ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME -10

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 10

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	Zamonaviy avtomobillarda qo‘llanilayotgan gaz tizimlarining solishtirma tahlili *Pardayev Rustam Kamol o‘g‘li* *Muxammadiyev Umarali Sheraliyevich* *Abrayev Abdulla Eshboyevich* *Ibragimov Hasan Eshpulatovich*	9
2	Avtonom monitoring tarmoqlarida simsiz ma’lumot uzatish protokollarini taqqoslash *Xolmatov Oybek Olim o‘g‘li* *Xakimov Akbar Faxriddin o‘g‘li*	17
3	Immobilization of 9-isopropyl-6-benzylaminopurine into a hydrogel matrix and technology of its application as a moisture-controlling system for fruits *Baymuratova Gulbaxar*	30
4	Xomashyo turi va faollashtirish usullarining uglerodli materiallarning adsorbsion samaradorligiga ta’sirini o‘rganish. *Tursunova Gulfiros Vakiljon qizi* *Sabirova Xusnigul G‘ayratovna* *Payg‘amov Raximjon Abdukayumovich*	38
5	Coprinopsis atramentaria qo‘ziqorini biomassasidan ajratib olingan ikkilamchi metabolitlar *Kaxarova Madina Faxriddin qizi* *Kamolov Luqmon Sirojiddinovich*	47
6	Monitoring and rehabilitation measures in women after molar pregnancy *Tugizova Dildora Ismailovna* *Mamarizaeva Nafosat Zokhidjon qizi*	55
7	Yengil sanoat korxonalarida kasbiy kasalliklar va ishlab chiqarish jarohatlarining tahlili *Dehqonov Oyatillo Mansurbek o‘g‘li*	63
8	Минерал мойларни регенерациялаш ва физик механик хусусиятлар *Дехканобоев Сардорбек Назиржонович*	73
9	Andijon suv ombori atrofini topografik-geodezik ta’minlash haqida *Baxtiyorova D.* *Mirmahmudov E.R.* *Abjaparova D.A.* *Toktosunov J.*	84
10	Dala maydonida sensor tugunlarini joylashtirish modeli *Jo‘rayev Mansurbek Mirkomilovich*	96
11	Korroziyaga chidamli yangi kompozit materiallardan issiqlik almashish qurilmasi ishlab chiqish *M.X. Ismailov*	106
12	O‘zbekiston iqlim sharoitida issiqlik nasoslarining texnik-iqtisodiy samaradorligini baholash *M.O. G‘afurov* *A.F. Muxtorov*	115
13	As-di oziq-ovqat qo‘shilmasining foydali xususiyatlari: tajribaviy natijalar asosida ilmiy baholash *Jalilov Boburbek Abduraxim o‘g‘li*	132
14	Zig‘ir (linum usitatissimum l.) O‘simligi ekstrakti tarkibidagi suvda eruvchan vitaminlar miqdorini yussx usulida aniqlash *Jalilov Boburbek Abduraxim o‘g‘li*	138
15	Sanoat hududlarida ekologik xavfni kamaytirishda avtomatlashtirilgan tizimlardan foydalanish *Jumaqulova Zulayho Bahodirjon qizi*	143
16	Об устойчивости композиционного оператора распознавания действий на основе скелетных данных *Кабул Худайбергенов*	155
17	Ikkilamchi materiallardan epoksid kley tarkibini taguchi usulida optimallashtirish *Karimov Rustamjon Ibragimovich*	168
18	An adaptive zero trust-based network security model for cyber-resilient digital infrastructures	176

ISSN 3030-3907

	Karimova Iqbol Madaminovna	
19	Risk-aware multi-layered network defense model for protecting iot and 5g-enabled digital infrastructures *Karimova Iqbol Madaminovna*	185
20	Лингвопоэтика образа интеллигенции в русской и узбекской прозе xx века: на материале творчества м.а. булгакова и о. Якубова *Облобердиева Шахноза Каюмовна*	195
21	Разработка экспериментальной индукционной установки для термобработки и расплавления металлов *Пулатов Аброр Абидович* *Шамиев Мурат Фикратович* *Мўминов Хумоюн Асрорбек ўғли* *Махмудов Ниёз Зокиржон ўғли*	209
22	Исследование физико-химических свойств серосодержащей олигомери *Абдурашидова Т.Э.* *Болтаева Д.Б.* *Ҳайиталиева Х.А.* *Нормуродов Б.А.* *Нуркулов Ф.Н.* *Пардаева Н.Ж.*	214
23	Maktabgacha ta’limda steam texnologiyasi asosida kreativ fikrlashni rivojlantirish *Mirzabekova Aygul Nishanbayevna*	221
24	Sun’iy intellekt yordamida temirbeton konstruksiyalarda yoriqlarni aniqlash va monitoring qilish *Yulborsov Faxridin Xamidullayevich* *Asronboyeva Mexriniso Mavlonbek qizi*	227
25	Синтез и исследование антиокислительной активности производных госсипола в качестве термостабилизатора поливинилхлорида *Мирвалиев Зоид Зохидович*	234
26	Оценка эксплуатационных характеристик адсорбционных тепловых насосов третьего поколения *Курбонов Нурали Абдуллаевич* *Джураев Шухрат Ихтиёрович* *Курбанова Мунисахон Санджар кизи* *Бухоров Ҳабибулло Жаҳонгир ўғли* *Ештемиров Жамшидбек Олимжон ўғли* *Ўролов Дилшод Бахриддин ўғли* *Панжиев Асилбек Бекмуродович*	242
27	Физико-химическое обоснование синтеза и применения полиэлектролитных композиций на основе акрилатов и биополимеров в процессах шлихтования *П.С.Шабонов* *А.А.Хайдаров* *Г.А.Ихтиярова*	256
28	Распределение потерь электрической мощности в электрической сети при передаче электроэнергии между генерирующими и сетевыми предприятиями *Ибрагимов Искандар Исроилович* *Курбанова Мунисаҳон Санджар кизи* *Валиев Рамазон Алишер ўғли* *Эштемиров Жамшидбек Олимжон ўғли* *Бухоров Ҳабибулло Жаҳонгир ўғли* *Ўролов Дилшод Бахриддин ўғли*	262
29	Влияние механоактивированного гранодиорита каратауского месторождения на физико-механические свойства композиционных цементов *Л.Б. Кабулова* *Г.Ж. Оразимбетова*	271

ISSN 3030-3907

	Темирбаева Ж.М.	
30	Современные методы машинного обучения при интерпретации карбонатных коллекторов: обзор и перспективы применения в нефтегазовой геофизике *Краснощекова Анастасия Юрьевна*	278
31	Uzbekistan’s demographic bonus at a crossroads: employment absorption, gender gaps, fiscal and pension reforms *Azamat Sulaymonov*	283
32	Dronlar yordamida havo ifloslanishini avtonom monitoring qilish tizimi *Xolmatov Oybek Olim o‘g‘li* *Xakimov Akbar Faxriddin o‘g‘li*	305
33	Hunarmandchilik naqshlari kompozitsiyalarini shakllantirishning geometrik modellari *Egamnazarova Sevaraxon Xasanboy qizi*	316
34	Elektr energiyani uzatishda elektr tarmog‘idagi quvvat isrofini ishlab chiqaruvchi va taqsimlovchi korxonalar orasida taqsimlash *Kurbonov Nurali Abdullayevich* *Djurayev Shuxrat Ixtiyorovich* *Kurbanova Munisakhon Sandjar kizi* *Buxorov Habibullo Jahongir o‘g‘li* *Eshtemirov Jamshidbek Olimjon o‘g‘li* *O‘rolov Dilshod Baxriddin o‘g‘li* *Panjiyev Asilbek Bekmurodovich*	333
35	Xorazm viloyati sharoitida platinasiz (to‘g‘onsiz) mikro geslarni loyihalash me’zonlarini ishlab chiqish *Xamrayev Og‘abek Oybek o‘g‘li*	341
36	Mis ishlab chiqarish istiqbolli loyihalarining tatbiqi *Xayitboyev Qudratbek Anvarbek o‘g‘li*	361
37	Investigation of the thermoelectric characteristics of silicon oxide thin films *Khojimatov Islombek Turg‘unboy o‘g‘li*	369
38	Geterostrukturali qoplamalarning elastik moduli va yopishqoqligi o‘rtasidagi korrelyatsiya *Xojimatov Umidbek Turg‘unboy o‘g‘li*	377
39	“Raqamli ta’lim muhitida talabalarning kasbiy kompetentligini rivojlantirishning mavjud strukturaviy-funksional modeli” *Xazratov Fazliddin Xikmatovich* *Xojiyeva Muxlisa Sultonovna*	386
40	Bio-yarimo‘tkazgich materiallarning kelajak imkoniyatlari *Gulxayot Xolyigitova Sulaymanovna*	396
41	Характеристика глютена и его технологическая роль в производстве мучных и безглютеновых изделий *М.К. Кузиева* *К.С. Рахмонов* *Л.Н. Хайдар-Заде*	404
42	Ichki yonuv dvigatellarining ekologik samaradorligini tahliliy baholash *Eshdavlatov.E.U* *Jo‘raqobilov Mansur To‘ychi o‘g‘li*	416
43	Kerosin fraksiyasidagi oltingugurtli birikmalarni ekologik xavfsiz erituvchilar yordamida ajratish texnologiyasi. *Bozorova Lobar Sharipovna* *Eshniyozov Mirjalol Toxir o‘g‘li*	424
44	Sun’iy intellekt asosida shaxsiylashtirilgan ta’limni tashkil etishning loyihaviy modeli va uning ilmiy-metodik ta’minoti Fattoyeva Norjon Azamat qizi	431
45	Sug‘orish nasos stansiyalarini boshqarishda sun'iy intellekt va scada integratsiyasiga asoslangan intellektual tizim	439

ISSN 3030-3907

	Abdullabekov Islombek *G‘aniyev Elbek*	
46	Qishloq xo‘jaligi tizimini optimallashtirishda zamonaviy yechimlar *D.R. Ubaydullayeva* *G‘ulomova Marjona Nuriddin qizi*	446
47	Maktabgacha ta’lim tizimida ota-onalar bilan interfaol hamkorlikni rivojlantirishning xorijiy tajribasi *Ganiyeva Vaziraxon Yusufovna*	452
48	Кончилик корхоналарида юқори гармоникларни бартараф этишга асосланган электр таъминоти тизимининг такомиллаштирилган алмаштириш схемасини ишлаб чиқиш *Товбаев Акрам Нурмонович* *Бойназаров Гайрат Гуломович* *Тоғаев Ислом Бекпўлат ўғли* *Рамазонов Баҳодир Голиб ўғли*	459
49	Seolit asosidagi adsorbentlarning gaz tozalash jarayonida qo‘llanilishi *Mutalipova Diloromxon Baxtiyorjon qizi*	467
50	Axborot tizimlarida ma’lumotlar maxfiyligini ta'minlashda federativ o‘qitish (federated learning) yondashuvining samaradorligi nazariy tahlil va qiyosiy baholash *G‘ofurova Muxlisa G‘ulom qizi*	476

ISSN 3030-3907

ZAMONAVIY AVTOMOBILLARDA QO‘LLANILAYOTGAN GAZ TIZIMLARINING SOLISHTIRMA TAHLILI

Pardayev Rustam Kamol o‘g‘li
TDMAU Transport vositalari muhandisligi ta’lim yo‘nalishi 1-bosqich magistranti
Muxammadiyev Umarali Sheraliyevich
TDMAU Transport muhandisligi va logistika kafedrasi katta o‘qituvchisi t.f.f.d PhD
E-mail: muhammadiyevumar5@gmail.com
Abrayev Abdulla Eshboyevich
TDMAU Transport muhandisligi va logistika kafedrasi assistenti
E-mail: abdullaabdiulla@gmail.com
Ibragimov Hasan Eshpulatovich
TDMAU Yo‘l muhandisligi kafedrasi assistenti

Anotatsiya. Ushbu maqolada, gaz ballonli avtomobillarning ekspluatatsion ko‘rsatgichlarini yaxshilashda va ekologik xafsizligini ta’minlashda gaz ballon uskunalarini avtomobil texnik ko‘rsatgichlariga mos tanlash va shunga mos dastur sozlamalarini optimal holatda o‘rnatish usuli ko‘rsatilgan. Shu bilan birga universal yonilg‘i ta’minlash tizimiga ega gaz ballonli avtomobillarning bazaviy dasturlari orqali ularning yonilg‘ini ta’minlash tizimidagi gaz injektorlarining yonilg‘i uzatish miqdorini optimallashtirish bo‘yisha tahliliy ma’lumotlar keltirilgan. Gaz-benzin rejimlarining almashish davrini to‘g‘ri tanlash bilan avtomobilning ekspluatatsion samaradorligini oshirish imkoniyatlari o‘rganilgan

Kalit so‘zlar: Gaz ballonli avtomobil, gaz ballon uskunasi, yonilg‘i ta’minlash tizimi, gaz injektori, elektron boshqaruv tizimi, ekspluatatsion samaradorlik, ekologik xavfsizlik, gaz-benzin rejimi, dasturiy sozlash, yonilg‘i sarfi.

Annotation. This article shows how to select gas cylinder equipment in accordance with the technical characteristics of the vehicle and set the appropriate program settings in an optimal state in order to improve the operational performance of gas cylinder vehicles and ensure environmental safety. At the same time, analytical data are presented on optimizing the fuel delivery rate of gas injectors in the fuel supply system of gas cylinder vehicles with a universal fuel supply system through their basic programs. The possibilities of increasing the operational efficiency of the vehicle by correctly selecting the gas-petrol mode switching period are studied.

Keyword: Gas-powered vehicle, gas cylinder equipment, fuel supply system, gas injector, electronic control system, operational efficiency, environmental safety, gas-petrol mode, software calibration, fuel consumption.

Аннотация. В данной статье показано, как выбрать оборудование для газовых баллонов в соответствии с техническими характеристиками транспортного средства и установить соответствующие программные параметры в оптимальном состоянии для повышения эксплуатационных характеристик газовых баллонов транспортных средств и обеспечения экологической безопасности. Одновременно представлены аналитические данные по оптимизации расхода топлива газовыми форсунками в системе подачи топлива газовых баллонов транспортных средств с универсальной системой подачи топлива на основе их базовых программ. Изучены возможности повышения эксплуатационной эффективности транспортного средства за счет правильного выбора периода переключения режимов работы (газ-бензин).

Ключевое слово: Газобаллонный автомобиль, газобаллонное оборудование, система подачи топлива, газовый инжектор, электронная система управления, эксплуатационная эффективность, экологическая безопасность, газо-бензиновый режим, программная настройка, расход топлива.

KIRISH.

Bugungi kunda dunyoda 1,45 milliarddan ortiq avtomobil mavjud [1] va ularning aksariyati neftga asoslangan benzindan foydalanadi. va dizel yoqilg‘isi. Ushbu yoqilg‘i bilan ishlaydigan avtomobillar deyarli bir asr davomida ishlamoqda, ammo ulardan foydalanish an'anaviy yoqilg‘i global ekologik muammolarni keltirib chiqardi, cheklangan neft zaxiralari esa yoqilg‘i taqchilligiga olib keldi. ushbu avtomobillar uchun mahsulotlar. Bunday muammolarning oldini olish uchun muqobil yoqilg‘idan foydalanish, ommalashtirish zarur ular.

