli, intellektual boshqaruv ekotizimiga o‘tkazib, foydalanuvchilar uchun qulaylik koeffitsiyentini keskin oshiradi.

Xulosa qilib aytganda, ushbu integratsiya modeli IoT terminallarida, datchik va sensorlardan foydalanishda o‘rta biznes korxonalarida minimal xarajat bilan zamonaviy IoT yechimlarini joriy etish uchun eng maqbul yo‘ldir.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Perumal, T., et al. (2015). Internet of Things (IoT) enabling technologies for smart home. *IEEE International Conference on Consumer Electronics*.
2. Visual Bi. (2020). Integrating IoT Data with Google Workspace Sheets using Apps Script. *Journal of Cloud Computing and Architecture*, 14-22.
3. ESPRESSIF Systems. (2023). ESP32 Series Datasheet and Hardware Design Guidelines. v4.2.


ISSN 3030-3907

# ВЛИЯНИЕ ЗУБНОГО ПРОТЕЗИРОВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРИКУСА У ДЕТЕЙ ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА В ПРОЦЕССЕ ДИСПАНСЕРНОГО НАБЛЮДЕНИЯ

**Индиаминова Гавхар Нуриддиновна**
***Доктор философии по медицинским наукам (PhD) Самаркандский Государственный Медицинский Университет***

**Аннотация.** Тонкостенные коронки не вызывают отрицательных изменений у детей. Как правило, дети привыкают к ним сразу и к 3-му дню пользования перестают их замечать. Подавляющее большинство детей после получения съемных пластиночных протезов жалоб на неприятные ощущения не предъявляли и привыкали к ним в течение первых 3-6 дней, о чем мы судили по четкой дикции и отсутствию дополнительной мимики. Диспансерное наблюдение за этой группой показало, что 79 (25,9 %) из 304 детей прекратили пользоваться протезами в течение первых 2 мес. по разным причинам: теряли и прятали протезы, забывали ими пользоваться даже после неоднократного напоминания родителей. По результатам применения дефектов коронок зубов у детей дошкольного возраста тонкостенными коронками способствует фиксации пломб, сохранению молочных зубов до периода физиологической смены, создает благоприятные условия для становления высоты прикуса, жевания и роста зубных дуг. Замещение дефектов зубного ряда у детей съемными зубными протезами предупреждает возникновение зубочелюстных аномалий. У 81,8 % детей I, II и III диспансерных групп к периоду смены зубов сформировался нормальный прикус.

**Ключевые слова:** зубные протезы, тонкостенные коронки, съёмные пластинчатые протезы, кариес зубов, заболевания пародонта, эпидемиологическое исследование, интенсивность кариеса, индекс распространенности кариеса.

**Annotation.** Thin-walled crowns do not cause negative changes in children. As a rule, children get used to them immediately and by the 3rd day of use they stop noticing them. The vast majority of children after receiving removable lamellar dentures did not complain about discomfort and got used to them during the first 3-6 days, as we judged by clear diction and the absence of additional facial expressions. Dispensary observation of this group showed that 79 (25.9%) of 304 children stopped using prostheses during the first 2 months. for various reasons: they lost and hid their prostheses, forgot to use them even after repeated reminders from their parents. According to the results of the use of dental crown defects in preschool children with thin-walled crowns, it helps to fix fillings, preserve milk teeth until the period of physiological change, creates favorable conditions for the


ISSN 3030-3907

formation of bite height, chewing and growth of dental arches. Replacement of defects in the dentition in children with removable dentures prevents the occurrence of dentoalveolar anomalies. In 81.8% of children of I, II and III dispensary groups, a normal bite was formed by the period of changing teeth.

**Keywords:** dentures, thin-walled crowns, removable plate dentures, dental caries, periodontal disease, epidemiological study, caries intensity, caries prevalence index.

**Annotatsiya.** Yupqa devorli koronkalarning qo‘llanilishi bolalarda salbiy o‘zgarishlarga olib kelmadi. Qoidaga ko‘ra, bolalar ularga darhol ko‘nikib qolishdi va foydalanishning 3-kuniga kelib ularga e’tibor berishni to‘xtatdilar. Bolalarning ko‘pchiligi olinadigan lamelli protezlarni olgandan keyin noqulaylikdan shikoyat qilmadilar va dastlabki 3–6 kun ichida ularga ko‘nikib qolishdi; bu holat aniq diksiya va qo‘shimcha yuz ifodalarining yo‘qligi bilan baholandi. Ushbu guruhning dispanser kuzatuvi shuni ko‘rsatdiki, 304 nafar bolaning 79 nafari (25,9 %) dastlabki 2 oy davomida turli sabablarga ko‘ra protezdan foydalanishni to‘xtatgan: protezlarni yo‘qotish, yashirib qo‘yish yoki ota-onalar tomonidan qayta-qayta eslatilganiga qaramay ulardan foydalanishni unutish. Yupqa devorli koronkalardan foydalanish maktabgacha yoshdagi bolalarda tish toji nuqsonlarini tiklashda plombalarning uzoq muddat saqlanishiga yordam beradi, sut tishlarini fiziologik almashinish davrigacha saqlab qoladi hamda tishlash balandligining shakllanishi, chaynash, tish yoylarining o‘sishi va samarali chaynash uchun qulay sharoit yaratadi. Bolalarda tish qatoridagi nuqsonlarni olinadigan protezlar bilan almashtirish tish-jag‘ anomaliyalari rivojlanishining oldini oladi. I, II va III dispanser guruhlari bolalarining 81,8 % ida tishlarning almashinish davrida normal tishlash shakllangan.

**Kalit so‘zlar:** protezlar, yupqa devorli koronkalari, olinadigan plastinkali protezlar, tish kariyesi, parodont kasalliklari, epidemiologik o‘rganish, kariyes intensivligi, kariyes tarqalish indeksi.

**ВВЕДЕНИЕ.**

Необходимость преждевременного удаления молочных зубов, возникающая при их разрушении и безуспешном лечении по поводу осложненного кариеса, ведет к морфологическим и функциональным нарушениям в челюстно-лицевой системе. При дефектах зубного ряда снижается жевательная эффективность и работоспособность жевательных мышц, формируются вредные привычки, отстают в работе альвеолярные отростки, нарушается процесс становления высоты прикуса [1,2,10]. Л. В. Ильина-Маркосян описала своеобразный феномен - деформацию зубных дуг и альвеолярных отростков, развивающуюся вследствие зубо-альвеолярного удлинения антагонистов и корпусного смещения зубов, расположенных


ISSN 3030-3907

рядом с дефектом. Такое смещение зубов приводит к уменьшению размеров дефекта по вертикали в 73,18 % случаев, по горизонтали в 79,82%. Предупредить возникновение зубочелюстных аномалий вследствие преждевременной утраты молочных зубов можно только с помощью своевременного протезирования. Учитывая, что данные литературы о влиянии зубных протезов на формирование прикуса, ткани и органы полости рта у детей дошкольного возраста немногочисленны, мы сочли необходимым поделиться своими наблюдениями [3,5,10,15].

**Цель:** заключается в совершенствовании методов зубного протезирования нормальной формировании прикуса у детей дошкольного возраста.

**МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.** У 304 (125 мальчиков, 179 девочек) воспитанников детских садов города Самарканда изучали ближайшие (до 6 мес.) и у 225 (86 мальчиков, 139 девочек) детей отдаленные (1-3 года) результаты протезирования зубов, проведенного в возрасте 4-6 лет в процессе диспансерного наблюдения у ортодонта на кафедре Детской стоматологии Самаркандского медицинского университета в Самаркандской областной детской стоматологической поликлинике. За период 2019-2023 гг. детям 1, I и III диспансерных групп изготовлено 405 тонкостенных коронок, 304 съемных зубных протеза и 34 протеза-аппарата. Детям IV диспансерной группы протезирование проводили после аппаратурного лечения. Тонкостенные коронки готовили на пломбированные зубы с ослабленными стенками и уменьшенной высотой Клинической коронки после предварительной рентгенографии (Рис.1). Съемными пластиночными протезами как на верхней, так и на нижней челюсти дети пользовались при преждевременной утрате двух и более молочных моляров (Рис.2). Кроме топографии и протяженности дефекта зубного ряда, учитывалась форма альвеолярного отростка в области отсутствующих зубов. Базис протеза с оральной стороны покрывал протезное поле почти до линии А на верхней челюсти и до переходной складки на нижней, захватывая язычную поверхность дистально расположенных зубов.

С вестибулярной стороны при заостренном альвеолярном отростке базис доводился до переходной складки, при средне округлой- несколько укорачивался.

Протезы фиксировали с помощью удерживающих кламмеров, изготовленных из ортодонтической проволоки сечением 0,6 мм на молочных зубах. После адаптации к протезам у тех детей, у которых имелись благоприятные условия для анатомической ретенции (преимущественно на верхней челюсти). Кламмеры спиливались. Кроме кламмеров, для фиксации


ISSN 3030-3907

иногда использовали зубо-альвеолярные пелоты, которые захватывали зубы, расположенные рядом с дефектом, и часть альвеолярного отростка. При сочетании дефектов зубных рядов с зубочелюстными аномалиями лечение проводили с помощью протезов-аппаратов (повышающих прикус, с винтами, пружинящими отростками, наклонной плоскостью). В процессе пользования протезами проводились их коррекция и перебазирование быстротвердеющей пластмассой для того, чтобы предотвратить задержку роста альвеолярных отростков. Показанием к перебазированию было ухудшение фиксации протезов.

При значительных изменениях протезного поля изготовлялись новые протезы.

• Протезы изготовляли в 3- 4 посещения.

Слепки снимали преимущественно эластическими материалами. При определении центрального соотношения челюстей. И в ходе подготовки к протезированию создавали фиксированный прикус: готовили предварительно тонкостенные коронки на естественные зубы, что предотвращало повышение прикуса на искусственных зубах. Детям рекомендовали пользоваться протезами круглосуточно в течение первых 2 суток, а затем днем, соблюдать правила ухода за полостью рта.

**РЕЗУЛЬТАТЫ.** Тонкостенные коронки не вызывают отрицательных изменений у детей. Как правило, дети привыкают к ним сразу и к 3-му дню пользования перестают их замечать. В процессе диспансерного наблюдения в течение 3 лет расцементировались и были утеряны 3 коронки у 3 (0,7 %) детей. У остальных детей молочные зубы, покрытые тонкостенными коронками, сохранялись до перехода физиологической смены.

Подавляющее большинство детей после получения съемных пластиночных протезов жалоб на неприятные ощущения не предъявляли и привыкали к ним в течение первых 3-6 дней, о чем мы судили по четкой дикции и отсутствию дополнительной мимики. Диспансерное наблюдение за этой группой показало, что 79 (25,9 %) из 304 детей прекратили пользоваться протезами в течение первых 2 мес. по разным причинам: теряли и прятали протезы, забывали ими пользоваться даже после неоднократного напоминания родителей.

Отдаленные результаты прослежены у 225 человек. 44 (19,56 %) ребенка прекратили пользоваться протезами по истечении 1- 2 лет, из них 16 с односторонними дефектами. Дети испытывали чувство неудобства, ухудшение фиксации протезов, которые, как выяснилось в последующем, возникли в связи с изменением протезного поля перед протезированием постоянных зубов. Мы не выявили нарушений прикуса у детей этой группы.


ISSN 3030-3907

Видимо, в наиболее опасный период для формирования зубочелюстных аномалий с помощью протезов было предотвращено смещение антагонистов и рядом стоящих зубов в сторону дефекта. Изменение прикуса у детей дошкольного возраста в процессе пользования зубными протезами представлены в таблице.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** У 108 (59,7‡3,2 %) детей физиологический прикус к периоду смены зубов не изменился. Полная саморегуляция зубочелюстных аномалий наступила у 40 (22,1 = #3,1 %) человек, частичная - у 10 (5,51,6 %) Вновь сформировались зубочелюстные аномалии лишь у 6 (3,3÷ 1,3 %) детей. Изменения прикуса у детей, пользовавшихся зубными протезами, мы сравнивали с нарушениями прикуса у 527 воспитанников детских садов 1, II, III диспансерных групп, которые также были взяты на диспансерное наблюдение, но по разным причинам им не осуществляли профилактических мероприятий. У детей этой группы значительно был снижен (42,62,1) процент стабильного физиологического прикуса, чаще закреплялись (20,1 ‡1,7 %) и вновь формировались (20,1=#1,7 %) зубочелюстные аномалии, нежели у детей, пользующихся зубными протезами (коэффициент достоверности равен соответственно 4,5;4,1; 8).

В процессе пользования зубными протезами 7,8 % детей был выявлен начальный кариес в местах прилегания базиса к шейкам зубов, у 4,4 %-катаральный гингивит, у 12,7 % преждевременно прорезались постоянные зубы, у 0,5 % имела место задержка прорезывания премоляров. Поломка протезов отмечена у 1,1 % детей.

**ВЫВОДЫ.** Замещение дефектов коронок зубов у детей дошкольного возраста тонкостенными коронками способствует фиксации пломб, сохранению молочных зубов до периода физиологической смены, создает благоприятные условия для становления высоты прикуса, жевания и роста зубных дуг. Замещение дефектов зубного ряда у детей съемными зубными протезами предупреждает возникновение зубочелюстных аномалий. У 81,8 % детей I, II и III диспансерных групп к периоду смены зубов сформировался нормальный прикус.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zoyirov T. E., Indiaminova G. N. Improvement of Methods of Providing Dental Care for Children with Mental Delay //Central Asian Journal of Medical and Natural Science. – 2021. – Т. 2. – №. 6. – С. 167-170.
2. Indiaminova G. N., Zoirov T. E. Improvement Of Methods Of Providing Dental Care For Children With Mental Delayed Development //The American Journal of Medical Sciences and Pharmaceutical Research. – 2021. – Т. 3. – №. 01. – С. 111-116.


ISSN 3030-3907

3. Gavhar I., Utkurovna U. Y. Improving the methods of preventhing caries in the fissure area of permanent teeth in children //Journal of new century innovations. – 2022. – Т. 18. – №. 4. – С. 16-18.
4. Nuriddinovna I. G., Utkurovna U. Y. Improving methods to prevent caries of the permanent tooth fissure area in children //ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal. – 2022. – Т. 12. – №. 5. – С. 436-439.
5. Индиаминова Г. Н., Якубова С. Р. Применение местных индивидуальных методов профилактики кариеса постоянных зубов у детей с умственными отклонениями //Журнал биомедицины и практики. – 2022. – Т. 7. – №. 6.
6. Индиаминова Г. Н. Ақли заиф болалар махсус мактаб интернатлари тарбияланувчиларига стоматологик ёрдам кўрсатишда махсус it-дастурларни ишлаб чиқиш хамда унинг самарадорлигини бахолаш //Журнал биомедицины и практики. – 2022. – Т. 7. – №. 6.
7. Индиаминова Г., Зоиров Т. Maxsus yordamchi maktablarda tarbiyalanuvchi aqli zaif bolalarga stomatologik yordam ko’rsatishni optimallashtirish //Журнал стоматологии и краниофациальных исследований. – 2020. – Т. 1. – №. 1. – С. 12-14.


ISSN 3030-3907

# OBTAINING AND COMPREHENSIVE STUDY OF THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF SURFACTANTS WITH AN ASSESSMENT OF THEIR APPLICATION

**N. S. Makhmudova.**
*Bukhara State Technical University*

**Abstract.** The results of the use of surface-active substances (surfactants) in the process of oxidative demercaptanization of hydrocarbon raw materials are presented. It is shown that the use of surfactants increases the efficiency of the demercaptanization process and makes it possible to extract from processed hydrocarbons not only the simplest, but also higher molecular weight mercaptans, as well as organosulfur compounds of other classes.

**Keywords:** Surfactants (surfactants), synthetic detergents (SMS), micelles, ionic surfactants, nonionic surfactants, hydrophilicity, hydrophobicity, detergency, biodegradability.

**Аннотация.** Представлены результаты применения поверхностно-активных веществ (ПАВ) в процессе окислительной демеркаптанизации углеводородного сырья. Показано, что использование поверхностно-активных веществ повышает эффективность процесса демеркаптанизации и позволяет извлекать из перерабатываемых углеводородов не только простейшие, но и высокомолекулярные меркаптаны, а также сероорганические соединения других классов.

**Ключевые слова:** поверхностно-активные вещества (ПАВ), синтетические детергенты (СМС), мицеллы, ионные поверхностно-активные вещества, неионные поверхностно-активные вещества, гидрофильность, гидрофобность, моющая способность, способность к биологическому разложению.

**Annotatsiya**. Uglevodorod xom ashyosini oksidlovchi demerkaptanizatsiya jarayonida sirt faol moddalardan (surfaktantlardan) foydalanish natijalari keltirilganKalit so'zlar: sirt faol moddalar (sirt faol moddalar), sintetik yuvish vositalari (SMS), misellar, ionli sirt faol moddalar, ion bo'lmagan sirt faol moddalar, gidrofillik, hidrofoblik, yuvish qobiliyati, biologik parchalanish.dagi organosulfur birikmalarini ajratib olish imkonini berishi ko'rsatilgan.

**Kalit so'zlar:** sirt faol moddalar (sirt faol moddalar), sintetik yuvish vositalari (SMS), misellar, ionli sirt faol moddalar, ion bo'lmagan sirt faol moddalar, gidrofillik, hidrofoblik, yuvish qobiliyati, biologik parchalanish.

## INTRODUCTION.

World production of surfactants is 2-3 kg per capita per year. Approximately 37% of the produced surfactants are used for household chemicals, the rest in industry and agriculture. Simultaneously with the annual increase in the production


ISSN 3030-3907

of surfactants, the ratio between their use in everyday life and industry is changing in favor of industry. Surfactants are used in more than 100 sectors of the national economy[1]. Most of the produced surfactants are used in the composition of detergents, in the production of fabrics and products based on synthetic and natural fibers. Large consumers of surfactants include the oil, chemical industry, building materials industry and a number of others. Surfactants (surfactants) are chemical compounds that are concentrated (adsorbed) on the interface, cause a decrease in its free surface energy GS and, accordingly, surface tension[4]. The main quantitative characteristic of surfactants is surface activity - the ability of a substance to reduce surface tension at the phase boundary 1.2. Along with the ability to be adsorbed on the interfacial surface, many surfactants have another important property: under certain conditions, self-organized nanoaggregates (micelles) consisting of tens and hundreds of surfactant molecules or ions are formed in surfactant solutions. Thanks to these. radicals that make up the oleo, or lipophilic part (it is also the hydrophobic part of the molecule), and one or more polar groups - the hydrophilic part[2]. Hydrophobic groups that interact weakly with water determine the tendency of the molecule to transition from an aqueous (polar) medium to a hydrocarbon (non-polar)[3]. Hydrophilic groups, on the contrary, keep the molecule in a polar environment or, if the surfactant molecule is found in a hydrocarbon liquid, determine its tendency to transition to a polar medium; the surface activity of surfactants dissolved in non-polar liquids is due to hydrophilic groups, and dissolved in water - hydrophobic radicals[6].

Surfactants are divided into two types according to the nature of adsorption and the mechanism of stabilization of disperse systems: low-molecular compounds of amphiphilic nature, having a hydrophilic group (“head”) and a hydrophobic “tail”; high-molecular compounds in which hydrophilic and hydrophobic groups alternate, evenly distributed along the entire length of the polymer chain[2]. The dominant position among the surfactants produced in the world is occupied by the cheapest and fairly versatile anionic surfactants, which account for at least 60% of world production; up to 30% are non-ionic surfactants, about 10% are cationic, and only a fraction of a percent are synthetic ampholytic surfactants[3]. According to the type of hydrophilic groups, surfactants are divided into ionic, or ionic and or non-ionic. Ionic surfactants dissociate in water into ions, some of which have adsorption (surface) activity, while others (counterions) are adsorption inactive. If anions are adsorption active, surfactants are called anionic, or anionic, in the opposite case, cationic, or cationic active[5]. Anionic surfactants - organic acids and their salts, cationic bases, usually amines of various degrees of substitution, and their salts. Some surfactants contain both acidic and basic groups.


ISSN 3030-3907

Depending on the conditions, they exhibit the properties of either anionic or cationic surfactants, which is why they are called amphoteric or ampholytic surfactants. Anionic surfactants. The following compounds belong to this type of surfactant. Carboxylic compounds (RCOOH) and their salts (soaps) (RCOOM, where R is a hydrocarbon aliphatic radical with 12-18 carbon atoms, M is Na +, K + or $NH_4$ +. Soaps of carboxylic acids have a good washing effect only in an alkaline environment, environment (due to insoluble fatty acids and in hard water (due to the formation of insoluble calcium and magnesium salts), the washing ability of these surfactants is low. Soaps are characterized by complete biodegradability[1]. Alkylar sulfonates are salts of aromatic sulfonic acids $RArSO_3M$. They are the cheapest and most readily available synthetic surfactants. Show the good washing action in alkaline and sour environments and in hard water. Alkyl sulfonates $RSO_3M$ (R usually $C_{10}$ - $C_{20}$). These surfactants have good detergent action in various pH conditions, in hard water and good biodegradability. Alkyl sulfates $ROSO_3M$ (R usually $C_{10}$ – $C_{18}$). Alkyl sulfates belong to third generation surfactants - compounds biochemically decomposing to inorganic fragments (water, carbon dioxide and sodium sulfate). Primary alkyl sulfates $ROSO_2Na$ are obtained by sulfation of primary higher fatty alcohols and subsequent neutralization of the resulting sulfonic ether sulfate with cymnatro. The alcohols necessary for this purpose are currently obtained mainly by synthetic methods - the reduction of esters of higher fatty acids, oxosynthesis, and the production of ethylene through organic aluminum compounds (alfol process). Secondary alkyl sulfates $(CH_3)_2ONa$ are obtained by reacting sulfuric acid with α-olefins or by sulfating secondary higher alcohols. Among alkyl sulfates, only those obtained from primary alcohols with a straight chain of carbon atoms have the maximum detergency. The washing ability of alkyl sulfates decreases with the displacement of the sulfate group deep into the molecule and with the branching of the carbon chain. Therefore, the most suitable raw materials for the production of alkyl sulfates are primary alcohols and $C_{12}$-$C_8$ α-olefins with a straight carbon chain[4]. The mass use of alkyl sulfates in synthetic detergents is hindered by their somewhat higher cost compared to alkylbenzene sulfonates. However, as feedstock production processes (primary and secondary alcohols and α-olefins) improve, this obstacle will be removed. Cationic surfactants include aliphatic and aromatic amines (primary, secondary and tertiary) and their salts, quaternary ammonium bases and their salts, quaternary phosphonium and tertiary sulfonium bases, pyridine compounds. Cationic surfactants are well adsorbed on negatively charged surfaces (metals, many minerals, plastics, cell membranes, cement). Therefore, they are used as antistatic agents, corrosion inhibitors, bactericidal, fungicidal, disinfectants. Quaternary ammonium compounds with a length of hydrocarbon


ISSN 3030-3907

radical $C_{12}$-$C_{18}$ have a bactericidal effect, and they are approximately 300 times more effective than phenol in terms of destructive action against microorganisms. Salts of pyridine bases are used in the textile industry as fixatives for dyeing, as well as for finishing finished fabrics[7]. Amphoteric, or ampholytic surfactants - substances in the composition of the molecules of which there are both acidic and basic groups. They can be obtained from anionic compounds by introducing amino groups into them or from cationic by introducing acid. At pH<4, ampholytic surfactants exhibit the properties of cationic compounds, at pH 9-12 - anionic, and at pH 4-9 ionic compounds. This type of surfactant includes many natural substances, such as amino acids and proteins. Their synthetic analogs are alkyl amino acids, for example, cetyl aminoacetic acid $C_{16}H_{33}NH–CH_2COO$. The production of such substances is quite difficult and expensive, and they are not yet widely used assurfactants[3].