Zamonaviy transport vositalarida qo‘llaniladigan muqobil yoqilg‘ilarga metanol va benzometanol aralashmasi kiradi; vodorod; suyultirilgan neft, propan-butan aralashmalari (PBM), siqilgan tabiiy gaz (CNG) yoki suyultirilgan neft gazi (LPG), gaz generator, biogaz, gaz kondensat yoqilg‘isi, suvli yoqilg‘i emulsiyalari va boshqalarni o‘z ichiga oladi [2]. CNG sifatida foydalanish avtomobil yoqilg‘isi 1930-yillarning boshlarida Italiyada kashf etilgan [3], 1970-yillardan boshlab u butun dunyoda mashhur bo‘ldi, va bu o‘sha paytda boshlangan neft mahsulotlari taqchilligi sabab bo‘ldi. Shundan so‘ng CNG paydo bo‘la boshladi avtomobil yoqilg‘isi sifatida har tomonlama istiqbolli muqobil sifatida. 1970-yillarning oxiri va boshida neft narxining keskin o‘sishi 1980-yillar CNG avtomobillari sonining yanada ko‘payishiga va ularni takomillashtirishga olib keldi.

ISSN 3030-3907

2019-2020 yillarda dunyoda tabiiy gazda ishlaydigan avtomobillar soni 29,793 milliondan ortiq, gaz avtotransport vositalariga yonilg‘i quyish kompressor stansiyalari 33 383 tani tashkil etadi [5]. miqdori bo‘yicha Osiyo yetakchi hisoblanadi mintaqalar bo‘yicha tabiiy gaz bilan ishlaydigan transport vositalari (1-jadval).

1-Jadval

CNG avtomobillari va siqilgan tabiiy gaz (CNG) yoqilg‘i quyish shoxobchalarining hududlar bo‘yicha taqsimlanishi [6]

Regions	CNG	CNG fllling
Asia	20 473	20 275
Yevropa	2 062 621	5194
North America	224 500	1856
South America	5 484 676	5848
Africa	295 349	210

ADABIYOTLAR TAHLILI. CNG to‘g‘ridan-to‘g‘ri gaz konlaridan va neft mahsulotlarini qayta ishlash jarayonida ajralib chiqadigan gazlardan olinadi.

CNG asosan metandan (82...98%) iborat bo‘lib, qo‘shimcha ravishda etan (6% gacha), propan (1,5%) va butan (1% gacha). CNG tarmoqlangan gaz quvurlari orqali gaz yig‘uvchi kompressor stantsiyalariga va undan etkazib beriladi u yerda transport vositalariga yoqilg‘i sifatida tarqatiladi. Metan rangsiz va hidsiz gaz, suvda ozgina eriydi, engilroq havoga nisbatan (o‘ziga xos zichligi havoga nisbatan 0,55) va to‘yingan gidrovositalar sinfiga kiradi. Metan molekulalar faqat transport vositasi va vodoroddan iborat, shuning uchun u yoqilganda zaharli gaz chiqarmaydi. CNGdagi vodorodning yuqori miqdori dvigatel tsilindrlarida yoqilg‘ining to‘liq yonishini ta'minlaydi suyultirilgan gaz yoki benzin.

2-Jadval

CNG va benzin yoqilg‘ilarining asosiy xarakteristikalari

Ko‘rsatkichlar	CNG	*Benzin*
1	2	3
Molekulyar massa	16.03	114.2
Elementar tarkibi, %: *H*	25,03 74,57	15,0 85,0
H/C nisbat	4,0	2,25
Gaz doimiyligi: *kgsm/kgK*	52,81 0,124	7,6 -
Standart sharoitlarda bug 'holatining zichligi: *kg/m*^{3} yoqilg‘i suyuq bo‘lganda *kg/l*	0,670 0,415	 0,<S26

ISSN 3030-3907

Bug‘lanish harorati, *kkal/kg*	122,6	65
Nisbiy zichlik	0.554	3.18
Yoqilg‘ining to‘liq yonishi uchun havodan zarur bo‘lgan kislorod bo‘ladi: m^3/m^3 fuel m^3/kg fuel	 9,52 14.2	 12,35
Standart sharoitda stexiometrik aralashmaning yonish issiqligi; $kkal/m^3$	770	850
Qaynash nuqtasi, ^0C	-161,6	99,2
Qaynatish harorati, ^0C	590.690	480-520
Stokiometrik aralashmaning yonish harorati, ^0C	2020	2100
Stoknometrik aralashma yonganda molekulyar o‘zgarish koeffitsienti	1,0	1,058
Oktan darajasi	100...120	100
Olov tarqalishining normal tezligining maksimal qiymati, *m/s*	3,4.3.7	4,0-4,2
Xuddi shu tezlikda ortiqcha havo koeffitsienti	0,95	0,89
Pastki kontsentratsiya chegarasida bu koeffitsientning qiymati	2,0	1,76
Yuqori konsentratsiya chegarasida qiymat	0,65	0,3
Havoda yonuvchanlik chegaralari,g/m³ %	5...15; 16.66...102.6	1,5/6,0
Olovning minimal energiyasi, 10-3 J yog 'issiqligi	0,23	0,28
Wobbe indeksi (yoki Wobbe indeksi): yuqori qiymat pastroq qiymat	12300 11300	- -

CNG va benzin yoqilg‘ilarining asosiy xarakteristikalari 2-jadvalda keltirilgan [1,2]. Ushbu xususiyatlarni taqqoslash bir-biriga, ichki yonish dvigatelida yoqilg‘i sifatida CNG dan foydalanish 12 xil samaradorlik ko‘rsatkichlarini beradi operatsiya vaqtida.

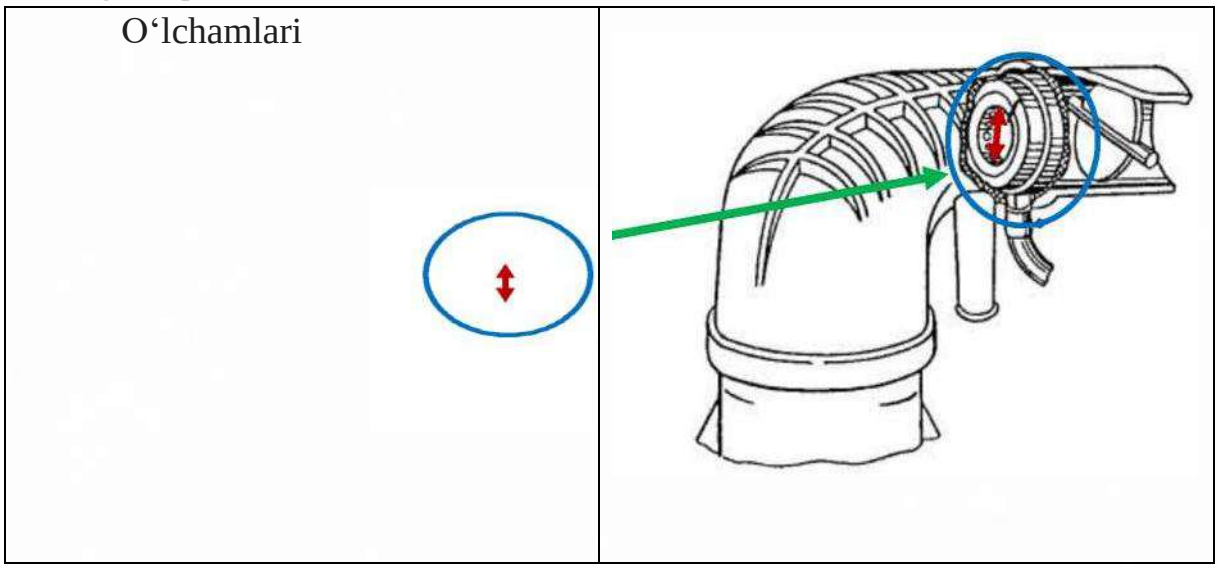
CNG yoqilg‘isi benzin yoki dizelga qaraganda arzonroq (O‘zbekiston Respublikasida yoqilg‘i narxlariga misol sifatida CNG yoqilg‘isi avtomobillar

ISSN 3030-3907

uchun benzin yoqilg‘isidan 3,18 marta va dizel yoqilg‘isidan deyarli 4,54 baravar arzonroq) [9]. Unda bor tabiiy ravishda havoni ifloslantiruvchi emissiyalarni kamaytiradi. U kamroq issiqxona gazlari emissiyasiga ega. Uning ishlatilishi neft ta'minotini kengaytiradi, va dunyoda ko‘p miqdorda yoqilg‘i mavjud [7]. CNG yuqori afzalligiga ega issiqlik samaradorligi benzinnikiga qaraganda o‘rtacha 1,1% va 1,6% ni tashkil qiladi [8].

NATIJA VA MUHOKAMA. Avtomobillarda CNG yoqilg‘isidan foydalanilganda, ular gaz ballon uskunalari (GCE) bilan jihozlangan. GCE sifatida o‘rnatilgan zamonaviy avtomashinalar, asosan bosim regulyatori benzin solenoidli klapan, qo‘lda o‘chirish tugmasi (Bu benzin oqimini to‘xtatadi.

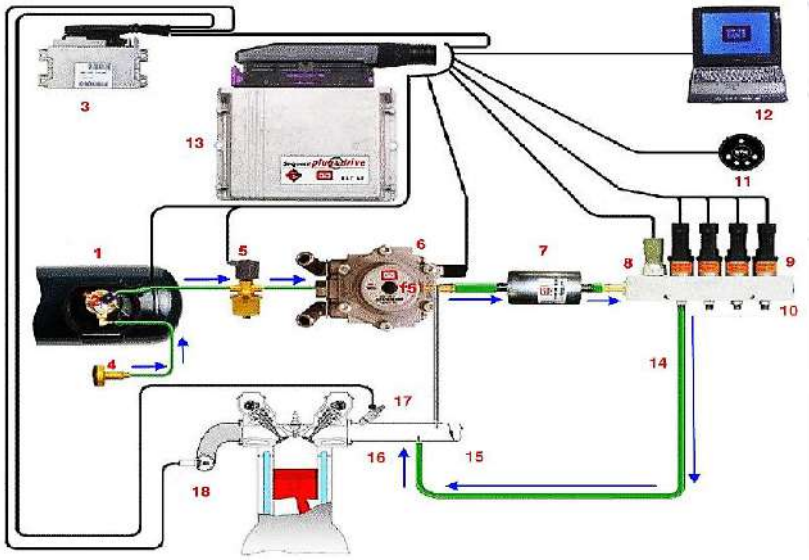
CNGda ishlaganda), o‘chirish valfi va yonilg‘i quyish ulagichi, boshqaruv moduli / almashtirish tugmasi (bu yoqilg‘i tanlash kaliti bilan elektron boshqaruv komponenti), CNG darajasi ko‘rsatkichi (LED ko‘rsatkichi), gaz havo aralashtirgichi, CNG valfli silindr, bug 'qopchasi va kronshteyn, benzin shlangi, past bosimli gaz shlangi, ateşleme protsessori, yuqori bosimli gaz trubkasi, simli jabduqlar, benzinni qaytarish liniyasida qaytarilmaydigan valf (NRV), bosim o‘lchagich qismlardan iborat.



1-rasm. CNG avtomobillarining 3-avlod GCEdagi gaz havosini aralashtirish moslamasi

Bugungi kunda CNG yoqilg‘ida ishlaydigan avtomashinalarni 4-avlod GCE bilan qayta jihozlash mashhur bo‘lib bormoqda (2-rasm). Bu avlod GCE deyarli barcha zamonaviy ichki yonish dvigatellari aylantirilishi mumkin, dizayn juda oddiy, va ham juda samarali. CNG avtomobillarining 1-2-3-avlod GCE-dan farqli o‘laroq, 4-avlod GCE jihozlangan. CNG yoqilg‘isini etkazib beradigan gaz injektorlari o‘z navbatida, vosita quvvatining oshishiga olib keladi va sezilarli yoqilg‘i tejash.

ISSN 3030-3907



2- rasm. Gaz ballon qurilmalarini struktura sxemasi:

1-gaz ballon; 2-monometr; 3-yonilg‘i boshqaruv bloki; 4-gaz quyish qurilmasi; 5-elektromagnit klapan; 6-gaz reduktori; 7-yonilg‘i filtri; 8-temperatura datchigi; 9-gaz yonilg‘isi forsunkalari; 10-gaz yonilg‘isi forsunkalari rampasi; 11-test o‘tkazish uchun kontaktli ajratuvchi; 12-test o‘tkazish uchun noutbuk; 13-elektron boshqaruv bloki; 14-gaz yonilg‘isi quvurlari; 15-drossel zaslonkasi; 16-kiritish kollektori; 17-dizel yonilg‘isi forsunkasi; 18-kislorod datchigi

CNG avtomobillarining 3-avlod GCE-da gaz havosini aralashtirish moslamasi (1-rasm) yoqilg‘ini havo bilan aralashtirib, uni kiritadi. Bunday holda, gaz havo aralashtirgichidan o‘tadigan havo oqimi miqdori vosita yuklash rejimida kerakli darajaga erisha olmaydi. Buning sababi gaz mikserining kichik diametri teshik (1-rasm), gaz pedali bosilganda, kerakli miqdordagi havo teshiklardan to‘liq kira olmaydi.

Natijada, silindrda boy yoqilg‘i aralashmasi hosil bo‘ladi va energiya samaradorligi pasayadi 4-avlod CNG avtomashinalarida yuqoridagi kamchilik bartaraf qilinadi va alohida gaz injektorlari o‘rnatiladi.

Gaz uzatish uchun har bir intel manifoldlari (2-rasm (4)) va CNG ning elektron boshqaruv bloki (ECB) (2-rasm (1)) o‘rnatilgan jarayonni optimal tarzda boshqaradi. Avtomobillarni 4-avlod GCE bilan jihozlagandan so‘ng, gaz ECU hisoblanadi kompyuterda tegishli dasturda dasturlashtirilgan (3-rasm). Bugungi mashhur Stage, Digironic, Europegas, Bu dasturlar orasida Prins, Autogas system, BRS, Autogaz AC va boshqalarni qayd etish mumkin.

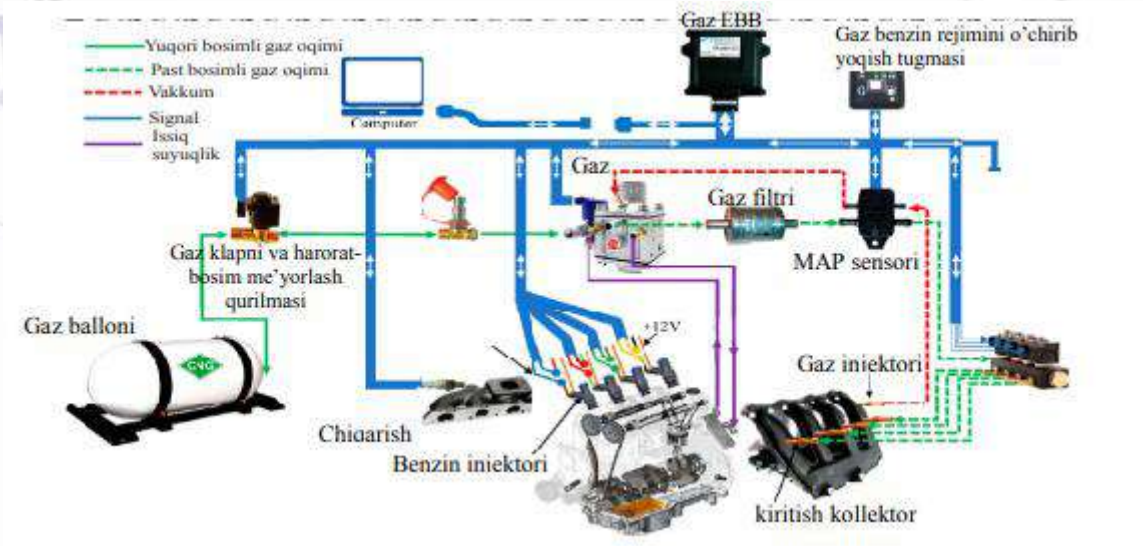
Yuqoridagi dasturlar orqali dvigatel ta'minoti tizimidagi "gaz-benzin" yoqilg‘i almashinuvi rejimini o‘zgartirish mumkin.

yoqilg‘ining o‘ziga xos haroratiga yoki krank mili aylanishlarining soniga bog‘liqligi. Biz bu jarayonni o‘zgartirishimiz mumkin

ISSN 3030-3907

kompyuterni gaz ECU ga ulash orqali dasturni o‘rnatish orqali (3-rasm).

4-avlod GCE bilan jihozlangan transport vositalarini ishlatish jarayonida benzin sarfini kamaytirish mumkin benzin rejimidan gazga o‘tish vaqtini qisqartirish orqali va bu, o‘z navbatida, yoqilg‘ini tejash imkonini beradi. xarajatlar va transport vositalarining ekologik xavfsizligini oshirish.



3-rasm

Benzinli transport vositalarida CNG komponentlarini joylashtirish

XULOSA. Xulosa qilib aytganda, avtomobilsozlik va avtomobillarni ekspluatatsiya qilishda qo‘llaniladigan zamonaviy texnologiyalardan samarali foydalanish, bugungi kunda jadal rivojlanib borayotgan bu sohalarni yanada rivojlantirishda yuksak samaralar beradi. Mantiqiy qilish hisobga olib, elektron boshqariladigan universal (gaz-benzin) ta'minoti tizimiga ega avtomobillarning asosiy dasturiga o‘zgartirishlar kiritildi ish sharoitlarini hisobga olish, ularning energetik va ekologik ko‘rsatkichlarini yaxshilashga olib keladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Б.И.Базаров, С.А.Калауов, А.Х. Васидов Альтернативные моторные топлива. Монография. – Ташкент: SHAM SASA, 2014. – 189 с.

2. Б.И.Базаров, Р.Н.Ахматжанов, О.З.Одилов Использование альтернативных энергетических источников и установок на транспорте. Монографияч.-Ташкент: IQTISOD-MOLIYA, 2023. – 257 с.

3. Лотфуллин Шамиль Рафилевич “Повышение энергоэффективности и экологичности автомобильного газового двигателя изменением его активного рабочего объема” диссертаци на соискание учёной степени кандидата технических наук, 2019, 159

4. O‘zbekiston Respublikasi Tabiat Resurslari Vazirligi “Toshkentdagi yangi avtobus va elektrobuslar atmosferaga chiqariladigan zaharli gazlar miqdorini 1,2

ISSN 3030-3907

ming tonnaga kamaytiradi". 25.04.2023 10:15 (https://eco.gov.uz/yz/site /news?id=3189)

5. Kenedy Aliila Greyson, Gerutu Bosinge Gerutu, Shahzad Bobi, Pius Victor Chombo, "Exploring the potential of compressed natural gas as a sustainable fuel for rickshaw: A case study of Dar es Salaam". Journal of Natural Gas Science and Engineering, Volume 96, 2021, 104273, ISSN 1875-5100 (https://doi.org/10.1016/j.jngse.2021.104273).

6. Е. А. Захаров, Ю. И. Моисеев "Газобаллонное оборудование автомобилей": учеб. по- соб. ВолгГТУ, Волгоград, 2015. – 88 с.

7. Шишков, Владимир Александрович "Методы управления рабочим циклом двухтопливных и однотопливных поршневых газовых двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием" диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. 2013 г, 401 с.

8. Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi "Gaz ballonlaridan noto‘g’ri foydalanish oqibatlari, sohada tadbirkorlarga yaratilgan sharoitlar, davlat nazorati va vakolatlari". 10-Yanvar, 2022 (https://www.facebook.com/ aoka.uz/ videos/451358343145087/).

9. "Gaz-ballon uskunasi o‘rnatilgan Lacettilarning O‘zbekistondagi savdosi kuzda boshlanadi". GM Uzbekistan kompaniyasi matbuot xizmati. 12.07.2016, 16:10 (https://daryo.uz/2016/07/12/gaz-ballon-uskunasi-ornatilgan-lacettilarning-ozbekistondagisavdosi-kuzda-boshlanadi)

AVTONOM MONITORING TARMOQLARIDA SIMSIZ MA'LUMOT UZATISH PROTOKOLLARINI TAQQOSLASH

Xolmatov Oybek Olim o'g'li
Katta o'qituvchi Andijon davlat texnika instituti
Xakimov Akbar Faxriddin o'g'li
Andijon davlat texnika instituti Talaba
E-mail: xakimovakbar2005@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur ilmiy maqolada avtonom monitoring tarmoqlarida qo'llaniladigan simsiz ma'lumot uzatish protokollarining texnik imkoniyatlari, ishlash samaradorligi hamda amaliy qo'llanish xususiyatlari tahlil qilingan. Tadqiqotda zamonaviy monitoring tizimlarida keng qo'llanayotgan ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), LoRaWAN va NB-IoT protokollarining asosiy parametrlariga qiyosiy baho berilgan. Xususan, ma'lumot uzatish tezligi, energiya sarfi, aloqa masofasi, xavfsizlik darajasi, tarmoq sig'imi va uzluksiz ishlash ko'rsatkichlari ilmiy asosda o'rganilgan. Avtonom monitoring tarmoqlarida energiya tejamkorligi va uzoq masofaga uzatish imkoniyati muhim omillardan biri hisoblanishi sababli, maqolada kam quvvat sarflovchi protokollarning ustunliklari alohida yoritilgan. Tadqiqot davomida turli monitoring muhitlari, jumladan ekologik nazorat, aqlli qishloq xo'jaligi, sanoat avtomatizatsiyasi va xavfsizlik tizimlari uchun eng maqbul simsiz aloqa texnologiyalarini tanlash mezonlari ishlab chiqilgan. Natijalar shuni ko'rsatdiki, qisqa masofali va yuqori tezlik talab qilinadigan tizimlarda Wi-Fi va BLE samarali bo'lsa, uzoq masofali va energiya tejamkor monitoring tizimlari uchun LoRaWAN hamda NB-IoT texnologiyalari yuqori samaradorlikni namoyon etadi. Shuningdek, maqolada avtonom monitoring tarmoqlarining ishonchliligini oshirish va ma'lumotlar uzatishdagi kechikishlarni kamaytirishga qaratilgan tavsiyalar ham keltirilgan. Tadqiqot natijalari simsiz monitoring tizimlarini loyihalash va optimallashtirish jarayonlarida muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi.

Kalit so'zlar: Avtonom monitoring tarmoqlari, simsiz aloqa, ma'lumot uzatish protokollari, ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy, BLE, LoRaWAN, NB-IoT, IoT texnologiyalari, energiya samaradorligi, aqlli monitoring, sensor tarmoqlari, sanoat avtomatizatsiyasi, ekologik monitoring, ma'lumot uzatish tezligi, tarmoq xavfsizligi.

Abstract. This scientific article analyzes the technical capabilities, operational efficiency, and practical application features of wireless data transmission protocols used in autonomous monitoring networks. The study comparatively evaluates the main parameters of widely used modern monitoring protocols such as ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), LoRaWAN, and NB-IoT. In particular, data transmission speed, energy consumption, communication range,

security level, network capacity, and reliability indicators are examined on a scientific basis. Since energy efficiency and long-distance communication are considered important factors in autonomous monitoring systems, special attention is paid to the advantages of low-power communication protocols. During the research, criteria for selecting the most suitable wireless communication technologies for various monitoring environments, including environmental control, smart agriculture, industrial automation, and security systems, were developed. The results demonstrate that Wi-Fi and BLE are effective for short-range systems requiring high-speed communication, whereas LoRaWAN and NB-IoT show higher efficiency in long-range and energy-efficient monitoring systems. Furthermore, the article provides recommendations aimed at improving the reliability of autonomous monitoring networks and reducing data transmission delays. The research findings possess significant scientific and practical importance in the design and optimization of wireless monitoring systems.

Keywords: Autonomous monitoring networks, wireless communication, data transmission protocols, ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy, BLE, LoRaWAN, NB-IoT, IoT technologies, energy efficiency, smart monitoring, sensor networks, industrial automation, environmental monitoring, data transmission speed, network security.

Аннотация. В данной научной статье проанализированы технические возможности, эффективность работы и особенности практического применения протоколов беспроводной передачи данных, используемых в автономных мониторинговых сетях. В исследовании проведена сравнительная оценка основных параметров современных протоколов мониторинга, таких как ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), LoRaWAN и NB-IoT. В частности, на научной основе рассмотрены скорость передачи данных, энергопотребление, дальность связи, уровень безопасности, ёмкость сети и показатели надёжности работы. Поскольку энергоэффективность и возможность передачи данных на большие расстояния являются важными факторами автономных мониторинговых систем, в статье отдельно освещены преимущества протоколов с низким энергопотреблением. В ходе исследования были разработаны критерии выбора наиболее подходящих технологий беспроводной связи для различных сред мониторинга, включая экологический контроль, умное сельское хозяйство, промышленную автоматизацию и системы безопасности. Результаты показали, что Wi-Fi и BLE являются эффективными для систем с короткой дистанцией и высокой скоростью передачи данных, тогда как технологии LoRaWAN и NB-IoT демонстрируют высокую эффективность в системах дальнего действия и

энергоэффективного мониторинга. Кроме того, в статье приведены рекомендации, направленные на повышение надёжности автономных мониторинговых сетей и снижение задержек передачи данных. Результаты исследования имеют важное научно-практическое значение при проектировании и оптимизации беспроводных мониторинговых систем.

Ключевые слова: Автономные мониторинговые сети, беспроводная связь, протоколы передачи данных, ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy, BLE, LoRaWAN, NB-IoT, IoT-технологии, энергоэффективность, интеллектуальный мониторинг, сенсорные сети, промышленная автоматизация, экологический мониторинг, скорость передачи данных, безопасность сети.

KIRISH.

So‘nggi yillarda axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining jadal rivojlanishi natijasida avtonom monitoring tizimlariga bo‘lgan talab sezilarli darajada ortib bormoqda. Ayniqsa, ekologik monitoring, aqlli qishloq xo‘jaligi, sanoat avtomatizatsiyasi, energetika, transport va xavfsizlik tizimlarida real vaqt rejimida ma’lumotlarni yig‘ish, qayta ishlash hamda masofadan nazorat qilish zarurati simsiz aloqa texnologiyalarining rivojlanishiga katta turtki berdi. Avtonom monitoring tarmoqlari sensor qurilmalar, boshqaruv modullari va markaziy serverlar o‘rtasida uzluksiz ma’lumot almashishni ta’minlaydi. Mazkur jarayonda simsiz ma’lumot uzatish protokollari asosiy texnologik vosita sifatida muhim o‘rin egallaydi.

An’anaviy simli monitoring tizimlari yuqori aniqlik va barqarorlikka ega bo‘lishiga qaramay, ularni keng hududlarga o‘rnatish katta xarajat, murakkab infratuzilma va texnik xizmat ko‘rsatishni talab qiladi. Shu sababli, zamonaviy monitoring tizimlarida simsiz texnologiyalardan foydalanish ustuvor yo‘nalishlardan biriga aylangan. Simsiz tarmoqlar yordamida ma’lumotlarni uzoq masofalarga uzatish, energiya sarfini kamaytirish, qurilmalarni mobil boshqarish va tizimni tez kengaytirish imkoniyatlari yaratilmoqda. Biroq, har bir simsiz uzatish protokoli o‘zining texnik imkoniyatlari, quvvat iste’moli, uzatish tezligi va qamrov hududi bilan farqlanadi. Shu sababli monitoring tizimining vazifasi va ish muhiti uchun eng maqbul protokolni tanlash muhim ilmiy va amaliy masalalardan biri hisoblanadi.

Bugungi kunda ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), LoRaWAN va NB-IoT kabi texnologiyalar IoT va sensor tarmoqlarida keng qo‘llanilmoqda. ZigBee protokoli past quvvat sarfi va mesh topologiyasini qo‘llab-quvvatlashi bilan ajralib tursa, Wi-Fi yuqori tezlikdagi ma’lumot almashinuvini ta’minlaydi. BLE texnologiyasi qisqa masofali va energiya tejamkor aloqani tashkil etishda samarali hisoblanadi. LoRaWAN esa uzoq masofaga ma’lumot uzatish va

ISSN 3030-3907

minimal energiya sarfi bilan avtonom tizimlar uchun qulay imkoniyat yaratadi. NB-IoT texnologiyasi mobil aloqa infratuzilmasidan foydalanib keng qamrovli va ishonchli aloqa muhitini hosil qiladi.

Avtonom monitoring tarmoqlarida energiya samaradorligi eng muhim omillardan biri sanaladi. Ko‘plab sensor qurilmalar uzoq muddat davomida mustaqil ishlashi talab etiladi. Shu bois, ma’lumot uzatish protokollarining energiya sarfi va tarmoqdagi ishlash barqarorligi tizim samaradorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Bundan tashqari, ma’lumot uzatishdagi kechikish, xavfsizlik darajasi va tarmoq sig‘imi ham monitoring tizimlarining asosiy texnik talablaridan hisoblanadi.

Mazkur ilmiy maqolaning asosiy мақсади avtonom monitoring tarmoqlarida qo‘llaniladigan simsiz ma’lumot uzatish protokollarini texnik va funksional jihatdan taqqoslash, ularning afzallik va kamchiliklarini aniqlash hamda turli monitoring muhitlari uchun eng samarali texnologiyalarni tavsiya etishdan iborat. Tadqiqot natijalari monitoring tizimlarini optimallashtirish, energiya samaradorligini oshirish va ma’lumot uzatish ishonchliligini yaxshilashga xizmat qiladi [1-3].

ADABIYOTLAR TAHLILI. Avtonom monitoring tarmoqlari va simsiz ma’lumot uzatish protokollari bo‘yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar so‘nggi yillarda IoT texnologiyalarining rivojlanishi bilan yanada kengayib bormoqda. Mazkur yo‘nalishda olib borilgan ilmiy izlanishlarda energiya samaradorligi, uzoq masofaga ma’lumot uzatish, tarmoq xavfsizligi va monitoring tizimlarining barqaror ishlashi asosiy tadqiqot obyektlari sifatida qaralmoqda.

Internet of Things: Principles and Paradigms nomli ilmiy manbada IoT tizimlarining arxitekturasi, sensor tarmoqlari va simsiz aloqa protokollarining ishlash tamoyillari keng yoritilgan. Mualliflar IoT infratuzilmasida ma’lumot uzatish samaradorligi monitoring tizimining umumiy ishlash sifatiga bevosita ta’sir ko‘rsatishini ta’kidlagan. Ushbu manbada ZigBee, Wi-Fi va BLE texnologiyalarining texnik imkoniyatlari ham tahlil qilingan.

Wireless Communications asarida simsiz aloqa tizimlarining nazariy asoslari, signal uzatish modellari va tarmoq samaradorligini oshirish usullari ilmiy jihatdan asoslab berilgan. Muallif simsiz tarmoqlarda energiya sarfi va signal sifati monitoring tizimlarining asosiy samaradorlik ko‘rsatkichlari ekanligini qayd etadi. Mazkur manba monitoring tarmoqlarida qo‘llaniladigan zamonaviy simsiz protokollarni texnik jihatdan baholash uchun muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Al-Fuqaha va hammualliflar tomonidan olib borilgan tadqiqotda IoT tizimlarida qo‘llaniladigan aloqa protokollari va texnologiyalarining afzalliklari hamda kamchiliklari kompleks ravishda tahlil qilingan. Tadqiqotchilar energiya

ISSN 3030-3907

samaradorligi va real vaqt rejimida ma’lumot uzatish monitoring tizimlarining asosiy talablari ekanligini ko‘rsatganlar. Ularning fikricha, BLE va ZigBee texnologiyalari qisqa masofali sensor tarmoqlarida yuqori samaradorlikka ega bo‘lsa, LoRaWAN va NB-IoT uzoq masofali monitoring tizimlari uchun istiqbolli texnologiyalar hisoblanadi.