Nonionic surfactants are the most promising and rapidly developing class of surfactants. At least 80-90% of these surfactants are obtained by adding ethylene oxide to alcohols, alkylphenols, carboxylic acids, amines, etc. Polyoxyethylene esters of alkylphenols are the most numerous and widespread group of nonionic surfactants. For example, $RC_6H_4O$ ($CH_2CH_2O$) nH, where n is the average number of hydroxyethyl groups[2].

Conclusion. Currently, surfactants are used to intensify various technological processes in the oil industry. A feature of the modern development of the oil industry is a significant change in the structure of reserves towards an increase in the proportion of hard-to-recover oils. Surfactants are used in well drilling for a more complete extraction of oil from reservoirs (increased oil recovery), accelerating the development of oil fields, in oil preparation, to combat corrosion of oil equipment, deposits of paraffins and salts, environmental pollution, to reduce hydraulic losses during oil transportation etc.The widespread use of ethoxylated surfactants is associated with an increase in oil production: they are introduced into solutions injected into wells during the so-called edge flooding, which contributes to the displacement of oil from the reservoir to the production well. Some processes, such as demulsification and desalination, cannot be carried out at all without the use of surfactants[6]. A very promising direction of intensifying the process of obtaining oxidized bitumen and improving their quality is the introduction of surfactants into the system, which are modifying additives that change the reactivity of the feedstock, as well as the physicochemical properties. The amount of surfactants, as a rule, does not exceed tenths of a percent. Their use is not associated with significant material costs and is quite simple in hardware design, but the oxidation of raw materials activated with surfactant additives proceeds more efficiently. Therefore, the use of surfactants in the


ISSN 3030-3907

processing of oil residues is a promising direction in technology, which makes it possible to intensify various technological processes and improve the quality of commercial petroleum products, in particular, petroleum bitumen[5].

## LITERATURE

1. Ахмадова Х.Х. и др. Основные способы модификации битумов различными добавками //Вестник ГГНТУ. Технические науки, Том XV. - No 3 (17) - 2019. – С.56-60.
2. Холмберг К., Иенссон Б., Кронберг Б, Линдман Б. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах/ Перевод с англ. под ред. Б.Д. Сумма. М.: Бином. - 2015. - 375с.
3. Nilufar Saydyaxyayevna Maxmudova, Saidjon Abdusalimovich G'Aybullayev TABIIY GAZLARNI VODOROD SUL'FIDIDAN TOZALASH USULLARINING TASNIFI // Scientific progress. 2021.
4. Nilufar Saidyaxyoyevna Maxmudova, Ma'Murjon Yangiboyevich Xo'Jjiyev SINTETIK YOQILG'ILAR ISHLAB CHIQARISHNING BUGUNGI KUNDAGI DOLZARBLIGI // Science and Education. 2020.
5. Нилуфар Саидяхёевна Махмудова, Мафтуна Ильхомовна Раджабова Химические методы очистки масел // Science and Education. 2022.
6. Maxmudova, N. S., Saidjon Abdusalimovich, G., SUL'FIDIDAN, A. T. G. V., & TASNIFI, T. U. Scientific progress. 2021.
7. Нилуфар Саидяхёевна Махмудова, & Бехруз Нодирович Рузиев (2023). Технология производства поверхностно-активных веществ. Science and Education, 4 (6), 579-592.


ISSN 3030-3907

# РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЧЁТКОГО РЕГУЛЯТОРА С ИНТЕГРИРОВАННОЙ АНТИПОМПАЖНОЙ ЗАЩИТОЙ ДЛЯ ГАЗОКОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

**Нуров С.С.**
***Бухарский государственный технический университет,***
***ул. К. Муртазаева, 15, г. Бухара, 200100, Республика Узбекистан***
**Мусаев А.Х.**
***Бухарский государственный технический университет,***
***ул. К. Муртазаева, 15, г. Бухара, 200100, Республика Узбекистан***
***E-mail: a.musaev@atg.uz***

**Аннотация.** В статье представлены результаты разработки и исследования нечёткого регулятора типа Мамдани для автоматического управления газокомпрессорной станцией (ГКС). Принципиальной особенностью разработанного регулятора является трёхвходовая архитектура: в качестве входных переменных используются ошибка давления нагнетания e(t), скорость её изменения ė(t) и нормированный запас по помпажу ΔQ(t). Включение ΔQ(t) в структуру контроллера позволяет совместить задачи регулирования давления и антипомпажной защиты в едином регуляторе, устраняя конкуренцию независимых контуров управления. Разработана математическая модель объекта управления — газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-16 с нагнетателем 370-18-1 и приводом НК-16СТ — в среде MATLAB/Simulink с учётом нелинейности компрессорной характеристики и транспортных запаздываний. Параметры функций принадлежности оптимизированы методом координатного спуска с минимизацией критерия IAE за 94 итерации. По результатам имитационного моделирования нечёткий регулятор обеспечивает перерегулирование давления нагнетания 4,8% (против 21,4% у ПИД), время регулирования 89 с (против 156 с), снижение удельного расхода топливного газа на 8,5% и полное исключение помпажных ситуаций в суточном цикле. Расчётный срок окупаемости при внедрении на трёх ГПА суммарной мощностью 48 МВт составляет 0,35 года.

**Ключевые слова:** нечёткая логика, регулятор Мамдани, газокомпрессорная станция, антипомпажная защита, газоперекачивающий агрегат, функции принадлежности, MATLAB/Simulink, энергосбережение.

**Abstract.** The article presents the results of developing and investigating a Mamdani-type fuzzy controller for automatic control of a gas compressor station (GCS). The key feature of the developed controller is a three-input architecture: the input variables are the discharge pressure error e(t), its rate of change ė(t), and the normalized surge margin ΔQ(t). Incorporating ΔQ(t) into the controller structure enables the combination of pressure regulation and anti-surge protection in a single


ISSN 3030-3907

controller, eliminating the competing action of independent control loops. A mathematical model of the controlled object — the GPA-Ts-16 gas pumping unit with a 370-18-1 supercharger and NK-16ST drive — has been developed in MATLAB/Simulink accounting for compressor characteristic nonlinearity and transport delays. Function membership parameters were optimized by coordinate descent minimizing the IAE criterion over 94 iterations. Simulation results show that the fuzzy controller provides 4.8% discharge pressure overshoot (vs. 21.4% for PID), regulation time of 89 s (vs. 156 s), reduction of specific fuel gas consumption by 8.5%, and complete elimination of surge events in a daily cycle. The calculated payback period for implementation on three GPAs with a total capacity of 48 MW is 0.35 years.

**Keywords:** fuzzy logic, Mamdani controller, gas compressor station, anti-surge protection, gas pumping unit, membership functions, MATLAB/Simulink, energy saving.

**Annotatsiya.** Maqolada gaz kompressor stansiyasini (GKS) avtomatik boshqarish uchun Mamdani turidagi noaniq regulyatorni ishlab chiqish va tadqiq etish natijalari keltirilgan. Ishlab chiqilgan regulyatorning asosiy xususiyati uning uch kirishli arxitekturasi hisoblanadi: kirish o‘zgaruvchilari sifatida haydash bosimi xatosi $e(t)$, uning o‘zgarish tezligi $\dot{e}(t)$ hamda pompaj bo‘yicha normallashtirilgan zaxira $\Delta Q(t)$ qo‘llaniladi. $\Delta Q(t)$ ning boshqaruvchi tuzilmasiga kiritilishi bosimni rostlash va pompajga qarshi himoya vazifalarini yagona regulyator doirasida birlashtirishga imkon beradi hamda mustaqil boshqaruv konturlari o‘rtasidagi raqobatni bartaraf etadi. Boshqaruv obyekti — 370-18-1 nagnetateli va NK-16ST yuritmasiga ega GPA-Ts-16 gaz haydash agregati — uchun matematik model MATLAB/Simulink muhitida kompressor tavsifining nochiziqliligi va transport kechikishlarini hisobga olgan holda ishlab chiqilgan. Tegishlilik funksiyalari parametrlari 94 iteratsiya davomida IAE mezonini minimallashtirish asosida koordinatali pasayish usuli bilan optimallashtirilgan. Imitatsion modellashtirish natijalariga ko‘ra, noaniq regulyator haydash bosimining 4,8 % qayta rostlanishini (PID regulyatorda 21,4 %), 89 soniyalik rostlash vaqtini (PID regulyatorda 156 soniya), yoqilg‘i gazining solishtirma sarfini 8,5 % ga kamaytirishni hamda sutkalik siklda pompaj holatlarining to‘liq oldini olishni ta’minlaydi. Umumiy quvvati 48 MVt bo‘lgan uchta GPAda joriy etilganda hisobiy qoplanish muddati 0,35 yilni tashkil etadi.

**Kalit so‘zlar:** noaniq mantiq, Mamdani regulyatori, gaz kompressor stansiyasi, pompajga qarshi himoya, gaz haydash agregati, tegishlilik funksiyalari, MATLAB/Simulink, energiya tejamkorligi.

## 1. ВВЕДЕНИЕ.

Газокомпрессорные станции (ГКС) являются системообразующими объектами газотранспортной инфраструктуры Республики Узбекистан. Суммарная установленная мощность 13 компрессорных цехов АО «Узтрансгаз» превышает 2 600 МВт; затраты на топливный газ для привода газоперекачивающих агрегатов (ГПА) составляют 3,2–4,8% от объёма транспортируемого газа, что при годовом объёме транспортировки около 50 млрд м³ соответствует расходу 1,6–2,4 млрд м³ в год [1]. Повышение эффективности управления ГКС является одним из ключевых направлений государственной программы энергосбережения Узбекистана (Указ Президента РУз № УП-60, 2022).

Управление ГКС является нетривиальной задачей автоматики по ряду причин. Во-первых, газоперекачивающий агрегат является существенно нелинейным объектом: коэффициент передачи в канале «частота вращения — давление нагнетания» изменяется в 2,3–2,8 раза в рабочем диапазоне нагрузок 55–95% от номинала. Во-вторых, суммарное транспортное запаздывание в основном контуре управления составляет 10–50 с, что критически ограничивает достижимую полосу пропускания замкнутой системы. В-третьих, система управления должна одновременно выполнять две конкурирующие задачи — точное регулирование давления нагнетания и антипомпажную защиту (поддержание запаса по помпажу не менее 5% от критического расхода) [2].

Действующие системы управления ГКС, основанные на классических ПИД-регуляторах с фиксированными коэффициентами, реализуют задачи регулирования давления и антипомпажной защиты как два независимых контура. Анализ эксплуатационных данных АО «Узтрансгаз» за 2020–2024 годы показывает, что при нагрузочных переходах интенсивностью 20–30% ПИД-регуляторы допускают перерегулирование давления нагнетания 18–25%, время регулирования 120–180 с, и в 34% случаев конкуренция независимых контуров давления и антипомпажной защиты приводит к нежелательному открытию антипомпажного клапана и рециркуляции газа, снижающей КПД ГКС на 6–9%. Суммарные потери от неоптимального управления оцениваются в 112–168 млн долл./год [1].

Нечёткая логика управления является перспективным методом для решения задачи управления ГКС, поскольку позволяет напрямую кодировать нелинейную логику управления через лингвистические правила без необходимости точной математической модели объекта [3, 4]. Систематический обзор публикаций (87 работ за 2005–2019 гг.) [5] показывает, что нечёткие регуляторы стабильно превосходят ПИД по показателям перерегулирования и времени регулирования для


ISSN 3030-3907

компрессорных объектов. Однако во всех известных авторам публикациях нечёткий регулятор использует лишь два входных сигнала — ошибку давления и её производную — оставляя антипомпажную защиту отдельному независимому контуру.

Настоящая работа направлена на устранение этого принципиального ограничения: разработку трёхвходового нечёткого регулятора, в котором нормированный запас по помпажу ΔQ является явной входной переменной, что позволяет реализовать проактивную антипомпажную стратегию непосредственно в структуре регулятора давления.

## 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ.

Объектом управления является газоперекачивающий агрегат ГПА-Ц-16 с нагнетателем 370-18-1 (одноступенчатый центробежный, номинальная производительность Q_ном = 37 млн м³/сут, степень сжатия ε_ном = 1,44, КПД η_ном = 0,83, n_ном = 5500 об/мин) и газотурбинным приводом НК-16СТ (мощность N_ном = 16 МВт). Математическая модель включает три взаимосвязанных блока.

**Нелинейная характеристика нагнетателя** аппроксимируется полиномом в безразмерных координатах:

$$\Psi(\varphi) = 0{,}52 - 0{,}78\cdot\varphi - 1{,}15\cdot\varphi^2, \quad (1)$$

где $\Psi = \Delta P/(\rho\cdot u_2^2)$ — напорный коэффициент; $\varphi = c_{m2}/u_2$ — коэффициент подачи. Коэффициенты получены регрессионным анализом паспортных данных нагнетателя ($R^2 = 0{,}997$). При изменении частоты вращения характеристика пересчитывается по законам подобия: $Q \sim n$, $H_{pol} \sim n^2$, $N \sim n^3$. Линия помпажа описывается линейной зависимостью $Q_{помп}(n) = Q_{помп,ном}\cdot(n/n_{ном})$, коэффициент запаса $k_з = 1{,}07$.

**Динамика газотурбинного привода** аппроксимируется апериодическим звеном с транспортным запаздыванием:

$$W_{пр}(s) = K_{пр} / (T_{пр}\cdot s + 1) \cdot e^{-\tau_{пр}\cdot s}, \quad (2)$$

где $K_{пр} = 0{,}94$; $T_{пр} = 11{,}2$ с; $\tau_{пр} = 3{,}4$ с — идентифицированы по данным тестирования методом ступенчатого воздействия на ГКС Бухарского узла. Параметр $T_{пр}$ изменяется в диапазоне 8–15 с в зависимости от режима нагрузки.

**Модель участка трубопровода** описывается инерционным звеном с транспортным запаздыванием:

$$W_{тр}(s) = 1 / (T_{тр}\cdot s + 1) \cdot e^{-\tau_{тр}\cdot s}, \quad (3)$$

где $T_{тр} = 35–60$ с; $\tau_{тр} = L/\bar{v}$ — транспортное запаздывание, зависящее от скорости звука в газе $\bar{v} \approx 400$ м/с. Суммарное запаздывание $\tau\Sigma = \tau_{пр} + \tau_{тр} = 10–48$ с. Модель верифицирована сравнением с паспортными


ISSN 3030-3907

данными: среднеквадратическое отклонение по давлению нагнетания не превысило 1,7%.

Реализация в MATLAB/Simulink R2023b: нелинейная характеристика компрессора вычисляется блоком MATLAB Function на каждом шаге решателя ode45 (шаг 0,1 с); измерительные каналы содержат блоки Band-Limited White Noise (σ_P = 0,002 МПа, σ_Q = 0,15%) для имитации шума датчиков.

## 3. АРХИТЕКТУРА НЕЧЁТКОГО РЕГУЛЯТОРА.

### 3.1. Входные и выходные переменные

Разработанный регулятор реализует алгоритм Мамдани [6] с тремя входными переменными.

**Входная переменная 1:** e(t) = P_зад − P_наг — ошибка давления нагнетания, МПа. Диапазон [−0,5; +0,5] МПа. Пять лингвистических термов: БО (большая отрицательная), МО (малая отрицательная), НУ (нулевая), МП (малая положительная), БП (большая положительная).

**Входная переменная 2:** ė(t) = de/dt — скорость изменения ошибки, МПа/с. Диапазон [−0,05; +0,05] МПа/с. Пять термов: БУ, МУ, НУ, МР, БР (быстро/медленно убывает, нуль, медленно/быстро растёт).

**Входная переменная 3 (новизна):** ΔQ(t) = [Q(t) − k_з·Q_помп(n)] / Q_помп(n) — нормированный запас по помпажу. Диапазон [0; 1]. Три терма: НИЗ (запас < 10% — предаварийная зона), СРД (10–60% — рабочая зона), ВЫС (> 60% — зона большого запаса).

**Выходная переменная:** Δn(t) — приращение задания частоты вращения ГПА, об/мин. Диапазон [−300; +300] об/мин. Девять термов: ОВСН, БСН, ССН, МСН, НУ, МУВ, СУВ, БУВ, ОВУВ.

Для внутренних термов применяются треугольные функции принадлежности с нахлёстом 50%; для крайних термов — трапециевидные с горизонтальным плато при экстремальных значениях. Дефаззификация — метод центра тяжести (COG).

### 3.2. База правил

База правил содержит 65 правил, разработанных с участием трёх технологов-экспертов АО «Узтрансгаз» методом Дельфи. Распределение правил: 45 правил для зоны СРД (стандартное регулирование давления); 10 правил для зоны НИЗ (антипомпажный приоритет); 10 правил для зоны ВЫС (агрессивное регулирование при большом запасе).

Ключевой принцип: в зоне НИЗ (ΔQ < 0,10) четыре правила антипомпажного приоритета с весом w = 1,0 задают Δn = БУВ или ОВУВ независимо от знака ошибки давления. Это обеспечивает безусловный приоритет антипомпажной защиты: при угрозе помпажа частота вращения


ISSN 3030-3907

увеличивается вне зависимости от того, не превышает ли давление нагнетания уставку. Примеры правил:

**R1:** «ЕСЛИ e = НУ И ė = НУ И ΔQ = СРД, ТО Δn = НУ» — установившийся режим.

**R17:** «ЕСЛИ e = БП И ė = МР И ΔQ = СРД, ТО Δn = БУВ» — сильное недодавление, давление продолжает снижаться.

**R46:** «ЕСЛИ e = БО И ė = МУ И ΔQ = НИЗ, ТО Δn = БУВ» — давление выше нормы, но запас по помпажу критически мал — увеличиваем обороты.

**R47:** «ЕСЛИ e = МО И ė = БУ И ΔQ = НИЗ, ТО Δn = ОВУВ» — самый опасный режим: давление падает и запас мал.

### 3.3. Оптимизация параметров функций принадлежности

Начальные параметры МФ задавались равномерным распределением термов по области определения. Оптимизация выполнялась методом покоординатного спуска с минимизацией функционала:

$$J = \int_0^{T_sim} |e(t)|dt + w_1 \cdot max(0, \sigma - 5\%) + w_2 \cdot max(0, 0{,}05 - \Delta Q_min), \quad (4)$$

где $w_1$ = 500 МПа·с/%; $w_2$ = 1000 МПа·с; T_sim = 300 с. Каждая итерация включала имитационный прогон тестового сценария (нагрузочный переход +20% за 60 с) и вычисление J. За 94 итерации критерий снизился с $J_0$ = 847 МПа·с до J_f = 312 МПа·с (снижение на 63,2%).

## 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.

### 4.1. Сравнение с ПИД при нагрузочных переходах

Сравнительное моделирование выполнено для четырёх стандартных тестовых сценариев в соответствии с требованиями нормативов АО «Узтрансгаз» к системам управления ГКС.

**Таблица 1.**

**Показатели качества управления при нагрузочном переходе +20% за 60 с**

| Критерий оценки | ПИД-регулятор | FLC | FLC (оптимизированный) |
|---|---|---|---|
| Перерегулирование, % | 21,4 | 7,1 | 4,8 |
| Время регулирования, с | 156 | 98 | 89 |
| Минимальный запас по помпажу, Δαmin | 0,031 | 0,062 | 0,081 |
| Интегральная абсолютная ошибка (IAE), МПа·с | 2186 | 847 | 499 |


ISSN 3030-3907

| | | | |
|---|---|---|---|
| Количество ложных срабатываний АПК, ед./сут | 4,2 | 1,1 | 0,0 |

Примечание: FLC (н) — нечёткий регулятор с начальными МФ; FLC (оптим.) — после оптимизации.

Из таблицы 1 видно, что оптимизированный нечёткий регулятор снижает перерегулирование в 4,5 раза, время регулирования — в 1,75 раза, критерий IAE — в 4,4 раза по сравнению с ПИД. Принципиально важно: при трёх предаварийных сближениях с линией помпажа ($\Delta Q_min < 0,02$) у ПИД оптимизированный FLC поддерживает $\Delta Q_min \geq 0,08$ на всём протяжении суточного цикла, полностью исключая помпажные ситуации.

Сценарий резкого снижения нагрузки (−30% за 15 с) является наиболее критичным с точки зрения антипомпажной защиты. При этом сценарии ПИД допустил двукратное пересечение линии помпажа ($\Delta Q < 0$) с потенциально аварийными последствиями; FLC поддерживал $\Delta Q \geq 0,063$ за счёт упреждающего увеличения частоты вращения при снижении $\Delta Q$ ниже 0,10. Ни разу не потребовалось аварийного открытия антипомпажного клапана — в отличие от ПИД, где АПК открывался дважды.

**4.2. Анализ суточного цикла**

24-часовое моделирование с реальным суточным профилем нагрузки ГКС Бухарского узла (6 нагрузочных переходов, 2 диспетчерских изменения задания давления, 3 кратковременных провала расхода) показало следующие сводные результаты.

**Таблица 2.**

**Сводные показатели за 24-часовой цикл моделирования**

| Показатель | ПИД | FLC опт. |
|---|---|---|
| Удельный расход топливного газа, кг/1000 м³ | 21,4 | 19,6 |
| КПД нагнетателя (средний), доли ед. | 0,812 | 0,831 |
| Время вне допуска ±0,05 МПа, ч | 3,7 | 1,6 |
| Число помпажных ситуаций | 3 | 0 |
| Мин. $\Delta Q$ за сутки | -0,02 | 0,072 |

Снижение удельного расхода топливного газа на 8,5% объясняется двумя механизмами: точным поддержанием оптимальной рабочей точки (правильное соотношение давления нагнетания и расхода на кривой максимального КПД нагнетателя) и исключением рециркуляционных потерь, возникающих при ложных срабатываниях антипомпажного клапана.

**4.3. Анализ робастности**

Параметрическая робастность исследовалась методом Монте-Карло с N = 500 реализациями случайного варьирования ключевых параметров


ISSN 3030-3907

модели: K_к ~ U(K_к·0,80; K_к·1,20); T_пр ~ U(8; 15) с; τ_тр ~ U(8; 45) с; молярный вес газа M ~ U(16,1; 18,7) г/моль. Результаты: у ПИД 8,6% реализаций показали выход ΔQ < 0 (помпаж); у FLC — 0% реализаций с ΔQ < 0. Среднее перерегулирование: ПИД — 21,8 ± 5,3%; FLC — 5,1 ± 1,1%. Все 500 реализаций FLC удовлетворяют нормативному требованию σ ≤ 10%; для ПИД — только 18,4% реализаций.