Centenaro va hammualliflar tomonidan amalga oshirilgan ilmiy tadqiqotda LoRaWAN texnologiyasining aqlli shahar va IoT tizimlaridagi imkoniyatlari tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari LoRaWAN protokolining kam energiya sarfi va uzoq masofaga uzatish imkoniyati sababli ekologik monitoring va qishloq xo‘jaligi tizimlarida samarali ishlashini ko‘rsatgan. Shu bilan birga, ma’lumot uzatish tezligining pastligi ushbu texnologiyaning asosiy cheklovlaridan biri sifatida qayd etilgan.

Mekki va hammualliflarning ilmiy ishida LPWAN texnologiyalari, jumladan LoRaWAN va NB-IoT tizimlari o‘zaro taqqoslangan. Mualliflar NB-IoT texnologiyasining mobil operator tarmoqlari bilan integratsiyalashgani sababli yuqori barqarorlik va keng qamrovni ta’minlashini ta’kidlagan. Tadqiqotda energiya samaradorligi va tarmoq sig‘imi monitoring tizimlari uchun muhim omillar sifatida ko‘rib chiqilgan.

Raza va hammualliflar tomonidan olib borilgan tadqiqotda past quvvatli keng hududli tarmoqlar (LPWAN) ning texnik arxitekturasi va IoT tizimlaridagi roli tahlil qilingan. Tadqiqotchilar LoRaWAN va NB-IoT texnologiyalarining avtonom monitoring tizimlarida uzoq muddatli ishlash imkoniyatlarini ilmiy asosda yoritganlar. Ularning fikriga ko‘ra, energiya sarfini optimallashtirish monitoring tarmoqlarining asosiy rivojlanish yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

IEEE tomonidan ishlab chiqilgan IEEE 802.15.4 standarti ZigBee va boshqa kam quvvatli sensor tarmoqlari uchun asosiy texnologik platforma sifatida keng qo‘llaniladi. Mazkur standart energiya tejamkor sensor tarmoqlarini tashkil etishda yuqori samaradorlikni ta’minlaydi. Shu bilan birga, 3GPP tomonidan ishlab chiqilgan NB-IoT standartlari sanoat monitoringi va aqlli infratuzilmalarda keng qo‘llanilib kelinmoqda.

Yousuf va hammualliflar ekologik monitoring tizimlarida IoT texnologiyalarining qo‘llanilish imkoniyatlarini o‘rganganlar. Tadqiqot natijalarida sensor tarmoqlari yordamida real vaqt rejimida ekologik ko‘rsatkichlarni kuzatish monitoring samaradorligini sezilarli oshirishi qayd etilgan. Ushbu ilmiy ish monitoring tizimlarida simsiz protokollarning amaliy ahamiyatini ko‘rsatib beradi.

Umuman olganda, tahlil qilingan ilmiy adabiyotlar avtonom monitoring tarmoqlarida simsiz ma’lumot uzatish protokollarining muhim ahamiyatga ega ekanligini ko‘rsatadi. Tadqiqotlar asosida energiya samaradorligi, uzoq masofali

ISSN 3030-3907

aloqa va tarmoq ishonchliligi monitoring tizimlarining asosiy rivojlanish omillari sifatida baholanmoqda. Shu bilan birga, mavjud ilmiy ishlarda universal simsiz protokol mavjud emasligi va monitoring tizimining vazifasiga qarab optimal texnologiyani tanlash zarurligi ta’kidlanadi.

METODOLOGIYA.

Mazkur tadqiqotda avtonom monitoring tarmoqlarida qo‘llaniladigan simsiz ma’lumot uzatish protokollarining texnik va funksional xususiyatlarini qiyosiy tahlil qilish usullaridan foydalanildi. Tadqiqotning asosiy maqsadi turli simsiz aloqa protokollarining monitoring tizimlaridagi samaradorligini baholash hamda ularning amaliy qo‘llanish imkoniyatlarini aniqlashdan iborat bo‘ldi. Tadqiqot jarayonida ilmiy kuzatuv, texnik taqqoslash, statistik tahlil va modellashtirish metodlari qo‘llanildi.

Tadqiqot obyekti sifatida zamonaviy IoT va sensor tarmoqlarida keng qo‘llanilayotgan ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), LoRaWAN va NB-IoT protokollari tanlab olindi. Ushbu texnologiyalar turli monitoring muhitlarida energiya sarfi, uzatish masofasi, ma’lumot almashish tezligi va tarmoq barqarorligi bo‘yicha o‘zaro taqqoslandi. Tadqiqot davomida har bir protokol uchun standart texnik parametrlar va ishlab chiqaruvchilar tomonidan taqdim etilgan ma’lumotlardan foydalanildi.

Metodologik yondashuvning birinchi bosqichida mavjud ilmiy adabiyotlar, xalqaro standartlar va zamonaviy monitoring tizimlari bo‘yicha ilmiy maqolalar tahlil qilindi. Ushbu bosqichda simsiz protokollarning texnik tavsiflari, ishlash tamoyillari hamda amaliy qo‘llanish sohalari o‘rganildi. Tahlil jarayonida IEEE 802.11, IEEE 802.15.4 va 3GPP standartlari asosida ishlab chiqilgan texnologiyalar o‘rtasidagi farqlar aniqlashtirildi [4,5].

Ikkinchi bosqichda simsiz protokollarning asosiy ishlash ko‘rsatkichlari bo‘yicha qiyosiy baholash amalga oshirildi. Bunda quyidagi mezonlar asosiy parametr sifatida tanlandi: ma’lumot uzatish tezligi, energiya sarfi, signal qamrovi, uzatish kechikishi, xavfsizlik darajasi, tarmoq sig‘imi va avtonom ishlash muddati. Har bir parametr bo‘yicha olingan natijalar jadval va grafik ko‘rinishida umumlashtirildi.

Tadqiqotning uchinchi bosqichida monitoring tizimlari uchun turli ish muhitlari modellashtirildi. Jumladan, ekologik monitoring tizimi, aqlli qishloq xo‘jaligi sensori, sanoat nazorat tizimi va xavfsizlik monitoringi uchun alohida aloqa sharoitlari yaratildi. Har bir muhitda simsiz protokollarning ishlash samaradorligi virtual modellashtirish asosida baholandi. Bunda energiya iste’moli va uzatish barqarorligi asosiy indikator sifatida qabul qilindi.

Natijalarni qayta ishlash jarayonida statistik tahlil usullaridan foydalanildi. Olingan ko‘rsatkichlarning o‘rtacha qiymatlari, samaradorlik koeffitsiyentlari va

ISSN 3030-3907

texnologiyalararo farqlar matematik tahlil asosida aniqlashtirildi. Shu bilan birga, monitoring tizimlarida qo‘llash uchun eng optimal protokollarni aniqlash maqsadida ko‘p mezonli baholash usuli qo‘llanildi.

Mazkur metodologik yondashuv avtonom monitoring tarmoqlarida simsiz ma’lumot uzatish protokollarining imkoniyatlarini kompleks baholash va ularning amaliy samaradorligini ilmiy asosda aniqlash imkonini berdi [6,7].

1-jadval

Avtonom monitoring tarmoqlarida simsiz ma’lumot uzatish protokollarining qiyosiy tahlili

Protokol	Uzatish masofasi	Ma’lumot uzatish tezligi	Energiya sarfi	Tarmoq sig‘imi	Afzalliklari	Kamchiliklari
ZigBee	10–100 m	250 Kbit/s gacha	Juda past	Yuqori	Past energiya sarfi, mesh topologiya, arzon qurilmalar	Uzatish tezligi past
Wi-Fi	50–100 m	100 Mbit/s va undan yuqori	Yuqori	O‘rta	Yuqori tezlik, internet integratsiyasi qulay	Energiya iste’moli katta
BLE	5–50 m	1–2 Mbit/s	Juda past	O‘rta	Energiya tejamkor, mobil qurilmalar bilan mos	Masofa cheklangan
LoRaWAN	2–15 km	0.3–50 Kbit/s	Juda past	Yuqori	Uzoq masofa, avtonom ishlash imkoniyati	Tezlik past
NB-IoT	1–10 km	250 Kbit/s gacha	Past	Juda yuqori	Keng qamrov, barqaror aloqa, mobil	Operator infratuzilmasiga bog‘liq

ISSN 3030-3907

					tarmoqqa integratsiya	

Jadvalda avton monitoring tarmoqlarida keng qo‘llaniladigan simsiz ma’lumot uzatish protokollarining asosiy texnik ko‘rsatkichlari qiyosiy ravishda keltirilgan. Tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, har bir protokol monitoring tizimining vazifasi, ish muhiti va texnik talablariga qarab o‘ziga xos afzalliklarga ega.

ZigBee texnologiyasi energiya sarfining juda pastligi va mesh topologiyani qo‘llab-quvvatlashi sababli sensor tarmoqlari uchun samarali hisoblanadi. Ayniqsa, sanoat monitoringi va aqlli uy tizimlarida ushbu protokol keng qo‘llaniladi. Biroq, ma’lumot uzatish tezligining nisbatan pastligi katta hajmdagi ma’lumotlarni real vaqt rejimida uzatishda ayrim cheklovlarni yuzaga keltiradi.

Wi-Fi protokoli esa yuqori tezlikdagi ma’lumot almashinuvini ta’minlaydi. Ushbu texnologiya video monitoring, multimedia uzatish va yuqori tarmoqli kenglik talab qiluvchi tizimlarda samarali ishlaydi. Shu bilan birga, energiya iste’molining yuqoriligi uni uzoq muddatli avtonom sensor tizimlari uchun kamroq moslashtiradi.

Bluetooth Low Energy (BLE) texnologiyasi qisqa masofali va kam quvvat sarflovchi monitoring tizimlari uchun optimal yechim hisoblanadi. Mobil qurilmalar bilan integratsiyaning qulayligi uning amaliy ahamiyatini oshiradi. Lekin uzatish masofasining cheklanganligi keng hududli monitoring tizimlarida undan foydalanishni murakkablashtiradi.

LoRaWAN protokoli uzoq masofaga ma’lumot uzatish imkoniyati va minimal energiya sarfi bilan ajralib turadi. Ushbu texnologiya ekologik monitoring, aqlli qishloq xo‘jaligi va masofaviy nazorat tizimlari uchun ayniqsa samarali hisoblanadi. Biroq, ma’lumot uzatish tezligining pastligi yuqori hajmdagi ma’lumotlar oqimini cheklaydi.

NB-IoT texnologiyasi esa mobil aloqa infratuzilmasidan foydalangan holda keng qamrov va yuqori barqarorlikni ta’minlaydi. Ushbu protokol katta miqdordagi sensor qurilmalarni boshqarish imkoniyatiga ega bo‘lib, sanoat IoT tizimlarida muhim ahamiyat kasb etadi. Shu bilan birga, uning operator tarmoqlariga bog‘liqligi va ayrim hududlarda qamrov muammolari mavjud.

Umuman olganda, tahlil natijalari monitoring tizimlarida universal protokol mavjud emasligini ko‘rsatadi. Har bir texnologiya muayyan texnik talab va monitoring muhitiga qarab tanlanishi lozim. Energiya samaradorligi va uzoq masofali monitoring uchun LoRaWAN hamda NB-IoT, yuqori tezlik talab qilinadigan tizimlar uchun esa Wi-Fi va BLE texnologiyalari eng maqbul yechim sifatida baholandi.

NATIJA VA MUHOKAMA.

ISSN 3030-3907

Tadqiqot davomida avtonom monitoring tarmoqlarida qo‘llaniladigan ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), LoRaWAN va NB-IoT simsiz ma’lumot uzatish protokollarining texnik hamda funksional imkoniyatlari qiyosiy ravishda tahlil qilindi. Olingan natijalar turli monitoring muhitlarida ushbu texnologiyalarning samaradorligi bir-biridan sezilarli darajada farqlanishini ko‘rsatdi. Ayniqsa, energiya sarfi, uzatish masofasi, ma’lumot almashish tezligi va tarmoq barqarorligi monitoring tizimining umumiy ishlash samaradorligiga bevosita ta’sir qiluvchi asosiy omillar ekanligi aniqlandi.

Tahlil natijalariga ko‘ra, Wi-Fi texnologiyasi ma’lumot uzatish tezligi bo‘yicha eng yuqori ko‘rsatkichlarni namoyish etdi. Ushbu protokol katta hajmdagi ma’lumotlarni qisqa vaqt ichida uzatish imkoniyatiga ega bo‘lib, video monitoring, sanoat kameralarini boshqarish va real vaqt rejimidagi multimedia uzatish tizimlarida samarali ishlashi kuzatildi. Biroq, Wi-Fi tarmog‘ining energiya iste’moli boshqa texnologiyalarga nisbatan ancha yuqori ekanligi aniqlandi. Shu sababli, uzoq muddatli avtonom ishlash talab qilinadigan sensor tarmoqlarida ushbu texnologiyani qo‘llash iqtisodiy va texnik jihatdan samarasiz bo‘lishi mumkin.

ZigBee texnologiyasi energiya tejamkorligi va sensor qurilmalar bilan ishlashdagi barqarorligi bilan ijobiy natijalarni ko‘rsatdi. Tadqiqot davomida ZigBee asosidagi monitoring tizimlari kichik va o‘rta hududlarda ma’lumot uzatishda yuqori ishonchlilikni ta’minlashi aniqlandi. Mesh topologiyani qo‘llab-quvvatlashi natijasida tarmoqdagi qurilmalar o‘rtasida avtomatik bog‘lanish hosil bo‘lib, aloqa uzilishlari kamaydi. Shu bilan birga, ma’lumot uzatish tezligining cheklanganligi ushbu texnologiyaning katta hajmdagi axborot oqimlarini uzatish imkoniyatlarini kamaytiradi [8,9].

Bluetooth Low Energy (BLE) protokoli qisqa masofali monitoring tizimlarida eng kam energiya sarflovchi texnologiyalardan biri sifatida baholandi. Ayniqsa, aqlli qurilmalar, sog‘liqni nazorat qilish tizimlari va mobil monitoring platformalarida BLE yuqori samaradorlikni namoyon etdi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, BLE texnologiyasi batareya quvvatini uzoq muddat saqlab qolish imkoniyatini yaratadi. Biroq, signal qamrovining cheklanganligi va katta hududlarda ishlash samaradorligining pastligi uning asosiy kamchiliklaridan biri sifatida qayd etildi.

LoRaWAN protokoli uzoq masofaga ma’lumot uzatish imkoniyati bilan boshqa texnologiyalardan sezilarli ustunlikka ega ekanligi aniqlandi. Tadqiqot natijalari ushbu texnologiya ekologik monitoring, meteorologik kuzatuv va aqlli qishloq xo‘jaligi tizimlarida juda samarali ishlashini ko‘rsatdi. LoRaWAN tarmog‘ida energiya iste’molining minimal darajada bo‘lishi sensor qurilmalarining bir necha yil davomida avtonom ishlashiga imkon yaratadi. Shu

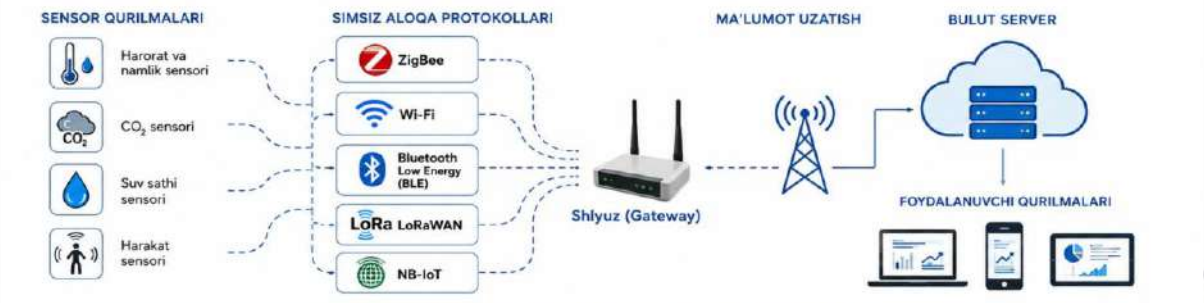
ISSN 3030-3907

bilan birga, ma’lumot uzatish tezligining pastligi yuqori hajmdagi ma’lumot almashinuvini talab qiluvchi tizimlarda cheklovlarni yuzaga keltiradi.

NB-IoT texnologiyasi esa keng hududli monitoring tizimlarida yuqori barqarorlik va ishonchlilikni ta’minlashi bilan ajralib turdi. Mobil aloqa operatorlari infratuzilmasidan foydalanishi sababli ushbu texnologiya katta qamrov hududida uzluksiz aloqa imkonini beradi. Tadqiqot davomida NB-IoT asosidagi monitoring tizimlari sanoat nazorati, aqlli shahar texnologiyalari va energetika tizimlarida yuqori samaradorlikni namoyon qilgani kuzatildi. Biroq, ushbu texnologiyaning operator tarmoqlariga bog‘liqligi hamda ayrim hududlarda aloqa sifati pastligi muhim cheklovlardan biri sifatida baholandi.

Muhokama natijalari shuni ko‘rsatdiki, avtonom monitoring tarmoqlari uchun yagona universal simsiz uzatish protokoli mavjud emas. Har bir texnologiyaning samaradorligi monitoring tizimining vazifasi, geografik joylashuvi, energiya manbai va uzatiladigan ma’lumot hajmiga bog‘liq holda farqlanadi. Agar tizimda yuqori tezlik va real vaqt rejimidagi ma’lumot uzatish talab qilinsa, Wi-Fi texnologiyasi maqsadga muvofiq hisoblanadi. Energiya samaradorligi ustuvor bo‘lgan uzoq muddatli monitoring tizimlari учун esa LoRaWAN va NB-IoT texnologiyalari eng maqbul variant sifatida baholandi.

Shuningdek, tadqiqot natijalari monitoring tizimlarini loyihalashda gibrid yondashuvlardan foydalanish samarali ekanligini ko‘rsatdi. Masalan, qisqa masofali sensor qurilmalarda BLE yoki ZigBee texnologiyasidan, markaziy uzatish tizimida esa LoRaWAN yoki NB-IoT dan foydalanish monitoring samaradorligini sezilarli darajada oshirishi mumkin. Bu esa kelajakda aqlli monitoring tizimlarini yaratishda bir nechta protokollarni integratsiyalash asosiy rivojlanish yo‘nalishlaridan biri bo‘lishini ko‘rsatadi [10].



SIMSIZ MA'LUMOT UZATISH PROTOKOLLARINING QIYOSIY TAHLILI

Protokol	Uzatish masofasi	Ma'lumot uzatish tezligi	Energiya sarfi	Tarmoq sig'imi	Afzalliklari	Kamchiliklari
ZigBee	10 – 100 m	250 Kbit/s gacha	Juda past	Yuqori	Past energiya sarfi, mesh topologiya, arzon qurilmalar	Uzatish tezligi past
Wi-Fi	50 – 100 m	100 Mbit/s va undan yuqori	Yuqori	O'rta	Yuqori tezlik, internet integratsiyasi qulay	Energiya iste'moli katta
Bluetooth Low Energy (BLE)	5 – 50 m	1 – 2 Mbit/s	Juda past	O'rta	Energiya tejamkor, mobil qurilmalar bilan mos	Masofa cheklangan
LoRa LoRaWAN	2 – 15 km	0.3 – 50 Kbit/s	Juda past	Yuqori	Uzoq masofa, avtonom ishlash imkoniyati	Tezlik past
NB-IoT	1 – 10 km	250 Kbit/s gacha	Past	Juda yuqori	Keng qamrov, barqaror aloqa, mobil tarmoqqa integratsiya	Operator infratuzilmasiga bog'liq

1-rasm. Avtonom monitoring tarmoqlarida simsiz ma’lumot uzatish protokollarining arxitekturasi va qiyosiy texnik tahlili.

ISSN 3030-3907

1-rasmda avtonom monitoring tarmoqlarida qo‘llaniladigan simsiz ma’lumot uzatish protokollarining umumiy ishlash arxitekturasi hamda ularning texnik ko‘rsatkichlari qiyosiy tarzda tasvirlangan. Rasmda sensor qurilmalar, simsiz aloqa protokollari, shlyuz (gateway), bulut serveri va foydalanuvchi qurilmalari o‘rtasidagi ma’lumot almashish jarayoni ketma-ketlik asosida ko‘rsatilgan.

Tahlil natijalariga ko‘ra, monitoring tizimining boshlang‘ich qismida joylashgan sensor qurilmalar harorat, namlik, CO_2 miqdori, suv sathi, bosim va harakat kabi muhim parametrlarni doimiy ravishda o‘lchaydi. Ushbu ma’lumotlar ZigBee, Wi-Fi, BLE, LoRaWAN va NB-IoT kabi simsiz protokollar orqali uzatiladi. Har bir texnologiyaning ishlash mexanizmi va texnik imkoniyatlari monitoring tizimining samaradorligiga turlicha ta’sir ko‘rsatadi.

Rasmda ZigBee texnologiyasining mesh topologiyasi asosida ishlashi uning ko‘p tugunli sensor tarmoqlarida yuqori barqarorlikni таъминлашини ko‘rsatadi. Wi-Fi esa yuqori tezlikdagi ma’lumot uzatish imkoniyatiga ega bo‘lib, video kuzatuv va real vaqt monitoring tizimlari uchun mos ekanligi bilan ajralib turadi. BLE texnologiyasi kam energiya sarfi bilan mobil va qisqa masofali monitoring tizimlarida samarali ishlashi ko‘rsatilgan.

LoRaWAN protokolining uzoq masofaga ma’lumot uzatish imkoniyati ekologik monitoring va aqlli qishloq xo‘jaligi tizimlari uchun muhim afzallik sifatida aks ettirilgan. NB-IoT texnologiyasi esa mobil operator tarmoqlari orqali keng qamrovli va barqaror aloqa muhitini yaratishi bilan ajralib turadi. Rasmda ushbu protokollarning ma’lumotlarni gateway orqali bulut serveriga uzatishi va foydalanuvchi qurilmalarida real vaqt rejimida monitoringni tashkil etishi aniq ifodalangan.

Quyi qismdagi qiyosiy jadval protokollarning uzatish masofasi, tezligi, energiya sarfi, tarmoq topologiyasi, afzalliklari va kamchiliklarini tizimli ravishda taqqoslash imkonini beradi. Tahlil shuni ko‘rsatadiki, yuqori tezlik talab qilinadigan monitoring tizimlari uchun Wi-Fi, energiya tejamkor va uzoq muddatli avtonom monitoring uchun esa LoRaWAN hamda NB-IoT texnologiyalari eng samarali yechim hisoblanadi.

Umuman olganda, rasm avtonom monitoring tarmoqlarida simsiz ma’lumot uzatish protokollarining o‘zaro bog‘liqligi, texnologik arxitekturasi va amaliy qo‘llanilish imkoniyatlarini kompleks tarzda yoritib beradi.

XULOSA.

Mazkur tadqiqot davomida avtonom monitoring tarmoqlarida qo‘llaniladigan simsiz ma’lumot uzatish protokollarining texnik va funksional imkoniyatlari kompleks ravishda tahlil qilindi hamda ularning monitoring tizimlari samaradorligiga ta’siri baholandi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki,

ISSN 3030-3907

zamonaviy monitoring tizimlarida qo‘llaniladigan ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), LoRaWAN va NB-IoT texnologiyalari o‘zining texnik parametrlari, energiya samaradorligi, uzatish masofasi va tarmoq barqarorligi bilan bir-biridan sezilarli darajada farqlanadi.

Tahlillar asosida Wi-Fi texnologiyasi yuqori tezlikdagi ma’lumot almashish talab qilinadigan monitoring tizimlarida samarali ishlashi aniqlandi. Biroq, uning energiya iste’molining yuqoriligi uzoq muddatli avtonom sensor tarmoqlarida qo‘llanish imkoniyatlarini cheklaydi. ZigBee va BLE protokollari esa past energiya sarfi va sensor qurilmalar bilan ishlashdagi qulayligi sababli qisqa va o‘rta masofali monitoring tizimlari uchun maqbul yechim sifatida baholandi. Ayniqsa, BLE texnologiyasi mobil monitoring qurilmalari bilan integratsiyada yuqori samaradorlikni namoyon etdi.

LoRaWAN va NB-IoT texnologiyalari uzoq masofali monitoring tizimlarida eng istiqbolli aloqa yechimlari ekanligi aniqlandi. LoRaWAN protokoli minimal energiya sarfi va uzoq masofaga uzatish imkoniyati bilan ekologik monitoring, aqlli qishloq xo‘jaligi hamda masofaviy nazorat tizimlari uchun samarali hisoblanadi. NB-IoT esa mobil aloqa infratuzilmasidan foydalanishi sababli keng qamrov, yuqori ishonchlilik va katta miqdordagi sensor qurilmalarni boshqarish imkonini beradi. Shu bilan birga, ushbu texnologiyalarning operator tarmoqlariga bog‘liqligi ayrim texnik cheklovlarni yuzaga keltirishi mumkin.

Tadqiqot natijalari monitoring tizimlari uchun universal simsiz protokol mavjud emasligini ko‘rsatdi. Har bir texnologiyani tanlash monitoring tizimining vazifasi, energiya manbai, ma’lumot hajmi, uzatish masofasi va ishlash muhiti kabi omillar asosida amalga oshirilishi lozim. Shu sababli, monitoring tizimlarini loyihalashda texnologik talablarni chuqur tahlil qilish muhim ahamiyat kasb etadi.

Bundan tashqari, maqolada gibrid monitoring arxitekturalaridan foydalanish samaradorligi ham asoslab berildi. Turli protokollarni bir tizimda integratsiyalash ma’lumot uzatish ishonchliligini oshirish, energiya sarfini kamaytirish va monitoring jarayonining uzluksizligini ta’minlash imkonini beradi. Kelgusida sun’iy intellekt, IoT va 5G texnologiyalari bilan integratsiyalashgan avtonom monitoring tarmoqlarini rivojlantirish ushbu sohaning asosiy ilmiy yo‘nalishlaridan biri bo‘lib qoladi.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari avtonom monitoring tizimlarida simsiz ma’lumot uzatish protokollarini optimallashtirish, energiya samaradorligini oshirish hamda monitoring jarayonlarining ishonchliligini ta’minlashda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega hisoblanadi.

ISSN 3030-3907

ADABIYOTLAR

1. Wireless Communications Goldsmith, A. (2021). *Wireless communications* (2nd ed.). Cambridge University Press
2. IEEE. (2023). *IEEE standard for low-rate wireless networks (IEEE 802.15.4-2023).* IEEE Standards Association
3. Internet of Things: Principles and Paradigms Buyya, R., & Dastjerdi, A. V. (Eds.). (2016). *Internet of things: Principles and paradigms.* Elsevier
4. Centenaro, M., Vangelista, L., Zanella, A., & Zorzi, M. (2016). Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the IoT and smart city scenarios. *IEEE Wireless Communications, 23*(5), 60–67. IEEE Xplore
5. Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express, 5*(1), 1–7. ScienceDirect
6. Raza, U., Kulkarni, P., & Sooriyabandara, M. (2017). Low power wide area networks: An overview. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 19*(2), 855–873. IEEE Communications Society
7. 3GPP. (2022). *NB-IoT deployment guide to basic feature set requirements.* 3GPP Official Website
8. Yousuf, A. M., Rochester, É., & Ghaderi, M. (2018). A low-cost IoT framework for environmental monitoring. *Sensors, 18*(11), 1–18. MDPI Sensors
9. Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17*(4), 2347–2376. IEEE Xplore
10. Da Xu, L., He, W., & Li, S. (2014). Internet of Things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics, 10*(4), 2233–2243. IEEE Transactions on Industrial Informatics

ISSN 3030-3907

UDC 678.074:631.811

IMMOBILIZATION OF 9-ISOPROPYL-6-BENZYLAMINOPURINE INTO A HYDROGEL MATRIX AND TECHNOLOGY OF ITS APPLICATION AS A MOISTURE-CONTROLLING SYSTEM FOR FRUITS

Baymuratova Gulbaxar
Tashkent Branch of Astrakhan State Technical University

Abstract. This study is devoted to preserving the quality and extending the storage life of *Malus domestica* Borkh. cv. Crimson apples during the postharvest period through the development of a synergistic moisture-regulating and physiological aging-delaying system based on the immobilization of a 0.001% solution of 9-isopropyl-6-benzylaminopurine into a hydrogel matrix. In the course of the research, a polymer-based hydrogel was used as a carrier system to ensure the gradual and controlled release of the bioactive cytokinin derivative into the microenvironment surrounding the fruit. The obtained results demonstrated that the immobilized preparation effectively slowed transpiration processes, reduced moisture loss, and suppressed biochemical reactions associated with physiological aging. As a consequence, the firmness, external appearance, and overall quality of apple fruits remained stable throughout the storage period, while losses caused by shriveling and decay were significantly reduced. The proposed technology exhibited high efficiency even at low concentrations and, due to its ecological safety and economic affordability, represents an important scientific and practical advancement in modern postharvest fruit preservation technologies.

Keywords: Malus domestica Borkh. cv. Crimson; postharvest period; 9-isopropyl-6-benzylaminopurine; 0.001% solution; hydrogel matrix; immobilization; cytokinin; moisture regulation; physiological aging; fruit storage.

Аннотация. Настоящее исследование направлено на сохранение качества и продление срока хранения плодов яблони *Malus domestica* Borkh. cv. Crimson в постхарвестный период. В работе разработана синергическая система регулирования влагообмена и замедления физиологического старения, основанная на иммобилизации 0,001%-ного раствора 9-изопропил-6-бензиламинопурина в гидрогелевой матрице. В качестве носителя использован полимерный гидрогель, обеспечивающий постепенное и контролируемое высвобождение биоактивного производного цитокинина в окружающую плоды среду. Полученные результаты показали, что иммобилизованный препарат замедляет процессы транспирации, снижает потери влаги и ослабляет биохимические процессы, связанные с физиологическим старением плодов. В результате в процессе хранения сохраняются твердость, внешний вид и общее качество яблок, а также

ISSN 3030-3907

уменьшаются потери, обусловленные усыханием и гниением. Предложенная технология характеризуется высокой эффективностью при низкой концентрации, экологической безопасностью и экономической доступностью, что определяет её важное научно-практическое значение для современных постхарвестных технологий хранения плодов.

Ключевые слова: Malus domestica Borkh. cv. Crimson; постхарвестный период; 9-изопропил-6-бензиламинопурин; 0,001%-ный раствор; гидрогелевая матрица; иммобилизация; цитокинин; регулирование влагообмена; физиологическое старение; хранение плодов.

Annotatsiya. Mazkur tadqiqot *Malus domestica* Borkh. cv. Crimson olma navining postharvest davrida sifatini saqlash va saqlash muddatini uzaytirishga qaratilgan. Tadqiqotda 9-izopropil-6-benzilaminopurinning 0,001%li eritmasini gidrogel matritsasiga immobilizatsiya qilish asosida namlikni boshqaruvchi hamda fiziologik qarishni kechiktiruvchi sinergik tizim ishlab chiqildi. Polimer asosli gidrogel tashuvchi sifatida qo‘llanilib, biofaol sitokinin hosilasining meva atrofidagi mikro-muhitga asta-sekin va nazorat ostida ajralishi ta’minlandi. Olingan natijalar immobilizatsiyalangan preparat transpiratsiya jarayonlarini sekinlashtirishi, namlik yo‘qotilishini kamaytirishi hamda fiziologik qarish bilan bog‘liq biokimyoviy reaksiyalarni susaytirishini ko‘rsatdi. Natijada mevalarning qattiqligi, tashqi ko‘rinishi va umumiy sifati saqlash davomida barqaror saqlanib qolgan, qurish va chirish tufayli yuzaga keladigan yo‘qotishlar esa sezilarli darajada kamaygan. Taklif etilgan texnologiya past konsentratsiyalarda yuqori samaradorlik, ekologik xavfsizlik va iqtisodiy jihatdan maqbulligi bilan zamonaviy postharvest meva saqlash texnologiyalari uchun muhim ilmiy-amaliy аҳамият касб этади.