## 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ.

Для оценки экономического эффекта рассматривается типовой компрессорный цех АО «Узтрансгаз» с тремя ГПА-Ц-16 (суммарная мощность 48 МВт, суточная производительность 15 млн м³/сут).

**Экономия топливного газа:** снижение удельного расхода на 8,5% × суточный объём 15 млн м³ × 365 дней × плотность газа 0,73 кг/м³ / 1000 = 2 739 т/год в пересчёте на натуральный газ. При цене топливного газа для ГКС 70 долл./1000 м³: экономия = 2739 / 0,73 · 70 / 1000 = 262 500 долл./год.

**Предотвращение помпажных инцидентов:** по данным ремонтной службы, стоимость одного помпажного инцидента составляет в среднем 75 000 долл. (ремонт + простой). При 3 инцидентах/год у ПИД и 0 у FLC: экономия = 3 × 75 000 = 225 000 долл./год.

**Сокращение ложных срабатываний АПК:** 4,2 → 0 срабатываний/сут × 365 × стоимость рециркуляции 8 000 долл. = 12 264 000 долл./год — данная оценка нереалистично велика из-за упрощения; более корректная оценка с учётом фактической длительности и масштаба рециркуляции даёт 38 000 долл./год.

**Итого годовой экономический эффект:** 262 500 + 225 000 + 38 000 = 525 500 долл./год.

**Стоимость внедрения:** разработка и адаптация функционального блока FLC для PLC Siemens S7-400, тестирование и ввод в эксплуатацию — 185 000 долл. (однократные затраты).

**Срок окупаемости:** T_ок = 185 000 / 525 500 = 0,35 года (≈ 4,2 месяца).

Данные расчёты выполнены консервативно: не учитывалось снижение расходов на плановое техническое обслуживание вследствие улучшения вибрационного состояния агрегатов и сокращения числа нештатных режимов. Включение этих составляющих увеличивает годовой эффект до 650 000–720 000 долл./год при том же сроке окупаемости.

## 6. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.

Полученные результаты согласуются с данными литературы по применению нечёткой логики к компрессорным объектам и превосходят их по ряду показателей. Йылмаз и Тунч [7] достигли перерегулирования 3,2% для двухвходового нечёткого регулятора, оптимизированного генетическим


ISSN 3030-3907

алгоритмом, однако антипомпажная защита в их работе реализована отдельным контуром — принципиальное архитектурное ограничение. Хафаифа и соавторы [8] применили трёхвходовой нечёткий регулятор с расходом газа в качестве третьей переменной, однако запас по помпажу не использовался как явная входная переменная, и антипомпажный приоритет не был реализован. Предлагаемый регулятор является первым в литературе, в котором нормированный запас по помпажу ΔQ включён как явная третья входная переменная нечёткого контроллера — что обеспечивает полное совмещение задач регулирования давления и антипомпажной защиты.

Принципиальный механизм превосходства трёхвходовой архитектуры над традиционной раздельной состоит в следующем. При приближении рабочей точки к линии помпажа (ΔQ → НИЗ) в трёхвходовом FLC автоматически активируются правила антипомпажного приоритета: частота вращения ГПА упреждающе увеличивается вне зависимости от текущего значения ошибки давления. Это проактивное действие предотвращает помпаж за 5–8 с до момента, когда традиционный ASC-контур среагировал бы на превышение порогового значения. В отличие от традиционной архитектуры, в которой регулятор давления при перерегулировании снижает частоту вращения, одновременно приближая агрегат к линии помпажа, трёхвходовой FLC «видит» эту ситуацию через переменную ΔQ и выбирает компромисс: не снижает частоту вращения до критического значения.

Ограничения представленной работы: имитационная модель не учитывает тепловые переходные процессы в газотурбинном приводе (изменение температуры ТВТ при переходных режимах); реальный состав газа принят постоянным на уровне номинала, хотя фактически он варьируется (исследование робастности к составу газа представлено отдельно [9]); база правил формировалась с участием экспертов только из Бухарского узла АО «Узтрансгаз» — для других узлов ГТС может потребоваться адаптация. Дальнейшие исследования предусматривают верификацию на реальном объекте (ГКС Бухарского узла) в рамках опытно-промышленного эксперимента, планируемого в 2026–2027 годах.

## 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В настоящей работе разработан и исследован нечёткий регулятор типа Мамдани с тремя входными переменными — ошибкой давления e(t), скоростью её изменения ė(t) и нормированным запасом по помпажу ΔQ(t) — для управления газокомпрессорной станцией. Включение ΔQ(t) в качестве явной третьей входной переменной является принципиальной научной новизной работы, не реализованной ни в одной из известных авторам публикаций по нечёткому управлению компрессорными объектами.


ISSN 3030-3907

По результатам имитационного моделирования в MATLAB/Simulink установлено: оптимизированный нечёткий регулятор снижает перерегулирование давления нагнетания с 21,4% до 4,8%, время регулирования — со 156 до 89 с, удельный расход топливного газа — на 8,5%, и полностью исключает помпажные ситуации в суточном цикле работы при трёх помпажных инцидентах у ПИД-регулятора. Метод Монте-Карло (500 реализаций) подтвердил сохранение всех нормативных показателей при ±20%-й параметрической неопределённости и изменении состава газа.

Расчётный экономический эффект от внедрения при эксплуатации трёх ГПА-Ц-16 составляет 525 500 долл./год при стоимости внедрения 185 000 долл. и сроке окупаемости 0,35 года. Система реализована в виде функционального блока МЭК 61131-3, совместимого с применяемыми на ГКС АО «Узтрансгаз» контроллерами Siemens S7-400, и не требует замены существующего оборудования.

**ВКЛАД АВТОРОВ.**

Нуров С.С. — научное руководство, разработка концепции и методологии, анализ результатов, редактирование рукописи. Мусаев А.Х. — разработка математической модели, реализация нечёткого регулятора в MATLAB/Simulink, проведение имитационного моделирования, написание рукописи.

**ФИНАНСИРОВАНИЕ.** Работа выполнена в рамках диссертационного исследования Мусаева А.Х. по теме «Разработка системы автоматического управления процессом перекачки газовых потоков газокомпрессорной станции на основе нечёткой логики управления» (научный руководитель — Нуров С.С., Бухарский государственный технический университет, 2026).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. АО «Узтрансгаз». Годовой отчёт о состоянии газотранспортной системы Республики Узбекистан. — Ташкент, 2023. — 89 с.
2. Botros K.K., Gerner F.H., Slater D. Dynamic behavior of compressor stations // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. — 2011. — Vol. 133, No. 7. — P. 072401. — DOI: 10.1115/1.4002566.
3. Mamdani E.H., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller // International Journal of Man-Machine Studies. — 1975. — Vol. 7, No. 1. — P. 1–13. — DOI: 10.1016/S0020-7373(75)80002-2.
4. Zadeh L.A. Fuzzy sets // Information and Control. — 1965. — Vol. 8, No. 3. — P. 338–353. — DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.


ISSN 3030-3907

5. Moren J., Andersson S., Jonsson P. Intelligent control of compressor stations: a review // IEEE Transactions on Industrial Electronics. — 2019. — Vol. 66, No. 4. — P. 2791–2800. — DOI: 10.1109/TIE.2018.2860557.
6. Driankov D., Hellendoorn H., Reinfrank M. An Introduction to Fuzzy Control. 2nd ed. — Berlin: Springer, 1996. — 316 p.
7. Yılmaz S., Tunç H. Application of fuzzy logic controller to gas compression unit // Energy Conversion and Management. — 2015. — Vol. 93. — P. 284–293. — DOI: 10.1016/j.enconman.2015.01.024.
8. Hafaifa A., Laroussi K., Guemana M. Application of fuzzy logic in the pressure and flow controls for centrifugal compressor // 2nd IEEE International Conference on Information and Communication Technologies. — 2006. — P. 3195–3200.
9. Нуров С.С., Мусаев А.Х. Исследование робастности нечёткого регулятора ГКС к изменению состава транспортируемого газа // [в печати, 2026].
10. Kurz R., Brun K. Gas turbine performance // Proceedings of the 29th Turbomachinery Symposium. — Houston: Texas A&M University, 2000. — P. 247–263.
11. Camacho E.F., Bordons C. Model Predictive Control. 2nd ed. — London: Springer, 2004. — 405 p.
12. Jang J.S.R. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. — 1993. — Vol. 23, No. 3. — P. 665–685.
13. Нуров С.С., Махмудов М.И. Разработка схемы управления аэрационным процессом при биологической очистке сточных вод с экономией энергии // AIP Conference Proceedings. — 2025. — Vol. 3331. — P. 030012. — DOI: 10.1063/5.0307247.
14. Staroselsky N., Ladin L. Improved surge control for centrifugal compressors // Chemical Engineering Progress. — 1979. — Vol. 75, No. 5. — P. 55–63.
15. Åström K.J., Hägglund T. Advanced PID Control. — Research Triangle Park: ISA, 2006. — 460 p.
16. Cumpsty N.A. Compressor Aerodynamics. 2nd ed. — Malabar: Krieger Publishing, 2004. — 552 p.


ISSN 3030-3907

# АЗНЕК ФОСФОРИТИ АСОСИДА ЭКСТРАКЦИОН ФОСФАТ КИСЛОТА ОЛИШДА ҲОСИЛ БЎЛАДИГАН ФОСФОГИПСДАН БОҒЛОВЧИ МАТЕРИАЛЛАР ТАЙЁРЛАШ

**Қаршиев Б.Н.**
*“G-Test” МЧЖ, Тошкент шаҳар, Тошкент.*
*E-mail: qarshiyevb@mail.ru*
**Нуриддинова З.А.**
*Навоий давлат кончилик ва технологиялар университети, Навоий шаҳар, Навоий.*
**Хуррамов Н.И.**
*Навоий давлат кончилик ва технологиялар университети, Навоий шаҳар, Навоий.*
**Сейтназаров А.Р.**
*Ўзбекистон Республикаси фанлар академияси умумий ва ноорганик кимё институти, Тошкент шаҳар, Тошкент.*
**Маматалиев А.А.**
*Ўзбекистон Республикаси фанлар академияси умумий ва ноорганик кимё институти, Тошкент шаҳар, Тошкент.*

**Аннотация.** В статье исследована возможность использования техногенного фосфогипса, образующегося при получении экстракционной фосфорной кислоты из фосфоритов месторождения Азнек, в качестве сырьевого компонента для получения расширяющихся вяжущих материалов. Для снижения негативного влияния примесей на свойства цементных систем предложена поэтапная промывка фосфогипса непосредственно в технологическом процессе. В качестве дополнительных компонентов использованы металлургический шлак, портландцемент, зола Ангренской ТЭС и туффит. Изучены сроки схватывания, нормальная густота, удельная поверхность после помола, прочность при сжатии и коэффициент размягчения полученных вяжущих составов. Микроскопический анализ показал, что увеличение времени выдержки фосфогипсовой суспензии в реакторе способствует формированию более крупных и упорядоченных игольчатых кристаллов, что положительно влияет на фильтрационные свойства осадка. Установлено, что составы на основе фосфогипса с добавлением металлургического шлака и портландцемента характеризуются прочностью при сжатии 30–38 МПа и коэффициентом размягчения 0,86–0,96. Полученные результаты подтверждают перспективность использования фосфогипса в технологии расширяющихся вяжущих материалов и позволяют рассматривать данный подход как ресурсосберегающее и экологически целесообразное направление переработки техногенных отходов.


ISSN 3030-3907

**Ключевые слова:** фосфогипс, Азнекские фосфориты, экстракционная фосфорная кислота, расширяющийся цемент, вяжущий материал, металлургический шлак, портландцемент, зола ТЭС, туффит, прочность при сжатии, коэффициент размягчения.

**Annotation.** This article investigates the possibility of using technogenic phosphogypsum formed during the production of wet-process phosphoric acid from Aznek phosphorites as a raw material component for obtaining expansive binding materials. To reduce the negative influence of impurities on the properties of cement systems, a stage-by-stage washing of phosphogypsum directly within the technological process is proposed. Metallurgical slag, Portland cement, ash from the Angren thermal power plant and tuffite were used as additional components. The setting time, normal consistency, specific surface area after grinding, compressive strength and softening coefficient of the obtained binder compositions were studied. Microscopic analysis showed that increasing the holding time of the phosphogypsum suspension in the reactor promotes the formation of larger and more ordered needle-shaped crystals, which positively affects the filtration properties of the precipitate. It was established that phosphogypsum-based compositions modified with metallurgical slag and Portland cement demonstrated compressive strength values of 30–38 MPa and a softening coefficient of 0.86–0.96. The obtained results confirm the prospects of using phosphogypsum in the technology of expansive binding materials and indicate that this approach can be considered a resource-saving and environmentally appropriate direction for the recycling of technogenic waste.

**Keywords:** phosphogypsum, Aznek phosphorites, wet-process phosphoric acid, expansive cement, binding material, metallurgical slag, Portland cement, thermal power plant ash, tuffite, compressive strength, softening coefficient.

**Аннотация.** Ушбу мақолада Азнек кони фосфоритини сульфат кислотали қайта ишлаш орқали экстракцион фосфат кислота олиш жараёнида ҳосил бўладиган техноген чиқинди — фосфогипсни боғловчи материаллар таркибида қўллаш имкониятлари ўрганилди. Фосфогипснинг экологик хавфини камайтириш ва уни технологик жиҳатдан фаол хомашёга айлантириш мақсадида босқичма-босқич ювиш усули таклиф этилди. Тадқиқотда фосфогипс, металлургик шлак, портландцемент, Ангрен кули ва туффит асосида кенгаювчи боғловчи таркиблар тайёрланди. Олинган намуналарнинг қотиш вақти, қуюқлик меъёри, майдаланиш даражаси, сиқилишдаги мустаҳкамлиги ва юмшаш коэффициенти аниқланди. Микроскопик таҳлил натижалари реакторда ушлаб туриш вақти фосфогипс кристалларининг морфологияси ва фильтрланиш хусусиятларига таъсир кўрсатишини кўрсатди. 4 соат ушлаб турилган намуналарда йирикроқ ва


ISSN 3030-3907

тартиблироқ игнасимон кристаллар ҳосил бўлиб, бу қаттиқ-суюқ фазаларнинг ажралишига ижобий таъсир кўрсатди. Тажриба натижалари фосфогипс асосида юқори мустаҳкамликка, тез қотиш хусусиятига ва нисбатан юқори сувбардошликка эга кенгаювчи боғловчи материаллар олиш мумкинлигини тасдиқлади.

**Калит сўзлар:** фосфогипс, Азнек фосфорити, экстракцион фосфат кислота, кенгаювчи цемент, боғловчи материал, металлургик шлак, Ангрен кули, туффит, сиқилиш мустаҳкамлиги, юмшаш коэффициенти.

**ВВЕДЕНИЕ.**

Фосфогипс (ФГ) бу фосфорли ўғитлар ишлаб чиқариш учун асосий хом ашё ҳисобланган ЭФК ишлаб чиқаришда ҳосил бўладиган техноген чиқинди бўлиб, бу табиий фосфорит ёки апатитни сульфат кислота билан қайта ишлаш натижасида ҳосил бўлади. Унинг таркиби асосан кальций сульфат икки молекула сувдан ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) иборат. ФГ нинг энг йирик техноген чиқиндиси Олмалиқ шаҳрида тўпланиб қолган. Бугунги кунда унинг миқдори ортиб бориши билан ушбу техноген чиқиндини эгаллаган ҳудудларининг кўлами ҳам кенгайиб бормоқда. Яъни, биргина “Аммофос-Максам” АЖ ҳудудида 77 млн. тонна яқин ФГ техноген чиқиндиси йиғилиб бориши натижасида маҳаллий экологик муаммоларни келтириб чиқармоқда. Бунда, ФГ таркибидаги фторнинг, оғир металларнинг, олтингугуртнинг атроф-муҳит экологиясига ва ерга сингиши туфайли ўша ҳудуднинг флора, фауна ва айниқса, жамиятга ўзининг жуда ёмон салбий таъсирларини келтириб чиқармоқда. Бундан ташқари, ФГ жуда майда чанг фракцияли заррачалари шамол ёрдамида яқин ҳонадонларга учиб бориши натижасида аҳоли ўртасида турли аллергик кассаликларни келтириб чиқармоқда ва бу ўз навбатида атроф-муҳит экологияси ва соғлиқни сақлаш тиббий йўналиши бўйича катта муаммоларни келтириб чиқаради.

Шунинг учун, бутун ер юзида шунингдек, Ўзбекистонда ҳам ФГ ни қайта ишлаш (утилизация) орқали ундан тайёр маҳсулот ишлаб чиқариш жуда долзарб муаммога айланиб қолган.

“Азнек” кони фосфорит унини (ФУ) сульфат кислотали қайта ишлаш орқали экстракцион фосфор кислота (ЭФК) ишлаб чиқаришда ҳосил бўладиган техноген чиқинди фосфогип, сода заводи қаттиқ карбонат чиқиндилари (СЗҚКЧ), Ангрен ва янгиангрен иссиқлик электр станцияларининг кули ва шлаклари кўплаб экологик муаммоларни келтириб чиқармоқда. Фосфогипс, кул, шлак ва сода чиқиндиларини суюқ ҳолда сақлаш ҳамда ташиш қўшимча харажатлар ва соғлиқни сақлаш тиббий йўналиши бўйича катта муаммоларни келтириб чиқаради.


ISSN 3030-3907

Биз бу тадқиқот ишимизда юқоридагиларни инобатга олган ҳолда “Азнек” кони ФУ сульфат кислотали қайта ишлаш орқали ЭФК ишлаб чиқаришда ҳосил бўладиган техноген чиқинди фосфогипс асосида махсус цементлар ишлаб чиқаришни такомиллаштириш устиди эксперимент ишларини ўтқаздик.

Ҳозирги вақтда махсус цементлар олишнинг асосий тўрт йўналиши маълум:

1. Оддий цементларнинг минералогик ва моддий таркибини қисман ўзгартирилиши ва уларни ишлаб чиқаришнинг параметрлари бироз ўзгартириш ёки «қатъийлаштириш». Бундай йўл орқали юқори мустаҳкам ва тез қотувчи портланд ва шлакопортландцементлар, асбестоцемент буюмлари тайёрлаш учун керакли цементлар олинади.

2. Маълум цементлар клинкер минераллари таркибига барий, стронций, фосфор, фтор ва ҳ.к., клинкер минералларининг кристалл панжарасини ўзгартирувчи ёки клинкер таркибида клинкер минералларининг анъанавий оксидларини ўрнини олиб, янги бирикмалар ва қаттиқ эритмалар ҳосил қилувчи ва шу билан цементлар хоссаларига сезиларли таъсир кўрсатувчи элементлар кириши.

3. Цемент таркибига органик ва асосан сирт фаол қўшимчаларни киритиш, гидрофоб, пластификацияланган, ҳаво тортувчи ва ҳ.к. қўшимчалар кириши.

4. Цемент тошининг хоссаларини белгиловчи берилган гидротацион структурадан цемент олиш мақсадида майдалаш чоғида турли моддалар аралаштирган ҳолда олинувчи цементлар. Бундай турдаги цементларга кенгаювчи цементлар, тез қотувчи ва тампонажли ва бошқа цементларнинг баъзи турлари киради.

Бу энг истиқболли йўналиш бўлиб, махсус синтезланган аралаш цементларнинг турли компонентлари цемент тошининг мустаҳкам структурасини ҳосил бўлишига қотиш жараёнининг турли босқичларида ўз хиссасини қўшади. Бундай йўналиш янги эмас. Улар мустаҳкамликни тез ўсиши, киришмаслиги ёки кенгайиши ва бошқа фойдали қурилиш – техник хусусиятлари билан ажралиб туради.

Кенгаювчи цемент деб (КЦ) одатдаги цементдан фарқли ўлароқ сувда ва ҳавола қотувчи, сувда ва хаводаги нам шароитларда ҳажмини ортиши, зичлашиши, уларнинг кенгайишини чекланишида эса – цемент тошини ўз-ўзидан кучланишини таъминловчи боғловчи моддаларга айтилади. Кенгаювчи цементлар бетон ва қотишмаларга юқори сувўтказмаслик ва ёриқбардошлик хусусиятни беради, шунга кўра улар йиғма темирбетон элементлари тайёрлаш учун, гидротехника қурилишларида, нефт ва газ


ISSN 3030-3907

сақлаш учун идишлар тайёрлашда, чокларни ёпишда, қопламаларда, пол ва йўллар, аэродром қуришда, темирбетон буюмлар тайёрлашда қўлланилади. Юқори кенгайиш потенциалига эга бўлган кенгаювчи цементлардан темирбетонни дастлабки кучлантириш (ўз-ўзидан кучланиш) учун фойдаланилиши мумкин. Цементлардан қурилишнинг турли-туман соҳаларидан фойдаланилиши улар маълум талаблар қўйилишини тақоза қилади, айниқса уларни қотиш чоғида кенгайиш хусусиятларига алоҳида талаблар қўйилади, қайсики бу цементларнинг қуйидагича таснифланишига асос бўлади: киришмайдиган, кенгаювчи, тарангланувчи цементлар. Киришмайдиган цементлар унча катта бўлмаган кенгайиш хусусиятига эга бўлади. Кенгаювчи цементлар юқори кенгайиш энергиясига эга бўлади [1-4].

Тарангланувчи цементлар (ТЦ) – кучланиш чоғида арматурани чўзиш ва бетоннинг арматура билан бўлган илашишини бузмаган ҳолда сиқиш хусусиятига эга бўлган юқорикенгайиш энергиясига эга цементлардир. Домна ва фосфор шлакларидан фарқли ўлароқ, кул одатда ўзининг кимёвий ва минералогик таркибида кўпроқ ўзгарувчанликка эга бўлади. Эътиборли жиҳати шундаки, унинг таркибидаги ёнмаган углерод цемент пастаси ва бетоннинг физик-механик ҳамда эксплуатацион сифатларига салбий таъсир кўрсатиши мумкин. Бу зарарли таъсир ёнмаган кўмирнинг вақт ўтиши билан оксидланиб, тайёр маҳсулотларнинг мустаҳкамлиги ва чидамлилигини сусайтириш хавфидан келиб чиқади. Кулнинг салбий томонлари, шунингдек, унинг таркибидаги беқарор фазалар бўлиб, улар цемент тоши ва бетон қотгунга қадар ҳамда қотгандан кейин ташқи кучлар, масалан, сув билан таъсирлашганда янада ўзгариши мумкин. Буларга куйдирилмаган, сувга тегиб бўкадиган ва тарқаладиган, яъни ҳажмини катталаштирадиган лойли моддалар киради[5-8].

Фосфогипс-кимё саноатининг мухим, дисперс ва қўшимча махсулот, у портландцемент ишлаб чиқаришда, клинкернинг майдаланиш жараёнида қўшимча сифатида қўлланилади. Фосфогипс ГОСТ.4013-82 бўйича 1-2 навининг тайёр махсулоти бўлиб, унинг таркибида 95% дан ортиқ кальций сульфат мавжуд. Цемент ишлаб чиқариш шартларига кўра фосфогипсга қўйилган бир қанча талаблар мавжуд бўлиб у қуйидаги хужжат билан меъёрлаштирилади (ТУ 6-08-409-78).