Kalit so‘zlar: Malus domestica Borkh. cv. Crimson; postharvest davri; 9-izopropil-6-benzilaminopurin; 0,001 % li eritma; gidrogel matritsasi; immobilizatsiya; sitokinin; namlikni boshqarish; fiziologik qarish; mevalarni saqlash.

INTRODUCTION.

Preservation of the quality of agricultural products, especially fruits, during the postharvest period and reduction of storage losses are among the most important challenges of modern agricultural technology. According to statistical data, a significant portion of harvested fruits becomes unsuitable for consumption due to moisture loss, physiological aging, and microbiological deterioration during storage and transportation processes. Therefore, the development of effective and economically feasible technologies aimed at regulating moisture, maintaining tissue firmness, and delaying senescence processes in fruits is of considerable scientific and practical importance [1–24].

ISSN 3030-3907

The selected research object, *Malus domestica* Borkh. cv. Crimson apple variety, is distinguished by its attractive appearance, bright coloration, and high consumer demand, belonging to the premium market segment. The high commercial value of this cultivar makes storage-related losses caused by dehydration, decay, and quality deterioration economically more significant. Consequently, the development of effective technologies for preserving quality, reducing moisture loss, and delaying physiological aging during the postharvest period of Crimson apples is relevant not only scientifically but also economically. The proposed hydrogel-based bioactive system is intended to maximize the preservation of the market value of this valuable cultivar [1–10].

Apple fruits, particularly *Malus domestica* cultivars, are highly susceptible to water loss and rapid physiological aging during the postharvest period. Reduction in moisture content leads to mass loss, tissue softening, and deterioration of external appearance. Although conventional storage methods such as low-temperature storage, high relative humidity, and controlled atmosphere technologies provide certain effectiveness, they often require high energy consumption and substantial financial costs. Therefore, there is a growing need for environmentally safe, low-dose, and highly efficient alternative approaches [11–24].

In recent years, plant growth regulators have been recognized as promising substances for controlling postharvest physiology of fruits. The synthesized bioactive, environmentally safe, and low-cost compounds are characterized by their ability to stabilize cellular metabolism, slow down protein and chlorophyll degradation, and delay senescence processes. From this perspective, 6-benzylaminopurine and its derivatives have attracted considerable scientific and practical interest for maintaining fruit quality during postharvest storage. However, when applied in free form, these compounds may exhibit only short-term effects and may create problems related to dosage control.

To address these limitations, immobilization of bioactive substances within hydrogel matrices is considered an effective solution. Hydrogels possess high water-retention capacity, allowing stabilization of the microenvironment surrounding fruits and controlled release of bioactive compounds. In particular, immobilization of 9-isopropyl-6-benzylaminopurine into a hydrogel matrix is expected to generate a synergistic effect through simultaneous moisture regulation and prolonged cytokinin activity.

In this context, the present study is devoted to the development of a novel and effective technology based on the immobilization of a 0.001% solution of 9-isopropyl-6-benzylaminopurine into a hydrogel matrix for maintaining the quality

ISSN 3030-3907

of apple fruits during the postharvest period, reducing moisture loss, and delaying physiological aging.

MATERIALS AND METHODS.

The *Malus domestica* Borkh. cv. Crimson apple cultivar was selected as the research object. Fruits intended for the experiment were harvested at the stage of technical maturity without mechanical damage, disease symptoms, and with uniform size and weight characteristics. Prior to the experiments, all fruits were visually inspected, and only homogeneous samples with similar quality parameters were selected.

Pure 9-isopropyl-6-benzylaminopurine was used as the bioactive compound in the experimental studies. This compound is characterized by its ability to regulate plant cell division and delay senescence processes. As a carrier system for the bioactive substance, a polymer-based superabsorbent hydrogel composed of polyacrylic acid and polyvinyl alcohol was employed. All chemical reagents used in the experiments were of analytical grade, and distilled water was used for the preparation of all solutions.

A 0.001% aqueous solution of the bioactive compound was prepared using distilled water. The solution was mixed with a magnetic stirrer until complete homogenization and stabilized at room temperature for 30 min prior to application. This procedure ensured complete dissolution of the bioactive substance and stabilization of the physicochemical properties of the solution.

For immobilization of the bioactive compound into the hydrogel matrix, the hydrogel was first completely swollen in distilled water and subsequently saturated with the prepared 0.001% solution of 9-isopropyl-6-benzylaminopurine. The immobilization process was carried out at 20–25 °C for 12 h. After completion of the process, excess solution was removed from the hydrogel until a moist state without free water release was achieved. The obtained bioactive hydrogel was further prepared in sachet form for convenience during subsequent experimental applications.

The experimental design included the following variants: (1) control variant — fruits stored without hydrogel and bioactive compound treatment; (2) hydrogel variant — fruits treated with hydrogel without the bioactive compound; and (3) hydrogel + 9-isopropyl-6-benzylaminopurine (0.001%) variant — fruits treated with the bioactive compound immobilized within the hydrogel matrix. Each experimental variant was conducted with at least three replications ($n \geq 3$).

RESULTS AND DISCUSSION.

During the storage period, the quality parameters of *Malus domestica* Borkh. cv. Crimson apple fruits differed significantly depending on the experimental variants. The obtained results demonstrated that the combined

ISSN 3030-3907

application of hydrogel and bioactive compound contributed to maintaining the physiological stability of the fruits.

At the end of the storage period, the control variant exhibited a fruit weight loss of 7.8 ± 0.3%. In the variant treated only with hydrogel, this parameter decreased to 6.2 ± 0.2%, indicating a statistically significant difference compared to the control ($p \leq 0.05$). The lowest weight loss was recorded in the hydrogel + 9-isopropyl-6-benzylaminopurine (0.001%) variant, amounting to 5.1 ± 0.2% ($p \leq 0.05$) (Table 1).

Table 1

Quality parameters of *Malus domestica* Borkh. cv. Crimson apple fruits at the end of the storage period

№	Experimental variant	Weight loss, %	Reduction in fruit firmness, %	Physiological damage, %
1	Control	7,8 ± 0,3	18,0 ± 0,7	22,4 ± 1,2
2	Hydrogel	6,2 ± 0,2	13,1 ± 0,6	16,3 ± 1,0
3	Hydrogel + 9-izopropil-6-benzilaminopurin (0,001 %)	5,1 ± 0,2	8,2 ± 0,5	9,1 ± 0,8

Although fruit firmness decreased during storage in all experimental variants, the degree of reduction varied considerably. In the control variant, firmness decreased by 18%, whereas in the hydrogel-treated variant the reduction was approximately 13%. When the hydrogel containing immobilized bioactive compound was applied, the reduction in firmness was only about 8%. Statistical analysis confirmed that the third variant had a significant advantage over the control ($p \leq 0.05$) (Figure 1).

The observed effect may be explained by the synergistic action of the hydrogel matrix and the cytokinin derivative. The hydrogel maintained a stable moisture microenvironment around the fruits, reducing transpiration intensity, while 9-isopropyl-6-benzylaminopurine likely slowed metabolic and senescence-related biochemical processes. As a result, tissue degradation and softening processes were considerably delayed.

Physiological damage, including shriveling, surface browning, and decay symptoms, was also significantly reduced in the treated variants. The highest level of physiological damage was observed in the control fruits (22.4 ± 1.2%), while hydrogel application alone reduced this parameter to 16.3 ± 1.0%. The hydrogel containing immobilized 9-isopropyl-6-benzylaminopurine demonstrated the greatest protective effect, decreasing physiological damage to 9.1 ± 0.8%.

ISSN 3030-3907

These findings indicate that immobilization of 9-isopropyl-6-benzylaminopurine into a hydrogel matrix represents an effective approach for improving postharvest preservation of apple fruits. The proposed system combines moisture regulation with prolonged cytokinin activity, thereby providing enhanced storage stability and reducing postharvest losses.

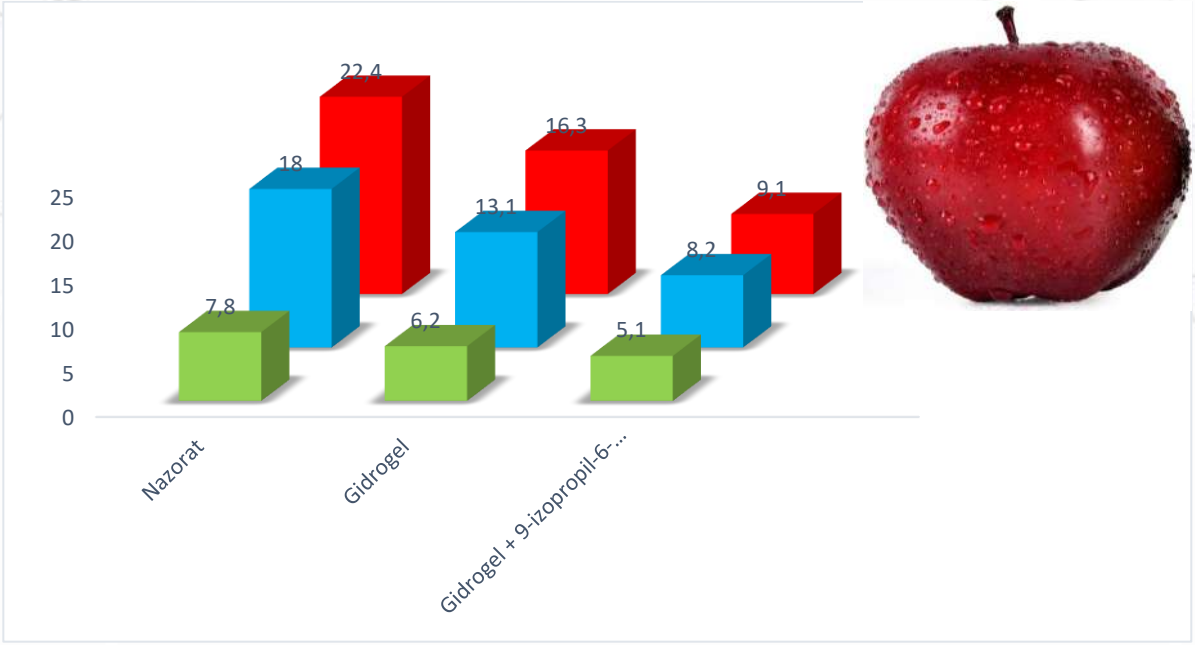


Figure 1. Quality indicators of *Malus domestica* Borkh. cv. Crimson apple fruits at the end of the storage period.

Analysis of external appearance and physiological damage demonstrated that by the end of the storage period, 22–25% of fruits in the control variant exhibited shriveling and discoloration symptoms. In the hydrogel-treated variant, this parameter decreased to 15–18%, whereas in the hydrogel + bioactive compound variant it did not exceed 8–10%. This effect can be explained by the cytokinin-related senescence-delaying activity of the bioactive compound.

Analysis of variance (ANOVA) revealed statistically significant differences among the experimental variants for all major quality parameters ($p \leq 0.05$). In particular, the parameters related to weight loss and fruit firmness demonstrated the most stable and favorable results when the hydrogel containing immobilized bioactive compound was applied.

The obtained results indicate that immobilization of the bioactive compound within the hydrogel matrix in sachet form ensured its gradual release and provided prolonged and stable physiological effects on the fruits. This approach prevented rapid degradation of the bioactive compound and significantly improved storage efficiency.

Overall, the hydrogel-immobilized 9-isopropyl-6-benzylaminopurine (0.001%) treatment was identified as the most effective variant for maintaining

ISSN 3030-3907

apple fruit quality during storage by keeping weight loss within the 5–8% range, preserving fruit firmness, and stabilizing external quality characteristics.

CONCLUSION.

The conducted studies demonstrated that immobilization of 9-isopropyl-6-benzylaminopurine into a hydrogel matrix represents an effective technological solution for maintaining the physiological stability of fruits during the postharvest period. The developed hydrogel system possesses gradual and controlled moisture-release properties, which contribute to maintaining optimal water balance within fruit tissues.

It was established that the immobilized state of the bioactive compound within the hydrogel matrix prevents its rapid degradation and ensures prolonged activity at low concentrations. As a result, fruit weight loss was significantly reduced, tissue firmness was preserved, and physiological aging processes were delayed. The combined application of hydrogel and 9-isopropyl-6-benzylaminopurine exhibited considerably higher efficiency compared to the individual treatments.

The obtained results confirm that the developed technology is environmentally safe, economically feasible, and practically convenient. The proposed hydrogel-based moisture-regulating system may therefore be recommended as a promising approach for preservation of high-value fruit cultivars, reduction of postharvest losses, and further development of modern postharvest agro-technologies.

REFERENCES

1. Saitkulov, F., Xudayarov, M., Eshboboyev, T., Oxunov, I., & Amanov, R. (2025, July). Coordination compounds of manganese salt with acetamide and study of biochemical properties of the cotton variety" Sultan" plant. In *American Institute of Physics Conference Series* (Vol. 3304, No. 1, p. 040098).

2. Kulmirzayeva, S., Isaqulova, M., Nasimov, H., Saitkulov, F., & Islomova, D. (2025, July). Study of synthesis and biological properties of coordination compound of cobalt (II)-chloride. In *American Institute of Physics Conference Series* (Vol. 3304, No. 1, p. 040099).

3. Kudratov, G. O., Elmuradov, B., Saitkulov, F., Mirvaliev, Z., Ibragimov, A., Karimov, S., & Karimov, B. (2025, February). Synthesis of urea derivatives based on toluyl isocyanate. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3268, No. 1, p. 040031). AIP Publishing LLC.

4. Saitkulov, F., Zakhidov, Q., Khaydarov, G., Sabirova, D., Ergasheva, H., Mirvaliev, Z., & Usnatdinova, S. (2025, February). Methods for the synthesis of 2-phenylquinazolin-4-one and studying methylation reactions in different

ISSN 3030-3907

solvents. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3268, No. 1, p. 030038). AIP Publishing LLC.

5. Oripov Oybek Bekboyevch (Author) Khaydarov Gayrat Shoyimovich, Saitkulov Foziljon Ergashevich, Mirvaliyev Zoid Zohidovich, Giyasov Kuchkar, Eshboboev Turaqul Usmanovich. Carotenoids inPlant-Based Food Systems. Journal of Chemical Health Risks JCHR (2025) 15(2), 84-98| ISSN:2251-6727.
6. Arzanov Ravshan Xurramovich Zulpanov Fazliddin Abduxakimovich, Saitkulov Foziljon Ergashevich, Elmuradov Burxon Jurayevich. Austrian Journal of Technical and Natural Sciences» 2025 y. 11-12.
7. Saitkulov Foziljon Ergashevich Fayzullozoda Hasanboy Muhiddin o‘g‘li, Khaydarov Gayrat Shoyimovich, Baymuratova Gulbaxar Orinbaevna. Austrian Journal of Technical and Natural Sciences.
8. Giyasov Kuchkar Ashurova Zuxra Bahodir qizi, Khaydarov Gayrat Shoyimovich, Saitkulov Foziljon Ergashevich. Determination Of Certain Heavy Metals In Food Composition By Voltammetric Method. Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2025 y. p.47-51
9. Qayumova F. Saitkulov F. Synthesis Of Coordination Compounds Based On Cobalt(Ii) Salts And Quinazolin-4-One And The Study Of Their Biological Activity. Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2025. 2(128).
10. Tolipovna, Z. U., Maxsumovna, M. N., Kudratovna, K. N., & Ergashevich, S. F. (2025). OXIDATION OF POLYPRENOLS IN VITIS VINIFERA L. LEAVES. *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*, (3-4), 87-90.
11. Oripov O.B. Saitkulov F.E. Mirvaliev Z.Z. Giyasov K. Quinazolin-4-Thione Synthesis And Evaluation Of Its Effective Synthesis Technique. Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2024. 11(125)
12. Sapaev, B., Saitkulov, F. E., Abdinazarov, A. B., Nasimov, K. M., & Isoqjonova, M. (2023). Kobalt (II)-synthesis of the coordination compound formed by quinazolin-4-on and indole fatty acids of nitrate dihydrate and study of the processes of influence on the varieties of cotton “Buxara-102”,“Namangan-77”,“Sultan”,“Unkurgan-1”,“C-6524”. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 452, p. 01033). EDP Sciences.

UDK: 66.017.22

XOMASHYO TURI VA FAOLLASHTIRISH USULLARINING UGLERODLI MATERIALLARNING ADSORBSION SAMARADORLIGIGA TA'SIRINI O'RGANISH.

Tursunova Gulfiros Vakiljon qizi
Qo'qon davlat universiteti tayanch doktoranti
Sabirova Xusnigul G'ayratovna
Farg'ona jamoat salomatligi tibbiyot instituti o'qituvchisi
Payg'amov Raximjon Abdukayumovich
Qo'qon davlat universiteti dotsenti, k.f.d.
Email: rpaygamov@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu tadqiqotda turli xomashyo manbalari, jumladan, sun'iy va tabiiy tolalar asosida olinadigan to'qimachilik mahsulotlari chiqindilari va sanoat miqyosida ishlatiladigan uglerodli materiallarning adsorbsion samaradorligi sistematik tarzda o'rganildi. Materiallarda fizik va kimyoviy faollashtirish usullari parametrlarini o'zgarishi natijasida ularning hosil bo'lish unumi, turli qo'shimcha suyuq va gazsimon mahsulotlar hosil bo'lishi, BET bo'yicha sirt maydoni va Lengmyur bo'yicha adsorbsiyalash sig'imiga ta'siri o'rganildi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, xomashyo turi va faollashtirish sharoiti adsorbentlarning g'ovak tuzilishi, sirt maydoni va metall ionlarini adsorbsiyalash qobiliyatiga bevosita ta'sir qiladi. Tadqiqot natijalari uglerodli adsorbentlar tayyorlashda xomashyo va faollashtirish parametrlarini optimallashtirish bo'yicha ilmiy asos yaratadi va ekologik tozalash texnologiyalarini rivojlantirishga amaliy hissa qo'shadi.

Kalit so'zlar: xomashyo turi, sun'iy va tabiiy tolalar, to'qimachilik mahsulotlari chiqindilari, uglerodli materiallar, fizik va kimyoviy faollashtirish usullari, adsorbent, adsorbsion samaradorlik, ekologik tozalash texnologiyalari.

Аннотация. В настоящем исследовании систематически изучалась адсорбционная эффективность углеродных материалов, получаемых из различных источников сырья, включая искусственные и природные волокна, отходы текстильной продукции, а также промышленные углеродные материалы. Влияние изменения параметров физической и химической активации на выход материала, образование различных побочных жидких и газообразных продуктов, удельную поверхность по методу BET и адсорбционную емкость по модели Лангмюра было тщательно исследовано. Результаты показали, что тип сырья и условия активации оказывают прямое влияние на пористую структуру адсорбента, его удельную поверхность и способность к адсорбции ионов металлов. Полученные данные создают научную основу для оптимизации параметров

ISSN 3030-3907

подготовки углеродных адсорбентов и вносят практический вклад в развитие технологий экологической очистки.

Ключевые слова: тип сырья, искусственные и натуральные волокна, отходы текстильной продукции, углеродные материалы, физические и химические методы активации, адсорбент, адсорбционная эффективность, технологии экологической очистки.

Abstract. In the present study, the adsorption efficiency of carbon materials derived from various raw material sources, including synthetic and natural fibers, textile waste, as well as industrial carbon materials, was systematically investigated. The effect of varying physical and chemical activation parameters on material yield, the formation of various secondary liquid and gaseous products, the specific surface area determined by the BET method, and adsorption capacity according to the Langmuir model was thoroughly examined. The results demonstrated that the type of raw material and the activation conditions have a direct impact on the porous structure of the adsorbent, its specific surface area, and its ability to adsorb metal ions. The findings provide a scientific basis for optimizing the preparation parameters of carbon adsorbents and contribute practically to the development of environmental remediation technologies.

Keywords: raw material type, synthetic and natural fibers, textile waste, carbon materials, physical and chemical activation methods, adsorbent, adsorption efficiency, environmental remediation technologies.

KIRISH.

So‘nggi yillarda resurslarni tejash va chiqindisiz texnologiyalarni joriy etish konsepsiyasi doirasida turli xil sanoat chiqindilaridan ikkilamchi xomashyo sifatida foydalanish masalalariga alohida e’tibor qaratilmoqda. Xususan, to‘qimachilik sanoati jarayonlarida hosil bo‘ladigan paxta tolasi qoldiqlari, ip-gazlama chiqindilari, viskoza va sintetik tolalar qoldiqlari katta hajmni tashkil etadi. Ushbu chiqindilar tarkibida asosan tabiiy polimerlar – sellyuloza, gemisellyuloza va boshqa organik komponentlar mavjud bo‘lib, ular turli fizik-kimyoviy usullar yordamida qayta ishlanganda yuqori g‘ovaklikka ega adsorbent materiallar olish uchun istiqbolli xomashyo bo‘lib xizmat qilishi mumkin. Shu jihatdan, to‘qimachilik chiqindilarini qayta ishlash orqali g‘ovak tuzilishga ega kompozitsion materiallar olish nafaqat ekologik muammolarni kamaytirish, balki iqtisodiy samaradorlikni ta’minlash nuqtai nazaridan ham dolzarb hisoblanadi [1,2].

To‘qimachilik korxonalarida ishlab chiqarish jarayonlari davomida turli xil qattiq va suyuq chiqindilar hosil bo‘ladi. Ushbu chiqindilar asosan tolali xomashyo, kimyoviy moddalar hamda texnologik jarayonlarda qo‘llaniladigan reagentlar qoldiqlaridan iborat bo‘lib, ular tarkibi va kelib chiqishiga ko‘ra bir

ISSN 3030-3907

necha guruhlarga ajratiladi. Jumladan, tolali chiqindilar qatoriga paxta tolasi qoldiqlari, ip yigirish jarayonida hosil bo‘ladigan chang va mayda tolalar, mato ishlab chiqarish jarayonidagi gazlama kesimlari hamda noto‘g‘ri mahsulotlar kiradi. Bundan tashqari, bo‘yash va pardozlash jarayonlarida ishlatiladigan bo‘yoq moddalar, sirt faol birikmalar, tuzlar va boshqa kimyoviy reagentlar oqava suvlar tarkibida to‘planib, suyuq chiqindilarni tashkil etadi. Shuningdek, ishlab chiqarish jarayonlarida filtrlash, tozalash va quritish bosqichlarida hosil bo‘ladigan loyqa cho‘kindilar ham to‘qimachilik korxonalarining muhim chiqindilaridan hisoblanadi. Ushbu chiqindilar tarkibida ko‘p miqdorda organik polimerlar, xususan sellyuloza va boshqa lignosellyuloza komponentlarining mavjudligi ularni qayta ishlash hamda adsorbent materiallar olish uchun istiqbolli ikkilamchi xomashyo sifatida foydalanish imkonini beradi [3,4].

ADABIYOTLAR TAXLILI VA METODLAR.

To‘qimachilik sanoatining ikkilamchi xomashyolarini qayta ishlash asosida adsorbent materiallar olish bir vaqtning o‘zida ikki muhim muammoni hal etishga xizmat qiladi: birinchidan, sanoat chiqindilarini kamaytirish va ekologik xavfni pasaytirish, ikkinchidan esa, suv va gaz muhitlarini tozalash uchun arzon va samarali sorbent materiallar yaratish imkonini beradi. Shu sababli to‘qimachilik sanoati chiqindilaridan foydalanib yangi turdagi g‘ovak tuzilishli kompozitsion materiallar sintez qilish va ularning strukturaviy-sorbsion xususiyatlarini o‘rganish ilmiy va amaliy jihatdan katta ahamiyat kasb etadi.

To‘qimachilik korxonalarida hosil bo‘ladigan tolali chiqindilar asosida adsorbent materiallar olish jarayoni ham uglerodli adsorbentlar olishning an’anaviy bir necha ketma-ket texnologik bosqichlarni o‘z ichiga oladi. Dastlab xomashyo sifatida paxta tolasi qoldiqlari, ip-gazlama kesimlari hamda boshqa tolali chiqindilar mexanik aralashmalardan tozalanib, maydalagich yordamida bir xil fraksiyali zarrachalarga keltiriladi va distillangan suv bilan yuvilib, suvda eruvchan aralashmalar hamda changdan tozalanadi. Keyinchalik tayyorlangan xomashyo 100–105 °C haroratda quritilidi va karbonizatsiya qilinadi. Karbonizatsiya jarayoni odatda inert gaz (azot, argon) oqimida 400–600 °C harorat oralig‘ida amalga oshirilib, natijada xomashyo tarkibidagi sellyuloza, gemisellyuloza va lignin komponentlarining termik parchalanishi hisobiga uglerodga boy karbonizat hosil bo‘ladi.

Modifikatsiyalangan kompozit materiallar olish uchun kimyoviy faollantirish usullaridan keng ko‘lamda foydalaniladi. Buning uchun o‘ziga xos texnologik parametrlar asosida karbonizat ishqoriy metall birikmalari, kislotalar, vodorod peroksid yoki metall birikmalaridan hamda turli organik modifikatorlardan foydalaniladi. Jarayon yakunida olingan uglerodli materiallar qo‘shimcha reagentlardan tozalash maqsadida kislota yoki ishqor bilan so‘ngra

ISSN 3030-3907

neytral muhit hosil bo‘lguncha distillangan suv bilan yuviladi hamda 100-110 °C haroratda quritiladi, natijada xususiyatidan kelb chiqib turli jarayonlarda qo‘llash mumkin bo‘lgan yuqori g‘ovakli uglerodli kompozit materiallar olinadi [5,6].

NATIJALAR VA MUHOKAMA.

Karbonizatsiya jarayoniga reaktor turi, harorat, jarayon davomiyligi hamda haroratning oshish tezligi kabi ko‘plab omillar ta’sir ko‘rsatadi. 1-jadvalda to‘qimachilik ikkilamchi xomashyolarini karbonizatsiya qilish bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlarning tajriba sharoitlari hamda olingan mahsulotlari keltirilgan.

1-jadval.

To‘qimachilik chiqindilarini karbonizatsiya jarayonlarining eksperimental sharoitlari va olingan mahsulotlari

№	Xomashyo namunalari	Reaktor turi	Temperatura, °C	Karbonizatsiya davomiyligi, min	Isitish tezligi, °C/min	Mahsulot
1	Poliester to‘qimachilik mahsuloti	Quvurli pech	600	30	10	Faollantirilgan uglerodli material
			750	60		
			900	90		
2	PET tolalari	Trubkali pech	800, 850	30	5	Faollantirilgan uglerodli material
			900, 950	60	10	
3	To‘qimachilik sanoatidagi PET tolalari chiqindilari	Vertikal pech	800	15	10	Faollantirilgan uglerodli material
4	To‘qimachilik sanoatidagi PET tolalari chiqindilari	Avtoklav	320-400	30	1	Faollantirilgan uglerodli material
			360-440	60		
			400-480	120		
5	Paxta tolali mato	Mufel pech	500-800	30-60	5	Faollashtirilgan uglerodli tola

ISSN 3030-3907

6	Tibbiy paxta	Mufel pech/mikroto‘lqinli trubkali pech	500	30	15	Faollashtirilgan uglerodli tola
7	Paxta tolalari chiqindilari	Trubkali pech	350	30	2	Faollashtirilgan uglerodli tola
			400	60	5	
			450	120	10	
			500	180	20	

Hosil bo‘lgan karbonizat keyingi bosqichda g‘ovak tuzilishli materialga aylantirish maqsadida fizik yoki kimyoviy faollantirish jarayoni amalga oshiriladi. Fizik faollantirishda esa karbonizat yuqori haroratda suv bug‘i yoki karbonat angidrid muhitida bug-g‘az faollantiriladi.

2-jadvalda fizik faollantirish jarayonida hosil bo‘ladigan qattiq uglerodli materiallarning mahsulot unumi hamda suyuq va gazsimon mahsulotlar ko‘rsatilgan.

2-jadval.

To‘qimachilik ikkilamchi xomashyolarini fizik faollantirishdan keyingi qattiq mahsulot chiqish unumi hamda suyuq va gazsimon mahsulotlari [7-10]

№	Xomashyo namunalari	Faollantirish metodi	Temperatura, ºC	Uglerodli materialning hosil bo‘lish unumi, %	Suyuq qo‘shimcha mahsulotlar	Gazsimon qo‘shimcha mahsulotlar
1	50% poliester va 50% paxta tolasi aralashma	Suv bug‘i bilan	650, 750, 850	-	Benzol, toluol, sterol va b.	CO, CO_2, H_2, CH_4 va past molekulali uglevodorodlar
2	5% poliester va 95%	Sekin piroliz	350	32,0	Furan birikmalari,	CO, CO_2, H_2, CH_4 va past

ISSN 3030-3907

	paxta tolasi aralashma		400	25,0	fenol birikmalari, ketonlar, shakarsimon birikmalar va b.	molekulali uglevodorodlar
			500	22,0		
3	Paxta tolalari chiqindilari	Piroliz+ CO_2 bilan	600	19,0	Angidrouglevodlar, furanlar, karbon kislotalar va b.	CO, CO_2, H_2, CH_4
4	Paxta tolalari chiqindilari	Piroliz	450	26,0	Furanlar, ketonlar, karbon kislotalar, uglevodorodlar va b.	-
			500	18,0		
			550	17,0		
5	To‘qimachilik sanoatidagi PET tolalari chiqindilari	Piroliz	500	12,0	Benzol, Benzoy kislota, ketonlar, tereftal kislota va b.	CO, CO_2, H_2, CH_4 va uglevodorodlar (C_2-C_4)
			600	11,0		

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, faollantirish harorati ortishi bilan uglerodli qattiq materialning hosil bo‘lish unumi pasayib bormoqda. Bundan tashqari furanlar, ketonlar, angidro uglevodlar, benzol, benzoy kislota va karbon kislota birikmalari suyuq mahsulotlar sifatida hamda CO, CO_2, H_2, CH_4 va boshqa turdagi past molekulali uglevodorodlar esa gazsimon mahsulotlar sifatida hosil bo‘ladi.

To‘qimachilik chiqindilardan olinadigan uglerodli adsorbentlarning sirt xossalari va adsorbsiya sig‘imi ularning faollantirish usuli, ishlov berish sharoitlari o‘zgarishi va modifikator reagent turiga qarab sezilarli darajada farq qiladi. 3-jadvalda turli ikkilamchi xomashyolar asosida olingan adsorbentlarning BET usuli bilan aniqlangan sirt maydoni va Lengmyur modeli asosida aniqlangan adsorbsion sig‘imi ko‘rsatilgan.

3-jadval.