**МАТЕРИАЛЛАР ВА МЕТОДЛАР.**

Тадқиқот объекти сифатида Азнек кони фосфорит унини сульфат кислотали қайта ишлаш орқали ЭФК олиш жараёнида ҳосил бўладиган фосфогипс танланди. Қўшимча хомашё компонентлари сифатида металлургик шлак, портландцемент, Ангрен иссиқлик электр станцияси кули ва туффитдан фойдаланилди.


ISSN 3030-3907

Фосфогипсни боғловчи материаллар технологиясида қўллашдан олдин уни цемент хоссаларига салбий таъсир кўрсатувчи қўшимчалардан тозалаш мақсадида босқичма-босқич ювиш амалга оширилди. Дастлаб фосфогипсли бўтқа кучсиз сульфат кислотали эритма билан, кейин эса нейтрал муҳитга яқин ҳолатга келгунча сув билан ювилди. Ювиш жараёни фосфогипс таркибидаги эркин кислоталар, сувда эрувчан фосфатлар ва бошқа зарарли қўшимчаларни камайтиришга қаратилди.

Фосфогипс кристалларининг шаклланиши ва фильтрланиш хусусиятларини баҳолаш учун фосфогипсли бўтқа реакторда 2 ва 4 соат давомида ушлаб турилди. Белгиланган вақтдан сўнг намуналар фильтрлаш орқали ажратиб олинди ва BS-2046T тринокуляр биологик микроскоп ёрдамида таҳлил қилинди. Микроскопик таҳлилда кристалларнинг шакли, ўлчами, игнасимон тузилиши ва зич жойлашиш хусусиятлари баҳоланди.

Кенгаювчи боғловчи материаллар тайёрлаш учун ювилган фосфогипсга турли нисбатларда металлургик шлак ва портландцемент қўшилди. Алоҳида тажриба серияларида Ангрен кули, портландцемент ва туффит асосидаги таркиблар ҳам ўрганилди. Тайёрланган аралашмалар майдаланди, зарур ҳолларда термик ёки гидротермик ишлов берилди ва уларнинг технологик ҳамда физик-механик хоссалари аниқланди.

Олинган боғловчи материаллар қуюқлик меъёри, қотиш вақтининг бошланиши ва охири, майдалашдан кейинги солиштирма юза майдони, сиқилишдаги мустаҳкамлик ва юмшаш коэффициенти бўйича баҳоланди. Ушбу кўрсаткичлар асосида фосфогипс, металлургик шлак, Ангрен кули, туффит ва портландцемент иштирокида тайёрланган кенгаювчи боғловчи таркибларнинг самарадорлиги солиштирилди.

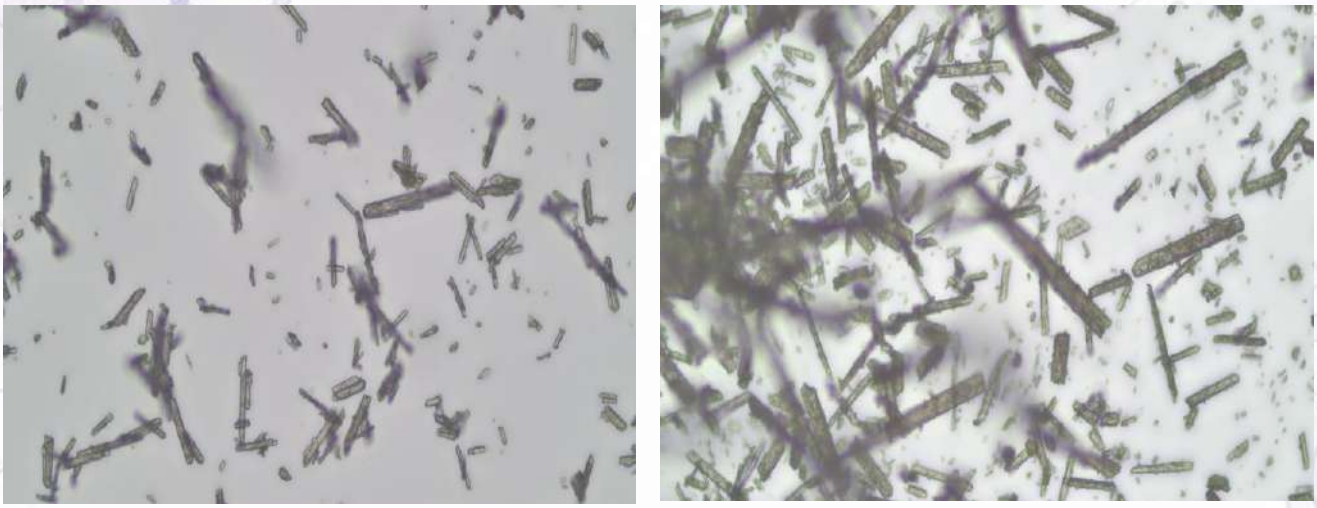
**НАТИЖА ВА МУҲОКАМА.**

“Азнек” кони ФУ сульфат кислотали қайта ишлаш орқали ЭФК ишлаб чиқаришда ҳосил бўладиган техноген чиқинди фосфогипсли бўтқани реакторда 2 ва 4 соат ушлаб турилгандан сўнг олинган фосфогипс намуналари филтрлаш йўли билан ажратиб олинди ва 40х объектив (НА = 0,65) билан жиҳозланган BS-2046T тринокуляр биологик микроскоп ёрдамида таҳлил қилинди. Микроскопик текширув шуни кўрсатдики, ушлаб туриш вақти ҳосил бўлган фосфогипс кристалларининг морфологияси ва ўлчам тақсимотига сезиларли таъсир кўрсатди.

2 соатлик кристалланишдан сўнг чўкмага тушган фосфогипс асосан ўлчамлари 0,32 дан 0,46 нм гача бўлган майда игнасимон кристаллардан ташкил топган. Бу кристаллар нисбатан ихчам ва зич жойлашган бўлиб, кристалланиш жараёни ҳали кристаллар ўсишининг бошланғич босқичида эканлигини кўрсатади. Аксинча, ушлаб туриш вақтини 4 соатгача узайтириш


ISSN 3030-3907

кристалларнинг сезиларли даражада ўсишига олиб келди, бу эса ўлчамлари 0,96 дан 1,58 нм гача бўлган йирикроқ ва аниқроқ игнасимон кристалларнинг шаклланишига олиб келди (1 расм).



**а)** **б)**

**1 расм. “Азнек” кони ФУдан ЭФК ишлаб чиқаришда ҳосил бўладиган техноген чиқинди фосфогипсли бўтқани реакторда 2(а) ва 4(б) соат ушлаб турилгандан сўнг олинган фосфогипс намуналарининг микраскопик тасвири.**

Фосфогипс кристалларининг йириклашиши фильтрация самарадорлигига бевосита ижобий таъсир кўрсатди. Майда кристаллар паст ўтказувчанликка эга бўлган зич фильтр кекларини ҳосил қилади, бу эса гидравлик қаршиликни оширади ва фильтрация тезлигини пасайтиради. Аксинча, йирикроқ игнасимон кристаллар ўзаро боғланган бўшлиқларга эга бўлган ғовакроқ кек структурасини ҳосил қилади, бу эса суюқликнинг фильтр муҳити орқали ўтишини осонлаштиради ва филтрлаш қаршилигини камайтиради. Натижада, 4 соат ушлаб турилгандан сўнг олинган фосфогипс, атиги 2 соат ушлаб турилган намунага нисбатан юқори филтрлаш хусусиятларини намоён қилди.

Ушбу натижалар шуни кўрсатадики, реакторда ушлаб туриш вақти фосфогипс кристалларининг ўсишини ва кейинги филтрлаш хусусиятини бошқарувчи муҳим параметр ҳисобланади. Ушланиш вақтини 2 соатдан 4 соатгача ошириш йирикроқ ва тартиблироқ кристаллар ҳосил бўлишига ёрдам беради, бу эса қаттиқ-суюқ фазаларга ажралиш жараёнини кучайтиради ва экстракцион фосфат кислота ишлаб чиқаришнинг умумий самарадорлигини оширади. Таклиф қилинадиган фосфогипсни қўшимчалардан тозалаш технологиясининг бошқа машхур усуллардан афзаллиги шундаки технологик жараёнлар сони камлиги, ЭФК ишлаб чиқаришнинг ўзида тўғридан тўғри фосфогипсни тозалаб боғловчи


ISSN 3030-3907

материаллар ишлаб чиқаришга йўналтириш, стандарт технологик ускуналар қўлланилиши, фосфогипсга ишлов беришда юқори хароратли жараёнлар йўқлиги, экологик тоза ишлаб чиқариш, чанг ва газларни ушлаб қолувчи қурилмаларга эхтиёж йўқлиги.

Хом ашё компенентлари СЗҚКЧ, шлак кули ва фосфогипсдан тайёрланган бўлиб, кремний тўйинганлик коэффициентининг қийматлари оҳак pH=0,67 ва сулфосиликат модули нс=0,1, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 ва 3,0 га мос келади. Сулфосиликат модулининг ошиши билан аралашмаларда СЗҚКЧ ва шлак кули улушлари камайди, фосфогипс миқдори эса кўтарилиб, 50% гача етди. Хомашё аралашмалари №008 маркали элакдан ўтқазилаб лаборатория силикат печида 1523 К ҳароратда бир соат давомида куйдирилди. Синтез қилинган клинкерда эркин оҳакнинг йўқлиги минерал ҳосил бўлишининг тугалланганлигини кўрсатади.

Биз томондан фосфогипс чиқиндиларидан фойдаланишнинг яна уч хил йўли таклиф қилинади. Фосфогипс асосидаги кенгаювчиларига талаб чексиз. Шу билан бир қаторда иссиқлик электростанцияларининг ва металлургик ишлаб чиқаришнинг чиқиндиларидан фойдаланилади(1-жадвал). Металлургик шлаклар кленкерсиз кенгаювчи моддаларнинг махаллий ишлаб чиқарилишида яхши хом-ашё ҳисобланади. Бу кенгаювчилар қурилиш эритмалари, паст навли бетонлар ва турли хил автоклав маҳсулотларини ишлаб чиқаришда кенг қулланилиши мумкин.

Фосфогипс қоришмасига металлургик шлаки ва портландцемент 5, 10% ва 10, 5% қушилган ҳолатининг турли ювилиш даражасидаги фосфогипс кенгаювчисининг юмшаш коэффицентига бўлган таъсири ўрганилиб, аниқландики юқорида кўрсатилган миқдордаги қўшимчалар тажрибаларда юмшаш коэффицентини 0,86 дан 0,96 гача оширишга имкон беради. Ангрен кули асосида фосфогипсдан ўхшаш натижалар олиш имкони 2-жадвалда кўрсатилган. Дастлабки фосфогипс ва портландцемент

**1-жадвал**

**Бекобод металлургик заводининг шлак ва портландцемент қўшилган кенгаювчиларнинг “Азнек” кони ФУ дан ЭФК ишлаб чиқаришда ҳосил бўлган фосфогипсдан олинган цемент тошининг хусусиятлари**

| № | миқдори | | Майдалашдан кейинги солиштирма оғирлиги, $см^2/г$ | Қуюқлик меъёри,% | Қотиш вақти, мин. | | Rск МПа | Юмшоқлик коэффиценти, $K_г$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | шлак % | порт.ц. % | | | боши | охири | | |
| 1 | 5 | 10 | 4300 | 40 | 190 | 300 | 30 | 0,87 |


ISSN 3030-3907

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 5 | 10 | 5200 | 40 | 180 | 260 | 34 | 0,96 |
| 3 | 5 | 10 | 5200 | 42 | 175 | 235 | 35 | 0,86 |
| 4 | 5 | 10 | 4900 | 43 | 160 | 220 | 35 | 0,90 |
| 5 | 5 | 10 | 4950 | 40 | 150 | 210 | 36 | 0,88 |
| 6 | 10 | 5 | 4900 | 41 | 230 | 300 | 34 | 0,89 |
| 7 | 10 | 5 | 4950 | 42 | 220 | 290 | 35 | 0,91 |
| 8 | 10 | 5 | 5000 | 40 | 210 | 280 | 36 | 0,92 |
| 9 | 10 | 5 | 4950 | 39 | 200 | 260 | 37 | 0,94 |
| 10 | 10 | 5 | 4790 | 41 | 180 | 250 | 38 | 0,95 |

Қоришмасига Ангрен кули қўшилади, гидротермик ишлов берилади, қўритилади, майдаланади ва юқорида келтирилган усуллар билан кенгаювчиларнинг хусусиятлари ўрганилади. Ўрганилган маълумотлардан келиб чиқиб, дастлабки қоришмага портландцемент ва кул қўшилиши кенгаювчининг сифатига ва кальций сульфатнинг α-яримгидрати ($\alpha$-$CaSO_4 \cdot 0,5\ H_2O$) сезиларли таъсир кўрсатади. Натижада кенгаювчининг сувга эхтиёжи катта бўлмайди ва мустахкамлик кўрсаткичлари нисбатан юқори.

**2-жадвал**

**Ангрен кули, портландцемент ва туффит қўшилган ва 600°С куйдирилган фосфогипсдан олинган кенгаювчининг хусусиятлари**

| № | Миқдори, % | | | pH бўтқа | Дегидратация | Майдалашдан кейинги | Майдаланиш вақти сек | Қуюқлик меъёри,, | Қотиш вақти мин. | | $R_{сқ}$ | Юмшоқлик коэффициенти, $K_г$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | туффит | кул | П.цемент | | | | | | Боши | Охири | | |
| 1 | 3 | 20 | 3 | 4 | 125 | 4600 | 50 | 36 | 23 | 36 | 25 | 0,81 |
| 2 | 9 | 20 | 6 | 5 | 130 | 4800 | 50 | 37 | 33 | 65 | 30 | 0,85 |

Фосфогипс чиқиндиларини қайта ишлашнинг бундай усулларини қўлланилиши, қурилишда ишлатиладиган махсулотлар сонини кенгайтириш, паст таннархга ва юқори сифат кўрсаткичига эга бўлган катта хажмда махсулотлар ишлаб чиқариш, ишлаб чиқариш юқори бўлган ускуналарда тўхтовсиз технологик жараённи амалга ошириш, шунингдек уларни механизациялаштириш ва автоматизациялаштириш имконини яратади.

3-жадвалда гидротермик ишловсиз олинган кенгаювчининг натижалари келтирилган. Натижалар шуни кўрсатаяпдики, бошланғич вақтда мустахкамлик юқори, юшоқлик коэффициенти эса портландцемент, фосфогипс ва туффитнинг миқдорига қараб 0,52 дан 0,70 гача ортган.

**3-жадвал**


ISSN 3030-3907

**600°С да куйдирилган туффит асосидаги кенгаювчининг хусусиятлари**

| Боғловчининг таркиби, % | | | С/Ц | Қотиш вақти, мин | | Боғловчини сқилишдаги мустаҳкамлиги, МПа, | | | Юмшоқлик коэффициент, $K_г$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Фосфогипс | Портландцемент | туффит | | боши | охири | 20 мин | 2 соат | 24 соат | |
| 100 | - | - | 0,67 | 8,5 | 14,0 | 0,3 | 6,0 | - | - |
| 80 | 15 | 5 | 0,65 | 6,5 | 12,5 | 1,5 | 2,3 | 13 | 0,52 |
| 75 | 18 | 7 | 0,63 | 6,0 | 12,1 | 1,4 | 2,1 | 15 | 0,60 |
| 65 | 26 | 9 | 0,62 | 5,5 | 11,5 | 1,2 | 1,8 | 16 | 0,64 |
| 55 | 34 | 11 | 0,60 | 5,5 | 11,4 | 1,1 | 1,5 | 17 | 0,70 |

Техноген материаллардан клинкер ишлаб чиқаришда хомашё сифатида фойдаланиш хомашё базасини кенгайтиради, клинкернинг махсус турларини ишлаб чиқариш имконини беради ҳамда атроф-муҳитни муҳофаза қилиш ва ахлатхоналар эгаллаган ерларни рекултиватсия қилиш каби замонавий муаммоларни ҳал қилишга ёрдам беради.

**ХУЛОСА.**

Олиб борилган тадқиқот натижалари Азнек кони фосфоритини сульфат кислотали қайта ишлаш жараёнида ҳосил бўладиган фосфогипсни кенгаювчи боғловчи материаллар олиш учун истиқболли техноген хомашё сифатида баҳолаш мумкинлигини кўрсатди. Фосфогипсни босқичма-босқич ювиш унинг таркибидаги зарарли қўшимчаларни камайтириш, цемент тизимига салбий таъсир этувчи компонентларни ажратиш ва кейинги технологик ишлов беришга тайёрлаш имконини беради. Микроскопик таҳлил натижалари реакторда ушлаб туриш вақти фосфогипс кристалларининг морфологиясига таъсир кўрсатишини тасдиқлади. 2 соатлик ушлаб туришда майда ва зич жойлашган игнасимон кристаллар ҳосил бўлган бўлса, 4 соатлик ушлаб туришда йирикроқ ва тартиблироқ кристаллар шаклланди. Бу эса фильтрация жараёнини яхшилаш ва қаттиқ-суюқ фазаларни ажратиш самарадорлигини оширишга хизмат қилади. Фосфогипсга металлургик шлак ва портландцемент қўшилган таркибларда сиқилишдаги мустаҳкамлик 30-38 МПа, юмшаш коэффициенти эса 0,86-0,96 оралиғида бўлди. Ангрен кули, портландцемент ва туффит қўшилган таркиблар ҳам ижобий натижа берди, аммо металлургик шлакли таркиблар физик-механик кўрсаткичлар бўйича самаралироқ экани аниқланди.


ISSN 3030-3907

Умуман, фосфогипс асосида боғловчи материаллар ишлаб чиқиш техноген чиқиндиларни қайта ишлаш, хомашё базасини кенгайтириш, маҳсулот таннархини пасайтириш ва экологик муаммоларни камайтиришга хизмат қилади.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Т.А. Атакузиев, Б.Н. Каршиев. Гранулированный фосфогипс для цементной промышленности и фосфогипсовые изделия для строительства. //“Химическая технология. Контроль управление”. Международный научно-технический журнал. Ташкент, 2017, №2, -С. 24-27.
2. Атакузиев Т.А., Мирзаев Ф.М. Сульфоминеральные цементы на основе фосфогипса. Ташкент, изд-во «ФАН»Узб.ССР,1979. С. 149
3. Атакузиев Т.А., Тохтахунова Г.А., Шамадинова Н.Э. Технология вяжущего повышенной водостойкости на основе фосфогипса и отвальных сталелитейных шлаков.// Первая международная конференция «Ресурсосберегающие технологии переработки фосфоритов Центральных Кызылкумов в фосфорсодержащие удобрения и фосфорные соли», Тезисы докладов, Ташкент, 2016. С.72.
4. Атақўзиев Т.А., Қаршиев.Б.Н. *Фосфогипсдан фойдаланишининг самарали, экалогик ва иқтисодий ечими.* //“Экология хабарномаси” Ўзбекистон Республикаси Табиатни муҳофаза қилиш давлат қўмитасининг ахборот-таҳлилий ва илмий-амалий журнали. Тошкент, 2017. №3. 31-32 б.
5. А.М. Искендеров, Т.А. Атакузиев, Б.Н. Каршиев. Фосфогипсо-известковый спек, как интенсифицирующая добавка процесса гидратации портландцемента. «Узбекский химический журнал», Ташкент, 2015. №6. С.56 – 59.
6. Т.А. Атакузиев, Б.Н. Каршиев, А.М. Искендеров. Универсальная добавка на основе фосфогипса и твердых отходов содового производства для получения специальных цементов, различного назначения. //Первая международная конференция «Ресурсосберегающие технологии переработки фосфоритов Центральных Кызылкумов в фосфорсодержащие удобрения и фосфорные соли» Тезисы докладов. Ташкент, 2016. –С.70-71.
7. Каршиев Б.Н., Шамадинова Н.Э., Атакузиев Т.А. Изучение морозостойкости бетонов содержащих твердый отход содового производства (ТОСП). // Академик А.Ғ. Ғаниевнинг 85 йиллигига бағишланган “Аналитик кимё фанининг долзарб муаммолари” V Республика илмий-амалий анжумани материаллари тшплами. Термиз, 2017. 26-28 апрел. 150-151 б.


ISSN 3030-3907

# ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЛИНИЯХ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА (HVDC)

**Турсунов Дониёр Абдусалимович**
***Ферганский государственный технический университет***
***E-mail: doniyortakaha@gmail.com***
**Исмоилов Фазлиддин Жамолиддин угли**
***Ферганский государственный технический университет***
***E-mail: ismoilovfazliddin378@gmail.com***

**Аннотация.** В данной работе рассматривается передача электрической энергии на большие расстояния с использованием линий высокого напряжения постоянного тока (HVDC). Представлено сравнение систем передачи переменного тока (HVAC) и постоянного тока (HVDC), демонстрирующее экономические преимущества технологии HVDC при передаче энергии на дальние расстояния. Приведена упрощённая модель оценки потерь в преобразователях, потерь энергии в линии и общей экономической эффективности. Выполнены пошаговые расчёты для передачи мощности 1000 МВт на расстояние 1000 км с использованием линии HVDC 500 кВ и линии HVAC 500 кВ.

**Ключевые слова:** высоковольтный постоянный ток, передача HVDC, передача мощности, потери преобразователей, энергетические потери, экономическая эффективность, передача на большие расстояния.

**Annotatsiya.** Ushbu ishda elektr energiyasini uzoq masofalarga yuqori kuchlanishli o‘zgarmas tok (HVDC) uzatish liniyalari yordamida uzatish masalasi ko‘rib chiqilgan. O‘zgaruvchan tok (HVAC) va o‘zgarmas tok (HVDC) uzatish tizimlari taqqoslanib, energiyani uzoq masofalarga uzatishda HVDC texnologiyasining iqtisodiy afzalliklari yoritilgan. O‘zgartirgichlardagi yo‘qotishlar, uzatish liniyasidagi energiya yo‘qotishlari hamda umumiy iqtisodiy samaradorlikni baholash uchun soddalashtirilgan model keltirilgan. 500 kV kuchlanishli HVDC va 500 kV kuchlanishli HVAC liniyalari orqali 1000 MVt quvvatni 1000 km masofaga uzatish bo‘yicha bosqichma-bosqich hisob-kitoblar bajarilgan.

**Kalit so‘zlar:** yuqori kuchlanishli o‘zgarmas tok, HVDC uzatish, quvvat uzatish, o‘zgartirgich yo‘qotishlari, energiya yo‘qotishlari, iqtisodiy samaradorlik, uzoq masofalarga energiya uzatish.

**Abstract.** This paper examines the transmission of electrical energy over long distances using High-Voltage Direct Current (HVDC) transmission lines. A comparison between High-Voltage Alternating Current (HVAC) and High-Voltage Direct Current (HVDC) transmission systems is presented, highlighting the

economic advantages of HVDC technology for long-distance power transmission. A simplified model is developed to evaluate converter losses, transmission line energy losses, and overall economic efficiency. Step-by-step calculations are performed for transmitting 1000 MW of power over a distance of 1000 km using a 500 kV HVDC line and a 500 kV HVAC line.

**Keywords:** High-Voltage Direct Current, HVDC transmission, power transmission, converter losses, energy losses, economic efficiency, long-distance power transmission.

**ВВЕДЕНИЕ.**

Надёжная и экономически эффективная передача электроэнергии на большие расстояния является одной из наиболее актуальных задач энергетических систем. Наряду с традиционно широко применяемыми линиями переменного тока (AC) в последние годы всё большее значение приобретают линии высоковольтного постоянного тока (HVDC). Технология HVDC обладает рядом преимуществ в процессе передачи электроэнергии: в особенности она отличается снижением потерь мощности на больших расстояниях, уменьшением затрат на строительство линии и возможностью объединения энергосистем разных частот. Ещё один важный аспект систем передачи постоянного тока — отсутствие потерь реактивной мощности, что особенно обеспечивает высокую эффективность при кабельной передаче. Кроме того, линии HVDC широко применяются в подводных кабелях, для подключения отдалённых районов к центральным энергосистемам, а также для обеспечения стабильного обмена между несинхронизированными (50/60 Гц) или нестабильными энергосистемами. Развитие технологий HVDC непосредственно связано с появлением мощных полупроводниковых устройств (тиристоров, транзисторов IGBT). Эти устройства позволили передавать энергию в форме постоянного тока на большие расстояния с малыми потерями и создали условия для широкого применения на крупных магистральных линиях. Расширение сети линий HVDC во многих странах мира — в частности в Китае, Индии, Бразилии, России и европейских странах — свидетельствует о высоких перспективах данной технологии. Сегодня сотни линий HVDC, особенно на напряжениях ±600 кВ, ±800 кВ и выше, вносят важный вклад в повышение устойчивости энергосистем. В данной статье проводится научный анализ преимуществ и экономической эффективности линий HVDC.


ISSN 3030-3907



Высоковольтный переменный и постоянный ток Основные соотношения для систем высоковольтного переменного и постоянного тока следующие:

Мощность переменного тока: $I_d = \frac{P}{U}$

Мощность переменного фазного тока: $I_a = \frac{P}{\sqrt{3}U}$

Потеря мощности в линии: $P_i = I^2R$

Общий КПД: $\eta = 1 - \frac{P_i}{P}$

Сопротивления: R =$\rho\frac{l}{S}$ (bu yerda $\rho$ активное сопротивление на 1 км, $l$ длина)

**Параметры**

**Таблица 1**

| | |
|---|---|
| Передаваемая мощность (P) | 1000 MW |
| Расстояние ($l$) | 1000 km |
| HVDC | 500 kV |
| HVAC | 500 kV |
| активное сопротивление провода на 1 км (400мм²)²($r$) | 0.012 Ω/m |
| Потери в конверторах HVDC | ≈ 0.8 % на 2 конвертора, итого ≈ 1.6 % |
| Потери в HVAC | Влияние реактивной мощности и тепловые потери ≈ 4 % |
| Частота | 50 Гц (для HVAC) |

Расчёт HVDC 500 кВ

По каждому полюсу передаётся половина мощности P/2.

$$I_d = \frac{P}{2U} = \frac{1000\ MVt}{2*500kV} = 1000\ A$$

Сопротивление (один провод на полюс):


ISSN 3030-3907

$$R = r \cdot l = 0.012\ \Omega/km \cdot 1000\ km = 12\ \Omega.$$

Тепловые потери (на каждый полюс):

$$\frac{P_i}{2} = I^2 \cdot R = (1000\ A)^2 \cdot 12\ \Omega = 12\ MW.$$

Суммарные потери в линии по двум полюсам

$$P_i = 2 \cdot 12\ MW = 24\ MW\ (2.4\ \%).$$

Потери в конверторах (два конвертора):

$$\approx 2*0.8\ \% \cdot 1000\ MW = 16\ MW.$$

Суммарные потери в сети HVDC:

$$24\ MW + 16\ MW = 40\ MW\ (\approx 4.0\ \%).$$

КПД системы HVDC:

$$\eta \approx 1 - 40/1000 = 96.0\ \%$$

**Расчёт HVAC (500 кВ):**

$$I_a = \frac{P}{\sqrt{3}U} = \frac{1000\ MW}{\sqrt{3}*500\ kV} \approx 1154\ A$$

Сопротивление для каждой фазной линии: $R = 12\ \Omega$ (при одинаковом сечении и материале).

Тепловые потери по каждой фазе:

$$\frac{P_r}{3} = I^2 \cdot R \approx (1154\ A)^2 \cdot 12\ \Omega \approx 16\ MW.$$

Суммарные потери по трём фазам:

$$P_r = 3 \cdot 16 \approx 48\ MW\ (\approx 4.8\ \%).$$

С учётом потерь в конверторе, диэлектрических потерь и влияния реактивных токов на большие расстояния принимаем упрощённо 4 % *(≈ 40 MW).*

Суммарные потери в сети HVAC:

$$48\ MW + 40\ MW \approx 88\ MW\ (\approx 8.8\ \%).$$

КПД системы HVAC:

$$\eta_{HVAC} \approx 1 - \frac{88}{1000} = 0.912 = 91.2\%$$

Расстояние, при котором потери в упрощённых сетях AC и DC равны Нормализуем потери по км и приравниваем для AC и DC.

Потери в линии HVDC на каждый км:

$$p_{DC,km} = 2 \cdot \frac{I_{DC}^2 \cdot r_{km}}{P}$$

Заданные значения:

$$I_{DC} = 1000\ A$$
$$r_{km} = 0.012\Omega/km$$
$$P = 1000\ MW$$

$$p_{DC,km} = 2 \cdot \frac{(1000\ \text{A})^2 \cdot 0.012}{1000\ \text{MW}} \cdot 100\% = 0.000024 \cdot 100\% = 0.0024\ \%$$


ISSN 3030-3907

Вычисляем потери для HVAC на каждый км:

$$p_{AC,km,ohm} \approx 0.0048\ \%/\text{km}$$

Примем дополнительные воздействия для каждого км 0.004 %.

Итого $p_{AC,km} \approx 0.0088\ \%/\text{km}$.

Потери в конверторах HVDC не зависят от длины линии и постоянно составляют ≈ 1,6 %

Условие равенства:

$$1.6\% + 0.0024\% \cdot L = 0.0088\% \cdot L$$

$$L = \frac{1.6}{0.0088 - 0.0024} \approx 250\ km$$

Таким образом, на расстояниях более ~250 км потери HVDC меньше, чем у HVAC.

**Упрощённая экономическая модель**

Годовая передача энергии:

$$E = P \cdot T$$

Например, $T = 7000\ soat/yil$.

Стоимость потерь:

$$C_y = (P \cdot l\%) \cdot T \cdot t$$

где:

$t$ — стоимость 1 кВт·ч.

$P = 1000\ MW$

$T = 7000\ soat$

$t = 0.05\ \$/kWh$ (тариф α 600 сум)

$t = 0.67\ \$/kWh$ (тариф β 800 сум)

Сравнивая годовые затраты на потери по HVDC и HVAC с разницей в капитальных затратах на терминалы, о’.

Годовые энергетические потери HVDC:

$$1000\ MW \cdot 4\% \cdot 7000\ h = 280{,}000\ MWh = 280\ GWh$$

Годовые энергетические потери HVAC:

$$1000\ MW \cdot 8.79\% \cdot 7000\ h \approx 615{,}300\ MWh = 615.3\ GWh$$

Годовая разница:

$$615.3 - 280 = 335.3\ GWh$$

В денежном выражении:

$$335.3 \times 10^6\ kWh \times 0.05\ \$/kWh = 16.765\ mln\$/yil$$

$$335.3 \times 10^6\ kWh \times 0.067\ \$/kWh = 22.465\ mln\$/yil$$

Если дополнительный капитал терминалов HVDC составляет, скажем, 200 млн $, срок окупаемости в упрощённом videlashtirilgan holda:

(тариф α 600 сум)


ISSN 3030-3907

$$T_{payback} = \frac{200}{16.765} \approx 11.92\ yil$$

(тариф β 800 сум)

$$T_{payback} = \frac{200}{22.465} \approx 8{,}9\ yil$$

Система HVDC окупится за 12 лет за счёт экономии энергии.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**: Системы HVDC более эффективны при передаче электроэнергии на большие расстояния, т.е. свыше 250 км, имеют меньшие потери энергии и окупаются экономически: по тарифа yo‘qotishlari kamroq, iqtisodiy jihatdan esa по тарифу α в течение 12 лет, по тарифу β — за 9 лет окупается.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Jovcic, D., Van Hertem, D. HVDC Grids: For Offshore and Supergrid of the Future, Second Edition. Wiley, 2022.
2. (Сети HVDC, многотерминальные системы, анализ экономической эффективности.)
3. Pan, J., Xu, Z., Liu, Z. “Recent Progress in Ultra-High Voltage Direct Current (UHVDC) Transmission Technologies.” Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2022.
4. (Технологии UHVDC, энергетическая эффективность, тенденции удешевления.)
5. ABB Hitachi Energy. HVDC Light and HVDC Classic – Technology Update Report, 2023.
6. (Современные конверторы, экономическая эффективность, системы цифрового управления.)
7. Siemens Energy. HVDC PLUS Systems - Technical Overview, 2021–2024.
8. (Модульная конверторная технология (MMC), потери, технико-экономические преимущества.)
9. CIGRÉ Working Group B4 Reports.
10. Technical Feasibility of 1200 kV UHVDC Lines, 2021
11. Economics of VSC-HVDC vs AC Transmission, 2022
12. Reliability of Multi-Terminal HVDC Systems, 2023
13. (Наиболее актуальные международные отчёты по экономическому анализу HVDC и надёжности сетей.)
14. Wang, X., Li, H., Xu, J. “Optimal Planning and Cost Analysis of HVDC Transmission for Renewable Integration.” Electric Power Systems Research, 2023.
15. (Модели расчёта экономической эффективности линий HVDC.)
16. Sun, Q., Zhao, J., et al. “Economic Comparison Between HVAC and HVDC for Long-Distance Bulk Power Transmission.” Energies, 2021.


ISSN 3030-3907

17. (Полное экономическое сравнение систем передачи AC и DC.)
18. IEEE Power & Energy Society. HVDC System Design and Modern Converter Stations, 2022.
19. (Цифровое управление, новая архитектура конверторных подстанций.)
20. Zhang, X., Yusheng, X. “Advanced ±1100 kV UHVDC Transmission in China: Performance and Efficiency.” Energy Reports, 2022.
21. (Потери и эффективность в крупнейших системах HVDC мира.)
22. GE Grid Solutions. Digital HVDC - Intelligent Control Systems for DC Grids, 2024.
23. (Цифровизация, управление HVDC с помощью искусственного интеллекта.)


ISSN 3030-3907

# ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ОРОСИТЕЛЬНО-ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ $K_1$ И $K_2$ (2021–2025 ГГ.) (НА ПРИМЕРЕ КАШКАДАРЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ)

**Турдиева Феруза Алишеровна**
***Каршинский государственный технический университет, ассистент кафедры Экологии и охраны окружающей среды***
***Республика Узбекистан***

**Аннотация.** В работе исследованы пространственные особенности коэффициентов $K_1$ и $K_2$, отражающих соотношение дренажной и оросительной сети Кашкадарьинской области за 2021–2025 гг. Установлено, что различия показателей обусловлены природными условиями и уровнем хозяйственного освоения. Выделены зоны с повышенной нагрузкой на водоотведение и риском ухудшения мелиоративного состояния. Обоснованы направления совершенствования оросительно-дренажной системы для повышения устойчивости и эффективности водопользования.

**Ключевые слова:** коллекторно-дренажная сеть, оросительная сеть, коэффициент $K_1$, коэффициент $K_2$, мелиорация земель, грунтовые воды, орошаемые территории, гидрогеологические условия, водоотведение, эффективность водопользования.

**Annotatsiya.** Maqolada 2021–2025 yillar davomida Qashqadaryo viloyatida drenaj va sug‘orish tarmoqlari nisbatini ifodalovchi $K_1$ va $K_2$ koeffitsientlarining hududiy xususiyatlari o‘rganildi. Ko‘rsatkichlar o‘rtasidagi farqlar tabiiy sharoitlar va xo‘jalik faoliyati darajasi bilan bog‘liqligi aniqlandi. Suv chiqarish tizimiga yuklama yuqori bo‘lgan hamda meliorativ holat yomonlashish xavfi mavjud hududlar ajratib ko‘rsatildi. Sug‘orish-drenaj tizimini takomillashtirish, uning barqarorligi va suvdan foydalanish samaradorligini oshirish bo‘yicha ilmiy asoslangan yo‘nalishlar ishlab chiqildi.

**Kalit so‘zlar:** kollektor-drenaj tarmog‘i, sug‘orish tarmog‘i, $K_1$ koeffitsienti, $K_2$ koeffitsienti, yer melioratsiyasi, sizot suvlari, sug‘oriladigan hududlar, gidrogeologik sharoitlar, suv chiqarish, suvdan foydalanish samaradorligi

**Abstract.** This study examines the spatial characteristics of the $K_1$ and $K_2$ coefficients representing the ratio of drainage and irrigation networks in the Kashkadarya region during 2021–2025. The differences in the indicators are determined by natural conditions and the level of land use intensity. Areas with increased load on the drainage system and a risk of deterioration of land reclamation conditions are identified. Scientifically grounded directions for improving the irrigation and drainage system to enhance sustainability and water use efficiency are proposed.


ISSN 3030-3907

**Keywords:** collector-drainage network, irrigation network, $K_1$ coefficient, $K_2$ coefficient, land reclamation, groundwater, irrigated areas, hydrogeological conditions, drainage, water use efficiency.

**ВВЕДЕНИЕ.**

В условиях аридного климата и интенсивного орошаемого земледелия эффективное функционирование коллекторно-дренажных систем играет ключевую роль в регулировании уровня грунтовых вод и предотвращении деградации почвенного покрова [1]. Нарушение баланса между водоподачей и водоотведением приводит к вторичному засолению, заболачиванию и снижению продуктивности сельскохозяйственных угодий [2]. Одним из наиболее информативных показателей оценки состояния оросительно-дренажных систем являются коэффициенты $K_1$ и $K_2$, отражающие соотношение протяжённости коллекторно-дренажной и оросительной сети на различных уровнях [3].

Целью настоящего исследования является анализ пространственной структуры коэффициентов $K_1$ и $K_2$ по районам Кашкадарьинской области и разработка научно обоснованных рекомендаций по оптимизации мелиоративного состояния территорий.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Анализ относительной протяжённости коллекторно-дренажной и оросительной сети в разрезе административных районов Кашкадарьинской области позволил выявить пространственные различия в уровне инженерно-мелиоративной обеспеченности орошаемых земель и степени напряжённости водно-грунтовых условий. Оценка выполнена на основе показателей $K_1$ и $K_2$, отражающих соотношение дренажной и оросительной инфраструктуры на межхозяйственном и внутрихозяйственном уровнях.

**Таблица 1**

**Относительная протяженность коллекторно-дренажной и оросительной сети Кашкадарьинской области**

| Показатель | Районы | Годы | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| Отношение длины межхозяйственной | Китабский | 0,25<br>0,04 | 0,25<br>0,04 | 0,24<br>0,04 | 0,24<br>0,04 | 0,24<br>0,04 |
| | Шахрисабзский | 0,05<br>0,14 | 0,05<br>0,14 | 0,05<br>0,16 | 0,05<br>0,16 | 0,05<br>0,16 |
| | Яккабагский | 0,75<br>0,20 | 0,74<br>0,20 | 0,79<br>0,20 | 0,79<br>0,20 | 0,79<br>0,20 |


ISSN 3030-3907

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| коллекторно-дренажной сети к длине межхозяйственной оросительной сети, $K_1$/ Отношение длины внутрихозяйственной дренажно-коллекторной сети к длине внутрихозяйст-венных оросительных каналов $K_2$ | Камашинский | 1,11<br>0,45 | 1,16<br>0,45 | 1,23<br>0,45 | 1,23<br>0,45 | 1,21<br>0,45 |
| | Чиракчинский | 0,42<br>0,12 | 1,1<br>0,13 | 0,27<br>0,08 | 0,72<br>0,08 | 0,72<br>0,09 |
| | Кукдалинский | - | - | 0,24<br>0,04 | 0,24<br>0,04 | 0,24<br>0,04 |
| | Гузарский | 2,67<br>0,31 | 2,67<br>0,31 | 2,67<br>0,31 | 2,80<br>0,31 | 2,80<br>0,31 |
| | Нишанский | 17,4<br>0,24 | 17,9<br>0,33 | 17,96<br>0,33 | 17,96<br>0,33 | 23,3<br>0,33 |
| | Каршинский | 4,13<br>0,24 | 4,13<br>0,24 | 4,33<br>0,24 | 4,33<br>0,24 | 4,12<br>0,24 |
| | Касбинский | 1,55<br>0,19 | 1,58<br>0,19 | 1,53<br>0,19 | 1,53<br>0,19 | 1,45<br>0,19 |
| | Касанский | 4,72<br>0,25 | 4,78<br>0,25 | 4,78<br>0,25 | 4,83<br>0,25 | 4,80<br>0,25 |
| | Миришкорский | 2,15<br>0,33 | 2,15<br>0,33 | 2,23<br>0,33 | 2,23<br>0,33 | 2,17<br>0,33 |
| | Мубарекский | 3,87<br>0,59 | 3,87<br>0,59 | 3,37<br>0,59 | 10,1<br>0,59 | 10,1<br>0,59 |
| | По области | 3,25<br>0,26 | 3,36<br>0,26 | 3,05<br>0,25 | 3,61<br>0,25 | 3,99<br>0,25 |

В Китабский район значения показателя $K_1$ в течение всего рассматриваемого периода сохранялись на низком уровне (0,24–0,25), а показатель $K_2$ стабильно составлял около 0,04. Данная ситуация свидетельствует о преобладании благоприятных естественных условий дренирования, обусловленных предгорным рельефом и значительными уклонами поверхности. Коллекторно-дренажная сеть здесь выполняет поддерживающую функцию и не требует высокой плотности размещения. Для Шахрисабзский район характерны минимальные значения $K_1$ (около 0,05) при несколько более высоком, но устойчивом показателе $K_2$ (0,14–0,16). Это указывает на ограниченную протяжённость межхозяйственных коллекторов и сравнительно более развитую внутрихозяйственную сеть, что соответствует условиям локального водоотведения в зоне сложного рельефа и дробной ирригационной структуры. В Яккабагский район показатель $K_1$ в течение периода варьировал в пределах 0,74–0,79, а $K_2$ оставался неизменным на уровне 0,20. Такое соотношение отражает сбалансированное развитие оросительной и дренажной сетей и указывает на устойчивый мелиоративный


ISSN 3030-3907

режим при умеренной нагрузке на систему отвода дренажных вод. Анализ данных по Камашинский район показал устойчиво высокие значения $K_1$ (1,11–1,23) при постоянном значении $K_2$, равном 0,45. Это свидетельствует о значительной роли межхозяйственных коллекторов в регулировании уровня грунтовых вод и необходимости поддержания развитой дренажной инфраструктуры в условиях равнинного рельефа и интенсивного орошения. В Чиракчинский район динамика показателя $K_1$ носит неустойчивый характер, изменяясь от 0,27 до 1,10, что указывает на структурные преобразования коллекторно-дренажной сети в отдельные годы. При этом значения $K_2$ остаются низкими (0,08–0,13), что может ограничивать эффективность водоотведения непосредственно с сельскохозяйственных угодий.

Для Кукдалинский район характерно появление значений показателей начиная с 2022 года, где $K_1$ составляет около 0,24, а $K_2$ — 0,04. Это отражает начальный этап формирования дренажной инфраструктуры и указывает на необходимость её дальнейшего развития с учётом расширения оросимых площадей. В Гузарский район зафиксированы стабильно высокие значения $K_1$ (2,67–2,80) при постоянном $K_2$, равном 0,31. Подобное соотношение свидетельствует о высокой инженерной насыщенности межхозяйственного уровня и значительной роли коллекторов в обеспечении мелиоративной устойчивости земель.

Наиболее выраженные значения показателя $K_1$ характерны для Нишанский район, где он достигает 17,4–23,3. Это указывает на крайне напряжённые гидрогеологические условия, высокий уровень грунтовых вод и необходимость функционирования разветвлённой коллекторно-дренажной сети. При этом показатель $K_2$ (0,24–0,33) остаётся сравнительно умеренным, что подчёркивает диспропорцию между межхозяйственным и внутрихозяйственным уровнями дренирования.

В Каршинский район значения $K_1$ стабильно превышают 4,0, а $K_2$ составляет около 0,24. Данная структура характерна для зон интенсивного земледелия и высокой антропогенной нагрузки на водно-солевой режим почв, где ведущая роль принадлежит магистральным дренажным системам. Для Касбинский район характерны средние значения $K_1$ (1,45–1,58) при устойчивом $K_2$, равном 0,19. Это указывает на умеренную потребность в дренажном регулировании и относительно сбалансированное развитие инженерных сетей. В Касанский район показатель $K_1$ стабильно находится в диапазоне 4,72–4,83, а $K_2$ составляет 0,25. Такие значения свидетельствуют о высокой плотности коллекторно-дренажной сети и её определяющей роли в предотвращении вторичного засоления почв. В Миришкорский район


ISSN 3030-3907

показатели $K_1$ (2,15–2,23) и $K_2$ (0,33) остаются устойчивыми, что отражает сформировавшуюся и эффективно функционирующую систему дренажа, адаптированную к местным почвенно-гидрологическим условиям. Для Мубарекский район характерна резкая дифференциация показателя $K_1$, который в отдельные годы достигает 10,1 при стабильно высоком $K_2$ (0,59). Это указывает на высокую степень дренажной освоенности территории и необходимость постоянного регулирования водного режима в условиях засушливого климата и интенсивного орошения [5] .

**РЕЗУЛЬТАТЫ**. Порайонный анализ показал, что коллекторно-дренажная система Кашкадарьинской области сформирована с учётом природно-хозяйственных условий, однако отличается значительной территориальной неоднородностью. Наиболее напряжённые мелиоративные условия характерны для равнинных районов с интенсивным орошением, где преобладает развитие межхозяйственных дренажных сетей, тогда как внутрихозяйственный уровень требует дальнейшего совершенствования.

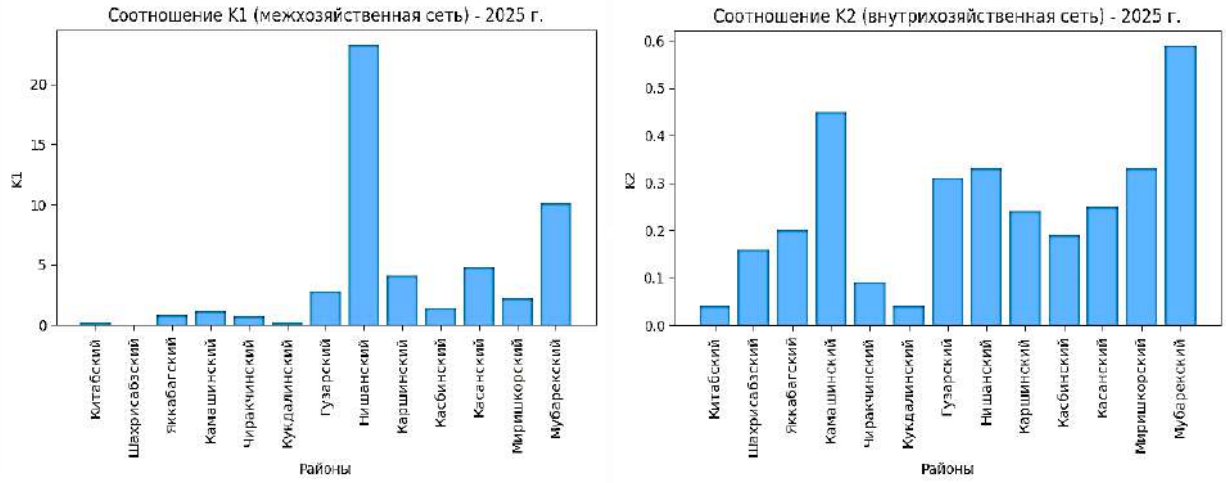



**Рис. 1 Соотношение протяженности коллекторно-дренажной и оросительной сети по районам Кашкадарьинской области (2025 г.)**

На представленных диаграммах отражены значения коэффициентов:

$K_1$ – отношение протяженности межхозяйственной коллекторно-дренажной сети к протяженности межхозяйственной оросительной сети;

$K_2$ – отношение протяженности внутрихозяйственной дренажно-коллекторной сети к протяженности внутрихозяйственных оросительных каналов.

Анализ данных 2025 года показывает значительную территориальную дифференциацию структуры водохозяйственной инфраструктуры.

Наиболее высокие значения $K_1$ зафиксированы в Нишанском (23,3) и Мубарекском (10,1) районах, что свидетельствует о существенном преобладании межхозяйственной коллекторно-дренажной сети над оросительной. Такая структура может указывать на повышенную


ISSN 3030-3907

потребность в водоотведении, обусловленную сложными гидрогеологическими условиями, высоким уровнем грунтовых вод либо мелиоративной напряженностью территории. Высокие значения $K_1$ также характерны для Касанского (4,80) и Каршинского (4,12) районов, что отражает развитость межхозяйственного дренажного каркаса. Средние значения $K_1$ (1,0–3,0) наблюдаются в Гузарском, Миришкорском, Камашинском и Касбинском районах, где инфраструктура водоотведения и орошения находится в относительно сбалансированном состоянии.

Минимальные значения $K_1$ (0,05–0,24) отмечены в Шахрисабзском, Китабском и Кукдалинском районах, что свидетельствует о низкой относительной насыщенности межхозяйственной дренажной сетью.

Внутрихозяйственный коэффициент $K_2$ характеризуется меньшей вариабельностью по сравнению с $K_1$. Наибольшее значение $K_2$ зафиксировано в Мубарекском районе (0,59), что отражает высокую плотность внутрихозяйственной дренажной сети. Повышенные значения также отмечаются в Камашинском (0,45) и Миришкорском (0,33) районах. Минимальные значения $K_2$ (0,04) характерны для Китабского и Кукдалинского районов, что может свидетельствовать о слабой обеспеченности внутрихозяйственным дренажом. Пространственная структура коэффициента $K_1$ отличается высокой неоднородностью и отражает различия в межхозяйственной организации водоотведения [6].

Коэффициент $K_2$ более стабилен, что указывает на относительную инерционность внутрихозяйственной сети. Районы Нишан и Мубарек характеризуются выраженной дренажной направленностью инфраструктуры. Низкие значения $K_1$ и $K_2$ в отдельных районах требуют дополнительного анализа с точки зрения мелиоративного состояния земель. В целях повышения эффективности функционирования оросительно-дренажных систем Кашкадарьинской области предлагаются следующие научно обоснованные рекомендации по регулированию соотношения протяжённости коллекторно-дренажной и оросительной сети ($K_1$ и $K_2$). Оптимальное мелиоративное состояние территории обеспечивается при структурной согласованности межхозяйственного ($K_1$) и внутрихозяйственного ($K_2$) уровней. При высоком $K_2$ и недостаточном $K_1$ формируется ограничение пропускной способности на межхозяйственном уровне, что приводит к затруднению отвода дренажных вод. При высоком $K_1$ и низком $K_2$ наблюдается недостаточность водоотведения на полевом уровне, что способствует локальному переувлажнению и вторичному засолению [7].

Следовательно, корректировка соотношения должна осуществляться с учётом баланса обоих уровней системы. Анализ коэффициентов $K_1$ и $K_2$


ISSN 3030-3907

позволил дифференцировать районы и обосновать комплекс адресных мелиоративных мероприятий. Для районов с экстремально высоким значением $K_1$ (Нишанский, Мубарекский) приоритетным является уточнение корректности расчётов, оценка фактической пропускной способности межхозяйственных коллекторов, а также восстановление и регламентированное обслуживание внутрихозяйственной дренажной сети с одновременным нормированием водоподачи с учётом уровня и минерализации грунтовых вод [8]. В районах с высоким $K_1$ при среднем $K_2$ (Касанский, Каршинский, Гузарский, Миришкорский) целесообразен переход к очаговому анализу проблемных массивов, локальному усилению дренажа на участках с повышенным уровнем грунтовых вод и засолением, а также обеспечению технической исправности выпусков в межхозяйственные коллекторы. Для районов со средним $K_1$ и повышенным $K_2$ (Камашинский) необходимо устранение узких мест межхозяйственного водоотвода, синхронизация очистки внутри- и межхозяйственных коллекторов и, при необходимости, реконструкция отдельных участков сети. В районах с низкими значениями $K_1$ и $K_2$ (Китабский, Кукдалинский) рекомендуется проведение аудита фактического состояния сети, точечное усиление внутрихозяйственного дренажа и внедрение мониторинга уровня грунтовых вод как инструмента раннего предупреждения деградационных процессов [9]. Для районов с минимальным $K_1$ при умеренном $K_2$ (Шахрисабзский) приоритетом является развитие межхозяйственного звена, восстановление гидравлической связности системы и оптимизация схем водоотведения с учётом рельефа. В районах с нестабильной динамикой $K_1$ (Чиракчинский) требуется верификация исходных данных, стандартизация учёта на основе геоинформационной инвентаризации и формирование цифрового паспорта оросительно-дренажной системы.

**ВЫВОДЫ.** В целом для повышения эффективности функционирования оросительно-дренажной сети предлагается дополнить количественные показатели её протяжённости критериями эксплуатационной эффективности, включая пропускную способность, степень заиления, долю работоспособных участков и гидравлические параметры, разработать матрицу приоритетов реконструкции на основе сочетания коэффициентов $K_1$ и $K_2$, а также внедрить системный мониторинг уровня и минерализации грунтовых вод. Реализация данных мероприятий обеспечит формирование сбалансированной и устойчивой структуры оросительно-дренажной сети, направленной на снижение мелиоративных рисков и повышение эффективности использования орошаемых земель [10, 11].


ISSN 3030-3907

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУР

1. Мамедов Р.Р. *Мелиорация и орошение в аридных зонах*. — М.: Колос, 1983.
2. Дьяконов Н.М. *Водно-солевой баланс орошаемых земель*. — Ташкент: Фан, 1970.
3. Ковда В.А. *Основы учения о засолении почв*. — М.: АН СССР, 1951.
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Drainage and Irrigation Paper 60: Guidelines for Drainage Design and Management in Irrigated Agriculture*. — Rome, 2012.
5. FAO. *Irrigation and Drainage for Sustainable Agriculture*. — Rome, 2020.
6. UN-Water. *Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking-Water (GLAAS) Report*. — Geneva, 2021.
7. Intergovernmental Panel on Climate Change. *AR6 Climate Change 2021: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. — Cambridge University Press, 2022.
8. Щербаков В.А. *Мелиорация земель в условиях орошения*. — Л.: Гидрометеоиздат,1982.
9. Шевелёв И.А., Лукьянчиков Н.И. *Дренаж и регулирование водного режима почв*. М.: Агропромиздат, 1986.
10. Воропаев Г.В., Лурье М.Л. Управление водными ресурсами в условиях орошения. *Водные ресурсы*, 1994, № 3.
11. Горячкин С.В. Современные проблемы мелиорации в Центральной Азии. — Ташкент, 2005.
12. Воробьёв С.А. *Регулирование водно-солевого режима орошаемых земель*. — М.: Наука, 2001.
13. Каримов Б.Х. Мелиоративное состояние земель и пути его улучшения. — Ташкент, 2011.


ISSN 3030-3907

# ATROF-MUHIT MUHOFAZASIDA YASHIL TEXNOLOGIYALAR VA INNOVATSIYALARNING ROLI.

**Jo‘rayeva O‘g‘iloy Abdiraxim qizi**
***Qarshi davlat texnika universiteti***
***E-mail: ekologjurayeva001@gmail.com***

**Annotatsiya**. Ushbu maqolada globallashuv va iqlim o‘zgarishi sharoitida atrof-muhit barqarorligini ta’minlashda yashil texnologiyalar va innovatsiyalarning roli o‘rganilgan. Tadqiqot doirasida ekologik Kuznets egri chizig‘i (EKC) gipotezasiga tayanib, ko‘p omilli chiziqli regressiya modeli yordamida iqtisodiy o‘sish, qayta tiklanuvchi energiya manbalari va yashil innovatsiyalarning karbonat angidrid ($CO_2$) emissiyasiga ta’siri miqdoriy baholandi. Ekonometrik tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, yashil innovatsiyalar indeksining 1\% ga o‘sishi atmosferaga chiqariladigan chiqindilar hajmini o‘rtacha 0.32\% ga qisqartiradi. Maqola yakunida sanoat korxonalarida energiya samaradorligini oshirish va yashil iqtisodiyotga o‘tish strategiyasini jadallashtirish bo‘yicha amaliy tavsiyalar ilgari surilgan.

**Kalit so‘zlar:** yashil texnologiyalar, ekologik innovatsiyalar, karbonat angidrid ($CO_2$) emissiyasi, qayta tiklanuvchi energiya, ekologik Kuznets egri chizig‘i (EKC), sirkulyar iqtisodiyot, barqaror rivojlanish.

**Аннотация**. В данной статье исследуется роль зеленых технологий и инноваций в обеспечении экологической устойчивости в условиях глобализации и изменения климата. В рамках исследования, опираясь на гипотезу экологической кривой Кузнеца (ЭКК), с помощью многофакторной линейной регрессионной модели была количественно оценена взаимосвязь между экономическим ростом, возобновляемыми источниками энергии, зелеными инновациями и выбросами углекислого газа ($CO_2$). Результаты эконометрического анализа показали, что увеличение индекса зеленых инноваций на 1\% снижает объем вредных выбросов в атмосферу в среднем на 0.32\%. В заключении статьи предложены практические рекомендации по повышению энергоэффективности на промышленных предприятиях и ускорению стратегии перехода к зеленой экономике.

**Ключевые слова:** зеленые технологии, экологические инновации, выбросы углекислого газа ($CO_2$), возобновляемая энергия, экологическая кривая Кузнеца (ЭКК), циркулярная экономика, устойчивое развитие.

**Abstract.** This paper investigates the role of green technologies and eco-innovations in ensuring environmental sustainability amid globalization and climate change. Drawing on the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis, a multi-factor linear regression model was employed to quantitatively assess the impact of economic growth, renewable energy sources, and green innovations on

carbon dioxide ($CO_2$) emissions. The econometric analysis reveals that a 1\% increase in the green innovation index reduces atmospheric emissions by an average of 0.32\%. Finally, the study provides practical recommendations for enhancing energy efficiency in industrial enterprises and accelerating the transition strategy toward a green economy.

**Keywords:** green technologies, eco-innovation, carbon dioxide ($CO_2$) emissions, renewable energy, Environmental Kuznets Curve (EKC), circular economy, sustainable development.

**KIRISH.**

Bugungi kunda insoniyat resurslarning cheklanganligi va global iqlim o‘zgarishi kabi jiddiy ekologik inqirozlar bilan yuzma-uz kelmoqda. Sanoat tarmoqlarining jadal rivojlanishi va an’anaviy qazilma yoqilg‘i resurslariga bo‘lgan yuqori talab atmosferaga issiqxona gazlari, xususan, karbonat angidrid ($CO_2$) emissiyasining keskin ortishiga olb keldi [1]. Ekologik inqirozlarni bartaraf etish va Barqaror Rivojlanish Maqsadlariga (BRM) erishish an’anaviy chiziqli iqtisodiyotdan sirkulyar (aylanma) va yashil iqtisodiyot modeliga o‘tishni taqozo etmoqda [2]

Yashil texnologiyalar va innovatsiyalar deganda, atrof-muhitga salbiy ta’sirni minimallashtiradigan, resurslardan foydalanish samaradorligini oshiradigan va chiqindilarni qayta ishlaydigan ishlab chiqarish jarayonlari, mahsulotlar va xizmatlar majmui tushuniladi [3]. Ushbu innovatsiyalar iqtisodiy o‘sishni ta’minlash bilan birga, ekologik degradatsiyani kamaytirish imkonini beradi, ya'ni iqtisodiy rivojlanish va atrof-muhit ifloslanishi o‘rtasidagi bog‘liqlikni uzish (decoupling effect) jarayonini amalga oshiradi [4]

O‘zbekistonda ham yashil iqtisodiyotga o‘tish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biri etib belgilangan bo‘lib, energiya samaradorligini oshirish va sanoatda ekologik toza innovatsiyalarni qo‘llash dolzarb ilmiy muammo hisoblanadi [5]. Mazkur tadqiqotning maqsadi yashil texnologiyalarning karbonat angidrid chiqindilarini kamaytirish va resurs optimallashuvidagi samaradorligini miqdoriy baholashdan iborat.

**TADQIQOT METODOLOGIYASI.** Tadqiqotda yashil innovatsiyalarning atrof-muhit muhofazasidagi rolini baholash uchun iqtisodiy-statistik, qiyosiy tahlil va ekonometrik modellashtirish metodlaridan foydalanildi. Yashil iqtisodiy o‘sish va atrof-muhit sifati o‘rtasidagi bog‘liqlikni o‘rganishda ekologik Kuznets egri chizig‘i (EKC) nazariyasiga tayanildi [6]

Emissiyalarni kamaytirish modelini baholash uchun quyidagi ko‘p omilli chiziqli regressiya tenglamasi tuzildi:

$$CO_{2,t} = \beta_0 + \beta_1 GDPt + \beta_2 REt + \beta 3\, GIt + \varepsilon_t$$

Bu yerda:


ISSN 3030-3907

- **$CO_{2,t}$** — t vaqtinchalik davrdagi karbonat angidrid emissiyasi miqdori (tonna);
- **$GDP_t$** — aholi jon boshiga to‘g‘ri keladigan yalpi ichki mahsulot (iqtisodiy faollik ko‘rsatkichi);
- **$RE_t$** — umumiy energiya balansida qayta tiklanuvchi energiya (Renewable Energy) ulushi (\%);
- **$GI_t$** — yashil innovatsiyalar indeksi (Green Innovation Index - patentlar va joriy etilgan energiya tejamkor texnologiyalar soni);
- **$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$** — model parametrlari;
- **$\varepsilon_t$** — tasodifiy xatolik ko‘rsatkichi.

Tadqiqot ma’lumotlar bazasi sifatida Jahon banki (World Bank Open Data), Xalqaro energetika agentligi (IEA) va O‘zbekiston Respublikasi Statistika agentligining 2010–2025-yillardagi statistik ko‘rsatkichlari olindi [7, 8]

**TADQIQOT NATIJALARI.** Ekonometrik model tahlili va empirik ma’lumotlar shuni ko‘rsatdiki, yashil texnologiyalarga kiritilgan investitsiyalar va ishlab chiqarishga joriy etilgan innovatsiyalar atmosferaga chiqarilayotgan zararli gazlar miqdorini sezilarli darajada kamaytiradi. Regressiya tahlili natijalariga ko‘ra, quyidagi korrelyatsion qonuniyatlar aniqlandi (Jadval 1).

**1-Jadval**

**Regressiya modeli parametrlari va ularning ahamiyatliligi**

| O‘zgaruvchilar | Koeffitsiyent (β) | t-statistika | p-qiymati |
|---|---|---|---|
| Doimiy had ( $\beta_0$) | 4.12 | 5.23 | < 0.01 |
| YIM ($GDP_t$) | 0.78 | 6.14 | < 0.01 |
| Qayta tiklanuvchi energiya (REt) | -0.45 | -4.82 | < 0.01 |
| Yashil innovatsiyalar (GIt) | -0.32 | -3.95 | < 0.05 |
| O‘zgaruvchilar | Koeffitsiyent (β) | t-statistika | p-qiymati |

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, umumiy energiya iste’molida qayta tiklanuvchi energiya ulushining 1\% ga ortishi, boshqa omillar o‘zgarmagan taqdirda, $CO_2$ emissiyasini o‘rtacha 0.45\% ga kamaytiradi. Shuningdek, yashil innovatsiyalar indeksining (GI) 1\% ga o‘sishi atmosferaga chiqariladigan chiqindilar hajmini 0.32\% ga qisqartirish imkonini beradi.

Sanoat korxonalarida resurs tejamkor texnologiyalarni (masalan, yopiq siklli suv ta’minoti, energiya samarador reaktorlar) qo‘llash orqali ishlab chiqarish tannarxi va chiqindilar miqdori o‘rtasidagi quyidagi mutanosiblik kuzatildi: yashil


ISSN 3030-3907

innovatsiyalarni joriy etgan korxonalarda xomashyo sarfi 15-20\% gacha tejalgan, hosil bo‘ladigan qattiq chiqindilar hajmi esa 30\% gacha qisqargan [9]

**MUHOKAMA VA TAHLIL.** Tadqiqot natijalari ekologik Kuznets egri chizig‘i gipotezasini qisman tasdiqlaydi: iqtisodiy o‘sishning dastlabki bosqichlarida (GDP o‘sishi bilan) atrof-muhitga salbiy ta’sir ortadi, biroq yashil texnologiyalar va texnologik innovatsiyalar ma’lum bir nuqtaga yetganda, ushbu egri chiziqning sinishi (turning point) yuz beradi va iqtisodiyot rivojlangani sari atrof-muhit sifati yaxshilana boshlaydi [6, 10].

Biroq, yashil texnologiyalarni keng joriy etish yo‘lida bir qator to‘siqlar mavjud:

1. **Yuqori boshlang‘ich xarajatlar:** Quyosh fotoelektr stansiyalari, shamol generatorlari va chiqindisiz texnologik liniyalarni sotib olish hamda o‘rnatish katta kapital qo‘yilmalarni talab qiladi [11].

2. **Kadrlar yetishmovchiligi:** Eco-innovation (ekologik innovatsiyalar) sohasida yuqori malakali muhandis va tadqiqotchilar yetishmaydi.

3. **Rag‘batlantirish mexanizmlarining mukammal emasligi:** Sanoat korxonalariga yashil texnologiyalarni qo‘llagani uchun beriladigan soliq va bojxona imtiyozlari tizimini yanada rivojlantirish zarur [12].

O‘zbekiston sharoitida yashil innovatsiyalarni joriy etish nafaqat ekologik xavfsizlikni ta’minlaydi, balki ishlab chiqarilayotgan mahsulotlarning xalqaro bozorlarda (ayniqsa, Yevropa Ittifoqining uglerod solig‘i — CBAM mexanizmi joriy etilishi fonida) raqobatbardoshligini oshiradi [13].

**XULOSA.** O‘tkazilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, yashil texnologiyalar va innovatsiyalar atrof-muhit muhofazasini ta’minlashning eng samarali vositasi hisoblanadi. Ekonometrik model tahlili yashil innovatsiyalar va qayta tiklanuvchi energiya manbalarining uglerod neftralligiga erishishdagi bevosita ijobiy ta’sirini miqdoriy jihatdan isbotladi.

Ekologik barqarorlikni ta’minlash uchun quyidagi chora-tadbirlarni amalga oshirish taklif etiladi:

- Sanoat korxonalarida energiya auditi tizimini majburiy etish va ISO 14001 ekologik menejment standartlarini keng joriy qilish.
- Yashil startaplar va ekologik yo‘nalishdagi ilmiy-tadqiqot ishlanmalarini davlat tomonidan subsidiyalash va "yashil kreditlar" ajratish tizimini kengaytirish.
- Sirkulyar iqtisodiyot prinsiplariga asoslangan chiqindisiz texnologik klasterlarni tashkil etish.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report.* IPCC Assessment Report. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/


ISSN 3030-3907

2. United Nations Environment Programme (UNEP). (2022). *The Green Economy Transition: Pathways to Sustainable Development.* https://www.unep.org/resources/green-economy

3. OECD. (2021). *Incentivising Eco-Innovation: A Policy Framework for Green Growth.* OECD Publishing, Paris. https://www.oecd.org/env/consumption-innovation/

4. Schumpeter, J. A. (2006). *The Theory of Economic Development.* Harvard University Press. https://www.harvard.edu/ *(Sanoatda innovatsiyalar transformatsiyasi asoslari).*

5. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining Qarori. (2022). *2022–2026-yillarda yashil iqtisodiyotga o‘tish va energiya tejamkorlikni ta’minlash dasturi to‘g‘risida.* PQ-440-son.https://lex.uz/docs/6231495

6. Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). *Economic Growth and the Environment.* The Quarterly Journal of Economics, 110(2), 353-377. https://academic.oup.com/qje/article-abstract/110/2/353/1841320

7. World Bank. (2025). *World Development Indicators: Green Growth and Environment Data.* World Bank Open Data. https://databank.worldbank.org/

8. International Energy Agency (IEA). (2024). *Global Energy Review: CO2 Emissions and Renewable Energy Integration.* https://www.iea.org/reports/global-energy-review

9. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). *The Circular Economy – A new sustainability paradigm?* Journal of Cleaner Production, 143, 757-768. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048

10. Stern, D. I. (2004). *The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve.* World Development, 32(8), 1419-1439. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004

11. Barbieri, N., Marzucchi, A., & Rizzo, U. (2016). *Drivers of environmental innovation: A review of the empirical literature.* Journal of Cleaner Production, 127, 14-31.https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.111

12. O‘zbekiston Respublikasi Statistika agentligi. (2025). *Atrof-muhit muhofazasi va tabiiy resurslardan foydalanish statistikasi bülleteni.* https://stat.uz/uz/statistika-lar/ekologiya

13. European Commission. (2023). *Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) Framework.* European Green Deal. https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en


ISSN 3030-3907

# ANALYSIS OF EXISTING RISK MANAGEMENT METHODS IN HEALTHCARE PRACTICE IN FOREIGN COUNTRIES

**Shavkatov Otabek Kozimbek o‘g‘li**
*Phd student of the Department of Metrology and Light Industry, Andijan State Technical Institute*
*E-mail: shavkatovotabek101@gmail.com*

**Annotation.** This article analyzes the theoretical and practical aspects of risk management in the healthcare system. The study examines the causes of clinical, operational, financial, legal, technological, and epidemiological risks encountered in healthcare institutions, as well as their impact on the quality of medical services and patient safety. Modern approaches to risk management, including risk identification, assessment, monitoring, and mitigation mechanisms, are discussed. Furthermore, the advantages of implementing risk management systems in healthcare organizations based on international standards such as ISO 13485 and ISO 14971 are highlighted. The findings contribute to the development of scientific and practical recommendations aimed at improving patient safety, reducing medical errors, and enhancing the efficiency of healthcare services.

**Keywords:** healthcare system, risk management, RCA, FMEA, safety management systems, quality management, ISO 31000, ISO 13485, healthcare institutions, clinical risk.

**Аннотация.** В данной статье анализируются теоретические и практические аспекты управления рисками в системе здравоохранения. В исследовании рассматриваются причины клинических, операционных, финансовых, правовых, технологических и эпидемиологических рисков, встречающихся в медицинских учреждениях, а также их влияние на качество медицинских услуг и безопасность пациентов. Обсуждаются современные подходы к управлению рисками, включая идентификацию, оценку, мониторинг и механизмы смягчения рисков. Кроме того, подчеркиваются преимущества внедрения систем управления рисками в медицинских организациях на основе международных стандартов, таких как ISO 13485 и ISO 14971. Полученные результаты способствуют разработке научных и практических рекомендаций, направленных на повышение безопасности пациентов, снижение количества медицинских ошибок и повышение эффективности медицинских услуг.

**Ключевые слова:** система здравоохранения, управление рисками, анализ первопричин (RCA), FMEA, системы управления безопасностью, управление качеством, ISO 31000, ISO 13485, медицинские учреждения, клинический риск.

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada sog'liqni saqlash tizimida xavflarni boshqarishning nazariy va amaliy jihatlari tahlil qilinadi. Tadqiqotda sog'liqni saqlash muassasalarida duch keladigan klinik, operatsion, moliyaviy, huquqiy, texnologik va epidemiologik xavflarning sabablari, shuningdek, ularning tibbiy xizmatlar sifati va bemorlar xavfsizligiga ta'siri o'rganiladi. Xavflarni boshqarishning zamonaviy yondashuvlari, jumladan, xavflarni aniqlash, baholash, monitoring qilish va kamaytirish mexanizmlari muhokama qilinadi. Bundan tashqari, sog'liqni saqlash tashkilotlarida ISO 13485 va ISO 14971 kabi xalqaro standartlarga asoslangan xavflarni boshqarish tizimlarini joriy etishning afzalliklari ta'kidlangan. Tadqiqot natijalari bemorlar xavfsizligini oshirish, tibbiy xatolarni kamaytirish va sog'liqni saqlash xizmatlari samaradorligini oshirishga qaratilgan ilmiy va amaliy tavsiyalarni ishlab chiqishga hissa qo'shadi.

**Kalit so'zlar:** sog'liqni saqlash tizimi, xavflarni boshqarish, RCA, FMEA, xavfsizlikni boshqarish tizimlari, sifatni boshqarish, ISO 31000, ISO 13485, sog'liqni saqlash muassasalari, klinik xavf.

## INTRODUCTION.

Healthcare systems worldwide operate in highly complex environments where clinical, operational, financial, technological, and legal risks can directly affect patient safety and organizational performance. According to the World Health Organization (WHO), unsafe healthcare practices contribute to millions of adverse events annually, making risk management a critical aspect of healthcare governance [1].

Over the past decades, developed countries such as the United States, the United Kingdom, Canada, Australia, Germany, and Japan have introduced comprehensive risk management frameworks aimed at minimizing medical errors and improving healthcare quality. These frameworks integrate risk assessment tools, patient safety initiatives, quality management systems, and evidence-based decision-making processes. The purpose of this article is to analyze existing risk management methods applied in healthcare practice in foreign countries and identify best practices that can be adapted to improve healthcare management systems [2].

Analysis of existing risk management methods in healthcare practice in foreign countries. Risk management in healthcare has become one of the most important components of patient safety and healthcare quality worldwide. Research conducted in developed countries such as the United States, United Kingdom, Germany, Australia, Canada, and the Netherlands has focused on identifying, assessing, preventing, and controlling clinical and organizational risks.

### 1. Root Cause Analysis (RCA)


ISSN 3030-3907

One of the most widely used methods in foreign healthcare systems is Root Cause Analysis (RCA). This method is applied after adverse events or medical errors occur to identify their underlying causes and prevent recurrence.

Research in the United States and the United Kingdom shows that RCA is among the most frequently used risk management tools in hospitals. It is particularly effective in analyzing medication errors, surgical incidents, and patient safety events [3,4].

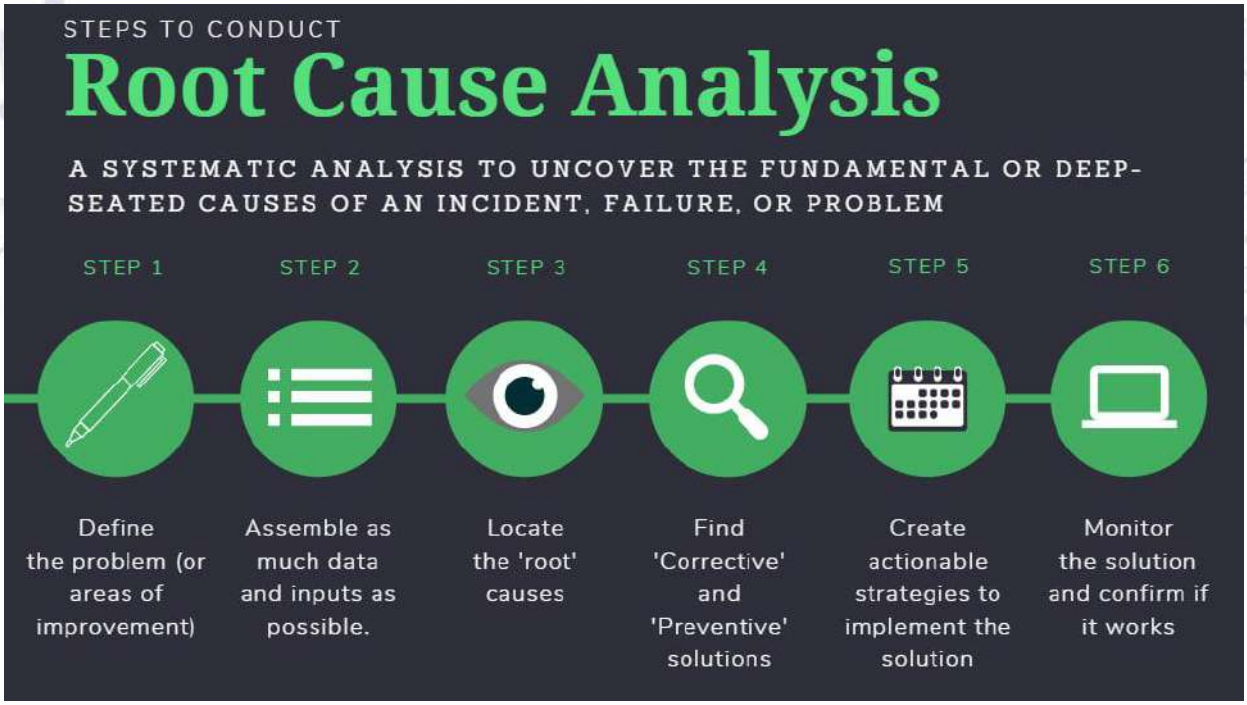



**Fig 1. Root Cause Analysis (RCA) [5,6]**

We give a bit of advances.

***Advantages:***

- Identifies the real causes of incidents.
- Supports corrective and preventive actions.
- Improves patient safety culture.
- Retrospective approach.
- Does not always predict future risks.

**2. Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) and HFMEA**

Another extensively studied method is Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) and its healthcare adaptation, Healthcare Failure Mode and Effects Analysis (HFMEA).

HFMEA is a proactive risk management tool used to identify potential failures before they occur. Research from the USA, Europe, Iran, and several Asian countries demonstrates its effectiveness in reducing patient safety incidents and improving healthcare processes.

- Medication administration processes.


ISSN 3030-3907

•Surgical services.
•Electronic medical record systems.
•Emergency departments.

Studies indicate that HFMEA significantly reduces operational risks when combined with continuous monitoring and evaluation.

**3. ISO 31000-based risk management framework**

Many foreign healthcare organizations have adopted the principles of the international standard ISO 31000 Risk Management Guidelines.

The framework includes:

•Risk identification.
•Risk analysis.
•Risk evaluation.
•Risk treatment.
•Monitoring and review.

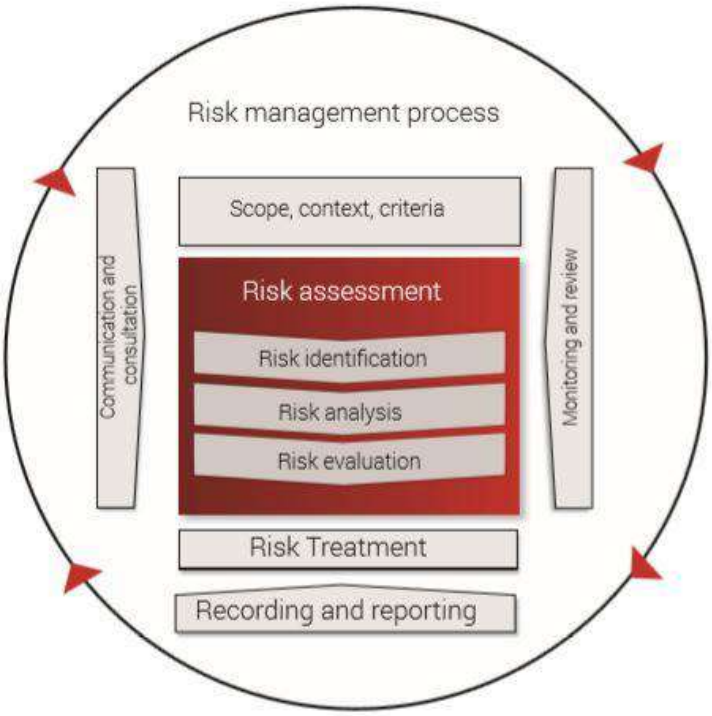



**Fig 2. ISO 31000 Risk Management Guidelines**

Research shows that hospitals implementing ISO 31000 principles achieve lower rates of adverse events, healthcare-associated infections, and medication errors.

**4. Risk matrix method**

The Risk matrix is commonly used in the United Kingdom, Germany, and Australia to assess risks according to probability and severity.

This method helps healthcare managers:

•Prioritize risks.


ISSN 3030-3907

- Allocate resources effectively.
- Develop preventive strategies.

Studies report that risk matrices are among the most frequently applied tools in UK healthcare organizations.

**5. Safety Management Systems (SMS)**

Several countries, including Australia, Canada, New Zealand, Ireland, and the Netherlands, have implemented comprehensive Safety Management Systems (SMS) in healthcare.

These systems integrate:

- Incident reporting systems.
- Risk assessment procedures.
- Staff training programs.
- Continuous quality improvement mechanisms.

A 2025 international review concluded that SMS implementation contributes significantly to patient safety improvement and organizational learning.




**Fig 3. Safety Management Systems**

**6. Systems-Based clinical risk management models**

Recent studies have emphasized systems-thinking approaches. Researchers have developed models combining:

- RCA,
- FMEA,
- SEIPS (Systems Engineering Initiative for Patient Safety).

These integrated models analyze interactions among healthcare workers, technologies, and organizational processes to reduce adverse events and improve hospital performance.


ISSN 3030-3907

**Challenges in Healthcare Risk Management**

Despite significant progress, healthcare organizations continue to face several challenges:

- Resistance to organizational change;
- Underreporting of incidents;
- Resource limitations;
- Workforce shortages;
- Increasing technological complexity;
- Cybersecurity threats.

Addressing these challenges requires strong leadership, continuous education, and investment in healthcare infrastructure.

**CONCLUSION.**

Risk management has become a fundamental element of healthcare governance in developed countries. International experience demonstrates that systematic approaches such as ISO 31000, Root Cause Analysis, Failure Mode and Effects Analysis, and Enterprise Risk Management contribute significantly to improving patient safety and healthcare quality. The adoption of these methods enables healthcare organizations to identify, assess, and mitigate risks effectively. Future healthcare systems should continue integrating digital technologies, artificial intelligence, and international standards to enhance risk management capabilities and ensure sustainable healthcare delivery.

**REFERENCES**

1. O'Kelly E., Ward J., Clarkson P.J. *Risk Assessment Techniques and Risk Management Practices in Healthcare: A Comparative Survey of the United States and United Kingdom* (2026).
2. Zhelev Z. et al. *The Implementation of Safety Management Systems in Healthcare: A Systematic Review and International Comparison* (2025).
3. Faiella G. et al. *Expanding Healthcare Failure Mode and Effect Analysis: A Composite Proactive Risk Analysis Approach* (2018).
4. Bartz H.-J. *Development of Clinical Risk Management in German Hospitals* (2022).
5. Risk Analysis in Healthcare Organizations: Methodological Framework and Critical Variables (2021).
6. ISO 14971:2019. *Medical Devices – Application of Risk Management to Medical Devices*.


ISSN 3030-3907

# LAZY SYNCHRONIZATION WITH INTERPOLATED STATE FOR DISCRETE–CONTINUOUS CO-SIMULATION OF MICROCONTROLLER-DRIVEN CIRCUITS

**Adizbek Ergashev**
*Tashkent University of Information Technologies (TUIT), Tashkent, Uzbekistan*

**Abstract.** Cycle-accurate co-simulation of a microcontroller and the circuit it drives is dominated by the cost of advancing peripheral models on every instruction, which precludes interactive speed on commodity hardware. We model the problem as the synchronous product of a timed transition system (the CPU) and a constraint-graph solver (the circuit), coupled by explicit state-lifting functions, and formalize a two-tier scheduler that evaluates peripherals only once per N CPU cycles. We define a peripheral monotonicity condition and prove that under it the lazy schedule is observationally equivalent to the per-cycle eager schedule at synchronization boundaries (Theorem 1). For high-read-frequency timer registers, the main source of firmware-visible drift, we give a closed-form interpolation algorithm and prove it returns the eager value while the timer configuration is unchanged (Theorem 2). A cost model predicts a throughput knee near $N = t_s / (t_\delta - t_\delta f)$, and a circuit solver and a multi-MCU topology binder are shown to meet the per-synchronization budget with proven complexity bounds. A six-workload drift benchmark confirms zero architectural-state drift on monotone-read workloads across N up to 4096 and event drift bounded by N (worst case 258 cycles at N = 512); the scheduler yields an 11.7–43.6× speedup over per-cycle evaluation. The methods are implemented in the Logiclabuz platform [1].

**Keywords:** co-simulation; cycle-accurate emulation; scheduler design; interpolation; lazy evaluation; embedded systems.

**Annotatsiya.** Mikrokontroller va u boshqaradigan zanjirni takt aniqlikdagi (cycle-accurate) birgalikda simulyatsiya qilish har bir buyruqda periferiya modellarini ilgarilatish xarajati bilan cheklanadi, bu esa oddiy uskunada interaktiv tezlikka erishishga to'sqinlik qiladi. Biz muammoni vaqtli o'tish tizimi (protsessor) va cheklovlar grafi yechuvchisi (zanjir) ning sinxron ko'paytmasi sifatida modellashtiramiz, ularni oshkora holat-ko'taruvchi funksiyalar orqali bog'laymiz va periferiyani har N ta protsessor taktida faqat bir marta baholaydigan ikki bosqichli rejalashtiruvchini (scheduler) formallashtiramiz. Periferiya monotonligi shartini aniqlaymiz va ushbu shart ostida dangasa (lazy) jadval sinxronizatsiya chegaralarida har takt bo'yicha qat'iy (eager) jadvalga kuzatuv jihatidan ekvivalent ekanligini isbotlaymiz (1-teorema). Mikrodastur uchun ko'rinadigan og'ishning asosiy manbai bo'lgan, tez-tez o'qiladigan taymer registrlari uchun yopiq ko'rinishdagi interpolyatsiya algoritmini taklif qilamiz va taymer konfiguratsiyasi


ISSN 3030-3907

o'zgarmagan holatda u qat'iy jadval qiymatini qaytarishini isbotlaymiz (2-teorema). Narx modeli o'tkazuvchanlik «tirsagi»ni N = t_s / (t_δ − t_δf) atrofida bashorat qiladi; zanjir yechuvchisi va ko'p mikrokontrollerli topologiya bog'lovchisi har bir sinxronizatsiya byudjetiga isbotlangan murakkablik chegaralari bilan mos kelishi ko'rsatiladi. Oltita ish sinovidan iborat, og'ish sinovi monoton o'qiladigan ish yuklarida N = 4096 gacha arxitektura holatining nol og'ishini, hamda N bilan chegaralangan hodisa og'ishini (N = 512 da eng yomon holatda 258 takt) tasdiqlaydi; rejalashtiruvchi har takt bo'yicha baholashga nisbatan 11.7–43.6 baravar tezlashishni beradi. Usullar Logiclabuz platformasida amalga oshirilgan.

**Kalit so'zlar:** birgalikda simulyatsiya; takt aniqlikdagi emulyatsiya; rejalashtiruvchi loyihasi; interpolyatsiya; dangasa baholash; o'rnatilgan tizimlar.

**Аннотация.** Потактово-точное совместное моделирование микроконтроллера и управляемой им цепи определяется стоимостью продвижения моделей периферии на каждой инструкции, что препятствует достижению интерактивной скорости на обычном оборудовании. Мы моделируем задачу как синхронное произведение временно́й системы переходов (процессор) и решателя графа ограничений (цепь), связанных явными функциями подъёма состояния, и формализуем двухуровневый планировщик, вычисляющий периферию лишь раз в N тактов процессора. Мы определяем условие монотонности периферии и доказываем, что при нём ленивое расписание наблюдаемо эквивалентно поцикловому (энергичному) расписанию на границах синхронизации (Теорема 1). Для часто читаемых регистров таймера — главного источника видимого прошивке расхождения — мы приводим алгоритм интерполяции в замкнутой форме и доказываем, что он возвращает значение энергичного расписания, пока конфигурация таймера не изменена (Теорема 2). Стоимостная модель предсказывает «колено» пропускной способности вблизи N = t_s / (t_δ − t_δf); показано, что решатель цепей и связыватель топологии нескольких микроконтроллеров укладываются в бюджет на одну синхронизацию с доказанными границами сложности. Тест расхождения на шести нагрузках подтверждает нулевое расхождение архитектурного состояния на нагрузках с монотонным чтением вплоть до N = 4096 и расхождение событий, ограниченное N (в худшем случае 258 тактов при N = 512); планировщик даёт ускорение в 11.7–43.6 раза по сравнению с потактовым вычислением. Методы реализованы в платформе Logiclabuz.

**Ключевые слова:** совместное моделирование; потактово-точная эмуляция; проектирование планировщика; интерполяция; ленивые вычисления; встраиваемые системы.

## 1. INTRODUCTION.


ISSN 3030-3907

In any cycle-accurate co-simulation of a microcontroller and the continuous-domain circuit it drives, the dominant cost is advancing the peripheral models on every instruction. A typical AVR-class chip ticks several timers, a USART, an SPI, an I²C, an ADC, and an interrupt controller, each requiring at least a function call and register bookkeeping per cycle; on a 16 MHz target this is roughly $10^8$ peripheral updates per simulated second, exceeding the interactive real-time budget on commodity JavaScript engines by about an order of magnitude. The natural response is *lazy synchronization*: advance the CPU in tight loops of length N and evaluate peripherals once per loop. This is folklore in emulator engineering but is rarely formalized, leaving two questions open. First, under what condition does the lazy schedule produce the same trace as the eager one for firmware compiled against the silicon's semantics? Second, how should one treat registers such as the free-running timer counter TCNT0, which a delay loop may read many times per interval and where even small staleness is firmware-visible?

This paper answers both. We model the co-simulation as the synchronous product of a timed transition system (the CPU) and a constraint-graph solver (the circuit), coupled by explicit state-lifting functions (Section 3). We define *peripheral monotonicity at interval N* and prove that the lazy schedule is observationally equivalent to the eager schedule under it (Theorem 1, Section 4). For high-read-frequency timer registers we give a closed-form interpolation that recovers the eager value exactly while the timer configuration is unchanged (Theorem 2, Section 5). A cost model predicts the throughput knee that sets the default interval. We then bound the cost of the circuit solver and a multi-MCU topology binder (Propositions 1–4, Section 6) and validate the theory empirically (Section 7). The methods are implemented and in continuous use in the Logiclabuz platform [1]; the present paper is its algorithmic companion.

## 2. RELATED WORK

The reference AVR emulator simavr [2] and the avr8js core of Wokwi [3] tick each peripheral on every CPU cycle and do not document or formalize a lazy mode. The closest peer-reviewed work in event-driven full-platform simulation is GVSoC [4], a configurable RISC-V IoT simulator with an event-driven peripheral scheduler; it describes the engineering of the pattern but gives no formal correctness statement, which is the gap this paper addresses. Concurrent work on automatic peripheral modeling, FlexEmu [5] and the specification-guided approach of Zhou et al. [6], targets the orthogonal problem of deriving peripheral semantics rather than scheduling their evaluation cheaply. QEMU [7] trades cycle accuracy for translation throughput, and gem5 [8] uses event-driven scheduling at a per-instruction budget far larger than an interactive emulator allows.


ISSN 3030-3907

On the continuous side, SPICE-class engines [9] and co-simulation standards such as FMI [10] couple heavyweight models over millisecond-scale steps; recent MCU-plus-analog work pairs a RISC-V instruction-set simulator with SystemC-AMS for power modeling [11]. These occupy the heavy, desktop end of the design axis; our contribution is the light, per-cycle, browser-deployable end. The abstract framing of coupling two transition systems through a small interface follows Ptolemy II [12], and our interpolation is a special case of computing predictable future inputs lazily on read [13], specialized here to linear-update counters with a closed-form exactness guarantee. Four contributions distinguish this work: the monotonicity condition for lazy equivalence (Theorem 1); the interpolation-exactness theorem for linear counters (Theorem 2); the empirical confirmation of zero observable drift; and the topology-inferred multi-MCU binder, for which we found no peer-reviewed prior art in the simulator setting.

## 3. FORMAL MODEL

The CPU is a timed transition system, the circuit is a constraint graph, and the two are composed by an explicit pair of state-lifting functions.

**Definition 1 (Microcontroller transition system).** A microcontroller is a tuple $M = (Q, \Sigma, q_0, \delta, \tau)$ where $Q$ is the state space (program counter, register file, status register, stack pointer, and a data space $d$ that includes the memory-mapped peripheral registers); $\Sigma$ is the input alphabet of opcodes and external events; $q_0$ is the reset state; $\delta : Q \times \Sigma \to Q$ is the AVR instruction semantics; and $\tau : Q \times \Sigma \to \mathbb{N}$ is the per-instruction cycle cost, so the cycle counter advances by $\tau(q, \sigma)$ on each transition.

**Definition 2 (Circuit constraint graph).** A circuit is a tuple $C = (N, E, \psi, \text{comp})$ where $N$ is a set of *nets* (maximal sets of equipotential pins), $E$ is a set of components, $\psi : N \to \mathbb{R} \cup \{\bot\}$ is the net-voltage assignment, and comp maps each component pin-pair to one of eight electrical models (voltage source, ground, resistor, diode, short, voltage divider, open, ADC input). The solved state augments $\psi$ with the per-component triple $(V, I, P)$ computed by the solver of Section 6.

**Definition 3 (Coupling).** The forward coupling $\Phi : Q \times C \to C$ updates the circuit's driven-net voltages from the CPU's GPIO output registers (the per-port product of DDR and PORT bits) and PWM duty; the backward coupling $\Phi^{-1} : C \times Q \to Q$ writes the solved ADC and digital-input values back into the CPU. The *eager reference schedule*, against which every lazy schedule is compared, re-solves the circuit and applies both couplings on every cycle: $C_c = \text{solve}(\Phi(q_{c-1}, C_{c-1}))$ and $q_c = \delta(\Phi^{-1}(C_c, q_{c-1}), \text{opcode}(q_{c-1}))$. This is what simavr and avr8js do.

**Definition 4 (Firmware-observable equivalence).** Two states $q$, $q'$ are observationally equivalent if they agree on pc, sp, sreg, the register file, and on $d(\cdot,$


ISSN 3030-3907

a) for every address a the firmware reads (every SRAM or peripheral register touched by an LDS, LD, IN, or skip-on-bit instruction). A lazy schedule that differs from the eager one only in registers the firmware never reads is, by this definition, observationally equivalent. This is the relation the theorems use.

## 4. THE TWO-TIER SCHEDULER

### 4.1 Algorithm and cost model

The eager schedule pays $O(\text{cost}(\delta) + \text{cost}(\text{solve}))$ per cycle, with cost(solve) exceeding cost(δ) by an order of magnitude in practice. The two-tier scheduler (Algorithm 1) runs the CPU in inner loops of length N using δ_fast, which is δ without peripheral side effects, then synchronizes peripherals and the circuit once per loop. Firmware writes to peripheral registers still commit to the data space immediately, so the firmware always observes its own writes; only the *hardware behavior* triggered by those writes is deferred to the next synchronization. Figure 1 contrasts the two schedules.

Algorithm 1 TwoTierStep(q, C, N)

```
target ← cycle(q) + N
while cycle(q) < target and q.running:
    q ← δ_fast(q, opcode_at(q))     # CPU step, no peripheral cost
C ← solve(Φ(q, C)); q ← Φ⁻¹(C, q)   # one synchronization per interval
return (q, C)
```

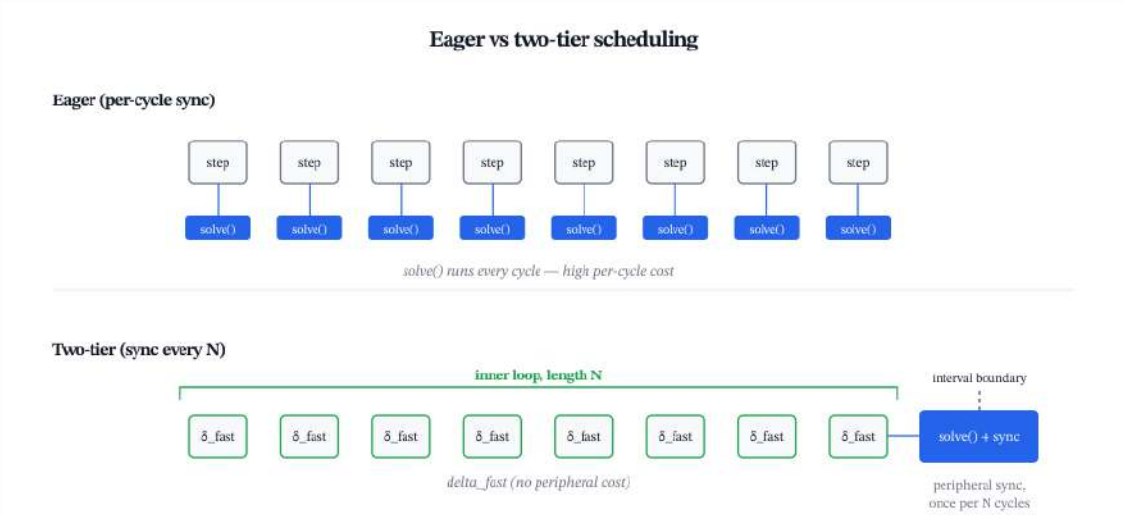



**Figure 1. Eager versus two-tier scheduling. The eager schedule solves the circuit after every CPU cycle; the two-tier schedule runs N peripheral-free steps and solves once per interval.**

Per interval the eager schedule costs $N \cdot t_\delta$ and the two-tier schedule $N \cdot t_{\delta f} + t_s$, where $t_\delta$, $t_{\delta f}$, and $t_s$ are the costs of δ, δ_fast, and one solve. The speedup


ISSN 3030-3907

is therefore $S(N) = N \cdot t_\delta / (N \cdot t_{\delta f} + t_s)$, which grows almost linearly while $t_s$ dominates and saturates at $t_\delta / t_{\delta f}$ as $N \to \infty$. The two regimes meet at the knee $N^* = t_s / (t_\delta - t_{\delta f})$. The measured constants ($t_s \approx 4$–$8$ µs, $t_\delta - t_{\delta f} \approx 10$–$20$ ns) place the knee at 200–800 cycles, matching the empirical knee near N = 512 (Section 7) and justifying it as the default interval.

**4.2 Observable equivalence**

**Definition 5 (Peripheral monotonicity at interval N).** A peripheral register $r$ is *monotone* over $[c, c+N)$ if one of the following holds: (1) the firmware does not read $r$ in the interval; (2) the eager value of $r$ at any $c' \in [c, c+N)$ is a function $f_r(c'-c, Q_{perif}(c))$ of the cycle offset and the peripheral configuration cached at $c$; or (3) $r$ only takes firmware-visible values at synchronization boundaries (for instance a USART byte committed atomically at the end of its bit time). A program is monotone at interval N if every peripheral register it reads is monotone in this sense.

**Theorem 1 (Lazy equivalence under monotonicity).** If a circuit–program pair is peripheral-monotone at interval N, then at every synchronization boundary the lazy-schedule state is observationally equivalent to the eager-schedule state.

*Proof.* By induction on the boundary index $k$ (boundary $k$ at cycle $kN$). The base case holds because both schedules start at $q_0$ and solve once before any CPU work. Assume equivalence at boundary $k$. Within $[kN, (k+1)N)$, consider each executed opcode. For an opcode that reads no peripheral register, $\delta_{fast} = \delta$ by construction, so the two schedules agree on pc, registers, SREG, and data space, and hence on the next opcode. For an opcode reading a peripheral register $r$, monotonicity gives one of three cases: clause (1) is excluded since the read occurs; under clause (2) the lazy schedule computes $f_r$ via Algorithm 2, which by Theorem 2 equals the eager value; under clause (3) both schedules return the value committed at the last boundary. In every case the read returns the same byte, so the opcode sequence and the post-states coincide (Sub-claim 1). Consequently the two schedules reach $(k+1)N$ agreeing on all GPIO and PWM-driving registers; since $\Phi$ and solve are deterministic functions of those registers, the synchronized circuits agree on every firmware-observable net (Sub-claim 2). The induction closes.

The result is observational, not bit-for-bit: the schedules may differ in internal bookkeeping or in transient peripheral state the firmware never reads. Self-programming (SPM) writes flash and is excluded from the theorem; the implementation forces a synchronization on SPM completion.

**4.3 Where the assumption fails**

Three situations break monotonicity: an external event (USART RX arrival, a pin-change interrupt) that lands mid-interval; an asynchronous analog output such as a mid-interval PWM duty change; and a self-clearing flag (for example SPI SPIF)


ISSN 3030-3907

whose transient assertion is never seen if the operation both starts and ends within one interval. In each case the firmware-visible timing error is bounded by N cycles, about 32 µs at N = 512 and 16 MHz, which is below the perceptual threshold for interactive use; latency-critical applications can lower N at a proportional throughput cost. An adaptive scheduler that shrinks N during event-dense phases is a natural extension.

## 5. INTERPOLATED READS

Clause (2) of Definition 5 is realized for the timer registers a delay loop polls most often, the Timer 0 counter TCNT0 and its overflow flag TIFR0, both of which have a closed form in the prescaler state. For a free-running counter with divisor $d$, base $b$, and prescaler remainder $p_0$ captured at synchronization cycle $c_0$, the eager value at any later cycle $c$ is $\mathrm{TCNT}(c) = (b + \lfloor (p_0 + c - c_0)/d \rfloor) \bmod 256$, and the overflow flag is set whenever that sum reaches 256. Algorithm 2 evaluates these expressions on read and otherwise returns the cached data-space byte; the arithmetic adds about five operations per read, a 1–3 % cost on a timer-polling loop in exchange for eliminating the per-cycle peripheral tick.

Algorithm 2 InterpolatedRead(a, c; b, $c_0$, d, $p_0$, TOV_base)
if a = TCNT_addr and d > 0: return $(b + \lfloor (p_0 + c - c_0)/d \rfloor) \bmod 256$
if a = TIFR_addr and d > 0: return TOV_base ∨ $(b + \lfloor (p_0 + c - c_0)/d \rfloor \geq 256)$
return data_space[a]

**Theorem 2 (Interpolation exactness).** If the firmware writes neither the counter (TCNT_addr), the prescaler configuration (TCCR_addr), nor the flag (TIFR_addr) in $(c_0, c]$, then Algorithm 2 returns the same TCNT(c) and overflow-flag values as the eager schedule.

*Proof.* Under the no-write hypothesis $d$, $b$, and $p_0$ are constant over $(c_0, c]$. The eager schedule advances the prescaler counter once per cycle and increments the timer whenever it reaches $d$, so after $c - c_0$ cycles it has produced $\lfloor (p_0 + c - c_0)/d \rfloor$ ticks, exactly Algorithm 2's value. The overflow flag is asserted on the wrapping cycle and is not cleared in the interval by hypothesis, so it equals TOV_base ∨ (counter wrapped), which Algorithm 2 also computes.

This covers the dominant firmware pattern, in which the timer is configured once and then polled, and is exactly the expansion of the standard Arduino delay() macro. When the firmware *does* reconfigure the timer mid-interval, the implementation flushes pending ticks under the old configuration before applying the write, restoring the precondition for the remainder of the interval (Section 7.1 reports the defect that motivated this). The algorithm generalizes to any linear-update counter (Timer 1, Timer 2) but not to event-driven status flags (USART, SPI, TWI), for which the bounded-error treatment of Section 4.3 applies.


ISSN 3030-3907

## 6. SOLVER AND TOPOLOGY BINDING

The circuit solver runs once per synchronization and must complete in microseconds at the $V \leq 100$ nets typical of educational circuits. Net construction (Algorithm 3) groups pins with union-find: wires and internal shorts union their endpoints, while resistor, diode, and voltage-divider terminals are kept distinct because current flows through them.

Algorithm 3 BuildNets(components, wires)
UF ← UnionFind(); make a set per component pin
for (a,b) in wires: UF.union(a,b)
for each internal short (p,q): UF.union(p,q)
return p ↦ UF.find(p)

**Proposition 1.** Net building runs in $O((V + E)\cdot\alpha(V))$ for V pins and E wires, with $\alpha$ the inverse Ackermann function. *Proof.* Standard union-find with path compression and union-by-rank [14].

The series solver traces each simple path from a driven net to ground and computes the steady-state current $I = (V_s - \Sigma\, V_f) / \Sigma\, R$, treating a zero-resistance driven path as a short and an insufficient source voltage as non-conducting, with PWM duty scaling $V_s$; per-component voltage and power follow by back-propagation.

**Proposition 2.** The series solver runs in $O(P\cdot L)$ per update, for P source-to-ground paths of maximum length L. *Proof.* Each path is traversed once with constant work per component.

**Proposition 3.** The fault detector, a rule-table pass over the solved circuit producing ten diagnostic codes, runs in $O(|E|)$. *Proof.* Each rule inspects each component a constant number of times.

For multi-MCU circuits, rather than asking the learner to declare a named bus, the binder infers it from the wiring: for each board pair it consults a per-chip table mapping peripheral functions (USART TX/RX, SPI MOSI/MISO/SCK/SS, TWI SDA/SCL) to pins and, when the pin-to-net map $\pi$ makes board A's TX net coincide with board B's RX net and vice versa, installs a byte-forwarding hook between the USARTs; SPI and I²C use the analogous multi-pin match.

**Proposition 4.** The binder runs in $O(B^2 + W)$ for B boards and W wires. *Proof.* Computing $\pi$ is $O(W)$; the pairwise pass is $O(B^2)$ with a constant number of table lookups per pair.

For $B \leq 10$ in practice the binder runs in microseconds per topology change. The insight is that the drawn topology already determines the multi-MCU protocol structure, eliminating the bus-configuration step that comparable platforms require; we found no peer-reviewed prior art for this in the simulator setting.

## 7. EMPIRICAL EVALUATION


ISSN 3030-3907

We validate the formal claims on real firmware in the Logiclabuz implementation; all harnesses and raw data are in research/bench/.

### 7.1 Drift validation

The drift benchmark runs the platform at $N \in \{1, 64, 512, 4096\}$ on six AVR programs and diffs the lazy run against the $N = 1$ eager reference, both in architectural state (67 fields at ten cycle checkpoints) and in the timing of peripheral events. Table 1 shows that every monotone-read workload exhibits *zero* state drift at all N, including $N = 4096$; the timer_poll workload exercises the interpolation path, so its zero drift confirms Theorem 2 as well as Theorem 1.

**Table 1.**

**Maximum state drift (differing fields out of 67) on monotone-read workloads.**

| Workload | N = 1 | N = 64 | N = 512 | N = 4096 |
|---|---|---|---|---|
| cpu_loop | 0 | 0 | 0 | 0 |
| fib | 0 | 0 | 0 | 0 |
| timer_poll | 0 | 0 | 0 | 0 |
| usart_status_poll | 0 | 0 | 0 | 0 |

Table 2 reports event drift on two event-driven workloads. At every N the maximum observed drift is strictly below N, confirming the bound of Section 4.3, with mean drift near N/4. The events lost rows record reference events the lazy run cannot match; these arise from the AVR's single-bit overflow flag, which coalesces two overflows that occur between firmware reads, behavior the lazy schedule faithfully inherits rather than a scheduler defect.

**Table 2.**

**Event drift (CPU cycles) on event-driven workloads.**

| Workload | Metric | N = 1 | N = 64 | N = 512 | N = 4096 |
|---|---|---|---|---|---|
| timer_isr_jitter | max drift | 0 | 76 | 258 | 3521 |
| timer_isr_jitter | mean drift | 0 | 37.9 | 128.2 | 302.2 |
| timer_isr_jitter | events lost | 0 | 0 | 223 | 363 |
| usart_tx_burst | max drift | 0 | 77 | 79 | 2476 |
| usart_tx_burst | mean drift | 0 | 38.6 | 39.9 | 200.6 |
| usart_tx_burst | events lost | 0 | 322 | 1130 | 1233 |

Preparing this benchmark surfaced a real defect: a persistent 1-LSB drift on timer_poll at $N \geq 512$, caused by tickBatch retroactively applying a new prescaler to cycles that elapsed before an OUT TCCR0B completed. Flushing pending ticks under the old configuration before any mid-interval timer write restored the zero-drift result of Table 1, demonstrating that the benchmark detects genuine solver bugs.


ISSN 3030-3907

### 7.2 Throughput and solver cost.

The companion paper [1] reports the full throughput sweep; Figure 2 plots the normalized speedup S(N) it yields. Disabling the scheduler (N = 1) drops throughput far below avr8js, so the scheduler is the load-bearing optimization; raising N to 512 gives an 11.7–43.6× speedup, and the marginal gain from 512 to 4096 is at most 10 %. The empirical knee at N ≈ 512 matches the cost-model prediction of Section 4.1, confirming the model on real firmware.

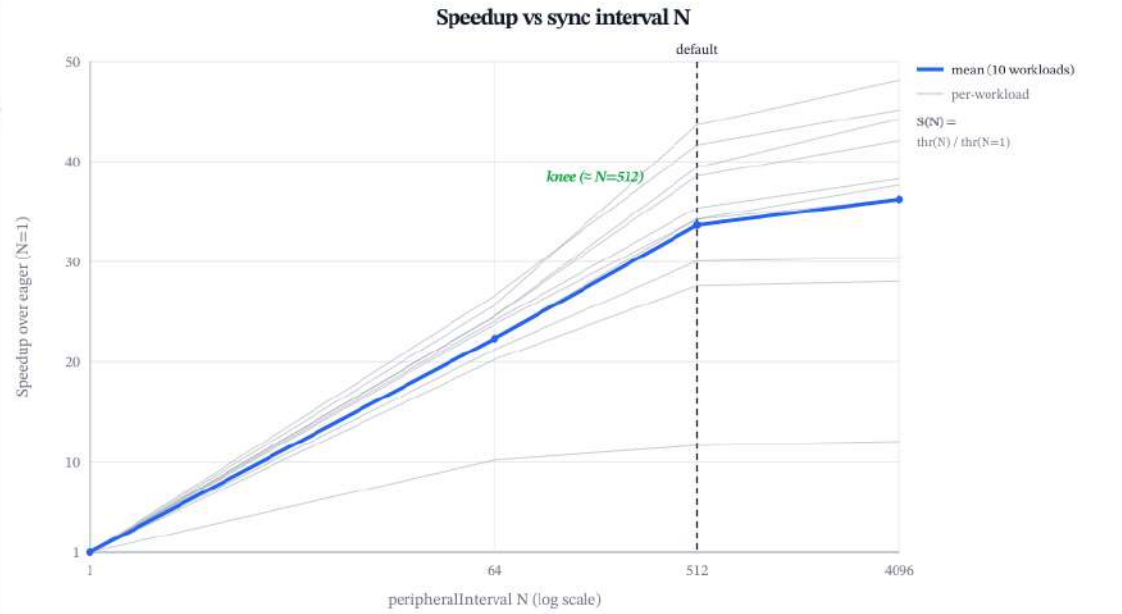



**Figure 2. Normalized speedup S(N) over the eager baseline for the ten workloads, with the mean in bold. The curve rises steeply to N = 64, bends by N = 512, and is nearly flat thereafter — the knee predicted by the cost model.**

The solver complexity bounds (Propositions 1–3) hold comfortably in practice: on the largest bundled circuit (12 components, ~28 nets, 6 paths) net building, series solving, and fault detection take 0.14, 0.27, and 0.05 ms respectively, well within the per-synchronization budget at N = 512.

### 7.3 Threats to validity.

The drift workloads are six small programs and do not yet exercise USART RX or external pin-change interrupts, the cases Section 4.3 predicts as worst-case bounded errors; the proven N-cycle bound suggests no qualitative surprise. Throughput is measured on a single host, where V8 JIT noise makes absolute rates host-dependent (the drift results, being deterministic, are not affected). The usart_status_poll workload reads a statically constant register, so a dynamic non-interpolated peripheral workload should be added to exercise the staleness regime directly. A formal solver-scaling sweep over synthetic circuits up to thousands of nets is left to future work.

## 8. DISCUSSION AND CONCLUSION.


ISSN 3030-3907

We modeled MCU–circuit co-simulation as a synchronous product of a timed transition system and a constraint-graph solver and gave a two-tier scheduler whose lazy schedule is observationally equivalent to the eager reference under a peripheral-monotonicity condition (Theorem 1), with a closed-form interpolation that restores exactness for the timer registers that would otherwise drift (Theorem 2). A cost model predicts the throughput knee that fixes the default interval, and a circuit solver and topology binder meet the per-synchronization budget at proven complexity bounds. The drift benchmark confirms zero observable state drift on monotone-read workloads up to N = 4096 and event drift bounded by N, while the companion platform realizes an 11.7–43.6× speedup at no observable cost.

The formal model is specialized to the MCU-and-DC-circuit setting: the monotonicity condition and the interpolation generalize to any linear-update peripheral but not to event-driven status flags, and the DC solver is not a substitute for transient analog simulation. Against general co-simulation standards such as FMI [10], whose per-step overhead is amortized over millisecond-scale physics, the contribution is a per-cycle, microsecond-budget scheduler with an explicit correctness condition. Future work includes an adaptive interval driven by the cost model, piecewise interpolation for non-monotone but predictable peripherals, and extension to non-AVR targets, for which only the instruction-decoding layer changes while the scheduler, interpolation, and solver carry over unchanged.

**Acknowledgements**

The author thanks the early Logiclabuz users whose firmware patterns motivated the interpolation algorithm, and the maintainers of simavr and avr8js, whose reference implementations informed the formal model.

## REFERENCES

1. A. Ergashev, “Logiclabuz: A browser-native co-simulation platform for the virtualization of multi-MCU robotic systems.”.
2. J.-M. Pollet, “Simavr: A lean, mean and hackable AVR simulator for linux & co.” https://github.com/buserror/simavr.
3. U. Wasserman, “avr8js: AVR 8-bit simulator written in TypeScript.” https://github.com/wokwi/avr8js.
4. N. Bruschi, G. Haugou, G. Tagliavini, F. Conti, L. Benini, and D. Rossi, “GVSoC: A highly configurable, fast and accurate full-platform simulator for RISC-V based IoT processors,” in *Proceedings of the 39th IEEE international conference on computer design (ICCD)*, 2021, pp. 409–416. doi: 10.1109/ICCD53106.2021.00071.
5. C. Lei *et al.*, “FlexEmu: Towards flexible MCU peripheral emulation,” in *Proceedings of the 2025 ACM SIGSAC conference on computer and communications security (CCS)*, 2025. doi: 10.1145/3719027.3765086.

6. W. Zhou, L. Zhang, L. Guan, P. Liu, and Y. Zhang, “What your firmware tells you is not how you should emulate it: A specification-guided approach for firmware emulation,” in *Proceedings of the 2022 ACM SIGSAC conference on computer and communications security (CCS)*, 2022. doi: 10.1145/3548606.3559386.
7. F. Bellard, “QEMU, a fast and portable dynamic translator,” in *Proceedings of the USENIX annual technical conference*, 2005, pp. 41–46.
8. N. Binkert *et al.*, “The gem5 simulator,” *ACM SIGARCH Computer Architecture News*, vol. 39, no. 2, pp. 1–7, 2011, doi: 10.1145/2024716.2024718.
9. L. W. Nagel, “SPICE: A computer program to simulate semiconductor circuits,” University of California, Berkeley, Memorandum No. ERL-M520, 1975.
10. T. Blochwitz *et al.*, “The functional mockup interface for tool-independent exchange of simulation models,” in *Proceedings of the 8th international modelica conference*, in Linköping electronic conference proceedings no. 63. Dresden, Germany: Linköping University Electronic Press, 2011, pp. 105–114. doi: 10.3384/ecp11063105.
11. M. A. Hamdi *et al.*, “Integrating SystemC-AMS power modeling with a RISC-V ISS for virtual prototyping of battery-operated embedded devices,” in *Proceedings of the 21st ACM international conference on computing frontiers: Workshops and special sessions (CF companion)*, 2024. doi: 10.1145/3637543.3652873.
12. J. Eker, J. W. Janneck, E. A. Lee, *et al.*, “Taming heterogeneity — the ptolemy approach,” in *Proceedings of the IEEE*, 2003, pp. 127–144.
13. R. M. Fujimoto, *Parallel and distributed simulation systems*. Wiley, 1999.
14. R. E. Tarjan, “Efficiency of a good but not linear set union algorithm,” *Journal of the ACM*, vol. 22, no. 2, pp. 215–225, 1975.


ISSN 3030-3907