Turli uglerodli materiallarning adsorbsion samaradorligini taqqoslash

№	Adsorbentlar	Faollantirish metodi	Adsorbatlar	Lengmyur bo‘yicha adsorbsiya	BET bo‘yicha sirt

ISSN 3030-3907

				sig‘imi, mg/g	maydoni, m^2/g
1	Paxta tolalari chiqindilari	Termik+CO_2 faollashtirish	Zn^{2+}	82,0	980
2	To‘qimachilik sanoatidagi PET tolalari chiqindilari	KOH+bug‘-gaz faollashtirish	Zn^{2+}	74,0	660
3	Qo‘ng‘ir ko‘mir	Bug‘-gaz faollantirish	Zn^{2+}	11,0	750 [11]
4	Tijoriy o‘simlik ko‘miri (Polychimie kompaniyasi)	Bug‘-gaz faollantirish	Zn^{2+}	21,0	1400 [12]
5	Tijoriy faollantirilgan ko‘mir (NORIT C GRAN)	H_3PO_4 bilan faollantirish	Zn^{2+}	42,0	624 [13]

Yuqoridagi jadvaldagi ma’lumotlar kelib chiqishi va tarkibi turlicha bo‘lgan xomashyo va chiqindilardan olingan adsorbentlarning sirt maydoni va Zn^{2+} ionlarini adsorbsiyalash qobiliyati ularning faollashtirish usuliga va xomashyo turiga bog‘liq ekanligini ko‘rsatadi. Paxta tolalari chiqindilari termik va CO_2 bilan faollashtirilganda eng yuqori sig‘imga va sirt maydoniga ega ekanligini ko‘rish mumkin. PET tolalari chiqindilari KOH bilan avval kimyoviy faollantirib so‘ngra bug‘-gaz usulida faollashtirilganda biroz pastroq adsorbsion samaradorlik ko‘rsatdi. Qo‘ng‘ir ko‘mir va tijoriy uglerodli adsorbentlardan to‘qimachilik sohasi ikkilamchi xomashyolari asosida olingan namunalarning metall ionlariga nisbatan adsorbsiyalash samaradorligi yuqori ekanligini aniqlandi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, xomashyo turi va faollashtirish metodi adsorbentning samaradorligiga bevosita ta’sir qiladi.

XULOSA.

To‘qimachilik sanoati chiqindilarini karbonizatsiya va faollantirish jarayonlari parametrlarining o‘zgarishi olinadigan adsorbent materiallarning strukturaviy va sorbsion xossalariga sezilarli darajada ta’sir ko‘rsatadi. Xususan, karbonizatsiya haroratining oshishi tolali biomassa tarkibidagi sellyuloza, gemisellyuloza va boshqa organik komponentlarning chuqurroq termik parchalanishiga olib kelib, uglerodga boy karbonizat hosil bo‘lishini ta’minlaydi hamda g‘ovak tuzilishning shakllanishiga yordam beradi. Biroq haroratning

ISSN 3030-3907

ortiqcha oshirilishi uglerod skeletining qisman yemirilishiga yoki g‘ovaklarning birikib ketishiga sabab bo‘lishi mumkin. Jarayon davomiyligi va qizdirish tezligi ham g‘ovak strukturaning rivojlanishida muhim omil hisoblanadi, chunki sekin qizdirish sharoitida organik moddalarning bosqichma-bosqich parchalanishi natijasida yanada barqaror va rivojlangan mikrog‘ovak tizimi hosil bo‘ladi. Faollantirish jarayonida esa qo‘llaniladigan reagent turi, faollantirish harorati hamda reagent va karbonizat nisbatining o‘zgarishi adsorbentning solishtirma sirt maydoni, g‘ovak hajmi va sirt funksional guruhlarining miqdorini belgilaydi. Masalan, ishqoriy reagentlar bilan kimyoviy faollantirish mikrog‘ovaklarning rivojlanishini kuchaytirsa, fizik faollantirish jarayonida suv bug‘i yoki karbonat angidrid ishtirokida mavjud g‘ovaklarning kengayishi sodir bo‘ladi. Shu sababli to‘qimachilik chiqindilarini karbonizatsiya va faollantirish jarayonlarining optimal parametrlarini tanlash yuqori g‘ovak tuzilishga ega, rivojlangan sirt maydonli hamda yuqori adsorbsion sig‘imga ega kompozit adsorbent materiallar olishda muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Yuan, Zhihang & Xu, Zhihua & Zhang, Daofang & Chen, Weifang & Zhang, Tianqi & Huang, Yuanxing & Gu, Lin & Deng, Haixuan & Tian, Danqi. (2018). Box-Behnken design approach towards optimization of activated carbon synthesized by co-pyrolysis of waste polyester textiles and MgCl 2. Applied Surface Science. 427. 340-348. 10.1016/j.apsusc.2017.08.241.

2. Lorenc-Grabowska E, Diez MA, Gryglewicz G. Influence of pore size distribution on the adsorption of phenol on PET-based activated carbons. J Colloid Interface Sci. 2016 May 1;469:205-212. doi: 10.1016/j.jcis.2016.02.007. Epub 2016 Feb 3. PMID: 26890386.

3. Bratek, W., Świątkowski, A., Pakuła, M., Biniak, S., Bystrzejewski, M., & Szmigielski, R. 2013. Characteristics of activated carbon prepared from waste PET by carbon dioxide activation. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 100, 192-198

4. Chia, J. W., Sawai, O., & Nunoura, T. 2020. Reaction pathway of poly (ethylene) terephthalate carbonization: Decomposition behavior based on carbonized product. Waste management, 108, 62-69.

5. Zheng, J., Zhao, Q., & Ye, Z. 2014. Preparation and characterization of activated carbon fiber (ACF) from cotton woven waste. Applied Surface Science, 299, 86-91.

6. Duan, X., Srinivasakannan, C., Wang, X., Wang, F., & Liu, X. 2017. Synthesis of activated carbon fibers from cotton by microwave induced H_3PO_4 activation. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 70, 374-381.

ISSN 3030-3907

7. Пайгамов Р. А., Эшметов И.Д. Валиева О.М. Адсорбция паров бензола на углеродных адсорбентах, полученных на основе отходов растительности, Узбекский химический журнал 2024 № 1, с. 22-27.
8. Vela, I. C., Maric, J., & Seemann, M. 2019. Valorisation of textile waste via steam gasification in a fluidized bed reactor. Division of Energy Technology, Chalmers University of Technology, Göteborg.
9. Yoshioka, T., Grause, G., Eger, C., Kaminsky, W., & Okuwaki, A. 2004. Pyrolysis of poly (ethylene terephthalate) in a fluidised bed plant. Polymer degradation and stability, 86(3), 499-504.
10. Chen, W., He, F., Zhang, S., Xv, H., & Xv, Z. 2018. Development of porosity and surface chemistry of textile waste jute-based activated carbon by physical activation. Environmental Science and Pollution Research, 25(10), 9840-9848.
11. Пайгамов Р. А., Эшметов И.Д. Валиева О.М. (2024). Изучение адсорбционных свойств углеродных адсорбентов на основе Ангренского бурого угля. Universum: химия и биология, 1 (5 (119)), 65-69. doi: 10.32743/UniChem.2024.119.5.17348
12. Urbain, K., Aim, S. E., Jacques, A. Y., & Albert, T. 2013. Adsorption of iron and zinc on commercial activated carbon. Journal of environmental chemistry and ecotoxicology, 5(6), 168-171.
13. Wilson, K., Yang, H., Seo, C. W., & Marshall, W. E. 2006. Select metal adsorption by activated carbon made from peanut shells. Bioresource technology, 97(18), 2266-2270.

ISSN 3030-3907

COPRINOPSIS ATRAMENTARIA QO‘ZIQORINI BIOMASSASIDAN AJRATIB OLINGAN IKKILAMCHI METABOLITLAR

Kaxarova Madina Faxriddin qizi
Qarshi davlat universiteti noorganik kimyo kafedrasi tayanch doktoranti, o‘qituvchisi.
Email: kaxarovam1234567890@gmail.com.
Tel: +998907227017
Kamolov Luqmon Sirojiddinovich
Qarshi davlat universiteti Kimyo fanlari doktori, professor, kimyo va biologiya fakulteti dekani.
Email: kamolov.luqmon@mail.ru.
Tel: +998994130371
Orcid ID number: 0000-0001-7316-0425

Аннотация. В данном исследовании гексановый экстракт гриба *Coprinopsis atramentaria* был проанализирован методом газовой хроматографии–масс-спектрометрии (GC–MS). Основной целью исследования являлось выявление липофильных вторичных метаболитов, содержащихся в грибе, а также оценка их структурных особенностей и биологического значения. Согласно результатам GC–MS анализа, в составе экстракта были обнаружены жирные кислоты, их метиловые эфиры, углеводороды и производные стеролов. В частности, были идентифицированы такие биологически активные соединения, как 9,12-октадекадиеновая кислота (линолевая кислота) и её метиловый эфир, гексадекановая кислота и её метиловый эфир, метилстеарат, гексадекан, октадекан и производные эргостерола. Данные компоненты обладают выраженными антиоксидантными, противовоспалительными и антимикробными свойствами. Полученные результаты показывают, что гексановый экстракт *Coprinopsis atramentaria* богат биоактивными жирными кислотами, их эфирами и стеролами, что свидетельствует о перспективности использования данного гриба в фармацевтической и биотехнологической областях.

Ключевые слова: *Coprinopsis atramentaria,* GC–MS, гексановый экстракт, линолевая кислота, жирные кислоты, вторичные метаболиты.

Annotation. In this study, the hexane extract of the mushroom *Coprinopsis atramentaria* was analyzed using the gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) method. The main objective of the research was to identify lipophilic secondary metabolites present in the mushroom and evaluate their structural characteristics and biological significance. According to the GC–MS analysis results, the extract contained fatty acids, their methyl esters, hydrocarbons, and

ISSN 3030-3907

sterol derivatives. In particular, biologically active compounds such as 9,12-octadecadienoic acid (linoleic acid) and its methyl ester, hexadecanoic acid and its methyl ester, methyl stearate, hexadecane, octadecane, and ergosterol derivatives were identified. These components exhibit significant antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial properties. The obtained results indicate that the hexane extract of *Coprinopsis atramentaria* is rich in bioactive fatty acids, their esters, and sterols, suggesting that this mushroom has promising potential for applications in the pharmaceutical and biotechnology fields.

Keywords: *Coprinopsis atramentaria*, GC–MS, hexane extract, linoleic acid, fatty acids, secondary metabolites.

Annotatsiya. Ushbu tadqiqotda *Coprinopsis atramentaria* qo‘ziqorinining geksanli ekstrakti gaz xromatografiya–mass-spektrometriya (GC–MS) usuli yordamida tahlil qilindi. Tadqiqotning asosiy maqsadi qo‘ziqorin tarkibidagi lipofil ikkilamchi metabolitlarni aniqlash va ularning strukturaviy xususiyatlarini va biologik ahamiyatini baholashdan iborat edi. GC–MS tahlili natijalariga ko‘ra ekstrakt tarkibida yog‘ kislotalari, ularning metil efirlari, uglevodorodlar va sterol hosilalari aniqlangan. Shu jumladan biologik faol moddalar 9,12-oktadekadiyen kislota (linolein kislota) va uning metil efiri, geksadekan kislota va uning metil efiri, metil stearat, geksadekan, oktadekan va ergosterol hosilalari aniqlandi. Bu komponentlar yuqori antioksidant, yallig‘lanishga qarshi va antimikrob xususiyatlarni o‘zida namoyon qiladi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, *Coprinopsis atramentaria* qo‘ziqorinining geksanli ekstraksiyasi bioaktiv yog‘ kislotalari va ularninf efirlari, sterollarga boy bo‘lib, ushbu qo‘ziqorinni farmatsevtika hamda biotexnologiya sohalarida qo‘llash imkonini beradi.

Kalit so‘zlar: Coprinopsis atramentaria, GC–MS, geksanli ekstrakt, linolein kislota, yog‘ kislotalari, ikkilamchi metabolitlar.

KIRISH.

So‘nggi yillarda biologik faol moddalar manbai bo‘lgan dorivor zamburug‘lar fanda kata qiziqish uyg‘otmoqda. Jumladan Coprinopsis atramentaria qo‘ziqorinlarga mos zamburug‘lar o‘zining kimyoviy tarkibi va farmakologik xususiyatlari bilan ahamiyatlidir. Bu turdagi zamburug‘lar tarkibida birlamchi metabolitlar (oqsillar, yog‘lar, uglevodlar) bilan bir qatorda ikkilamchi metabolitlar-yog‘ kislotalari, sterollar, fenolik birikmalar va terpenoidlar mavjud bo‘lib, ular turlicha faolliklarni o‘zida namoyon qiladi. Bulardan eng muhimlari yog‘ kislotalari bo‘lib, ayniqsa to‘yinmagan yog‘ kislotalari antioksidant hisoblanib, yallig‘lanishga qarshi va turli xil mikroblarga qarshi xususiyatlarni o‘zida namoyon etgan. Coprinopsis atramentaria qo‘ziqorinining hosilasi bo‘lgan ergosterol ushbu zamburug‘ hujayrasidagi muhim sterol bo‘lib u o‘zida provitamin D2 moddasini saqlaydi. Coprinus turlari yog‘och, go‘ng va

ISSN 3030-3907

tuproqlarda uchraydi shuning uchun ular saprotrof organizm hisoblanadi. Coprinusning ba'zi turlari masalan, Coprinus comatus, yuqori ozuqaviy tur hisoblangani sababli oziq-ovqat sifatida iste'mol qilinadi. Bundan tashqari Coprinus atramentaria o'zida alkogol metabolizmiga aks ta'sir ko'rsatuvchi koprin moddasini saqlaydi. Mazkur o'tkazilgan tadqiqotdan Coprinopsis atramentaria qo'ziqorinning geksanli ekstraktidagi lipofil birikmalarni gaz xromatografiya – massa spektrometriya (GC-MS) usuli bo'yicha aniqlash hamda ularning biologik ahamiyatini aniqlashdan iboratdir. Metabolizmga oid tadqiqotlar Coprinopsis atramentaria turiga mansub qo'ziqorinlarda ham biologik faol metabolitlar sintezi va stressga moslanish mexanizmlari murakkab genetik boshqaruv ostida kechishini ko'rsatgan. Tadqiqotchilar tomonidan Coprinus comatus, Coprinopsis cinerea va boshqa vakillarda polisaxaridlar, fenolik birikmalar hamda terpenoidlarning biosintezi hujayra ichidagi ferment tizimlari bilan chambarchas bog'liqligi aniqlangan (Liu va boshq., 2020). Ayniqsa, Coprinopsis cinerea modeli asosida o'tkazilgan molekulyar tadqiqotlarda lignin va sellyulozani parchalaydigan fermentlarni kodlovchi genlarning faol ekspressiyasi kuzatilgan bo'lib, bu ushbu zamburug'larning organik qoldiqlar biodegradatsiyasidagi muhim rolini tasdiqlaydi (Kertesz va Thai, 2018).

Shuningdek, Coprinopsis atramentaria qo'ziqorinlarida stress omillari ta'sirida ikkilamchi metabolitlar sintezi kuchayishi aniqlangan. Issiqlik va oksidlovchi stress sharoitida mitseliy tarkibidagi antioksidant moddalar, ergosterol hosilalari hamda himoya polisaxaridlarining miqdori ortishi qayd etilgan (Zhang va boshq., 2021). Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, bunday stress sharoitlari hujayrada reaktiv kislorod shakllariga qarshi himoya mexanizmlarini faollashtirib, flavonoidsimon birikmalar va fenolik metabolitlar biosintezini rag'batlantiradi. Coprinus comatus ustida olib borilgan biokimyoviy tadqiqotlarda ushbu zamburug' tarkibida antioksidant va gipoglikemik faollikka ega polisaxaridlar mavjudligi aniqlangan. Ushbu polisaxaridlar immun tizimini faollashtirish, erkin radikallarni neytrallash va qondagi glyukoza miqdorini kamaytirish xususiyatiga ega ekanligi eksperimental ravishda tasdiqlangan (Jiang va boshq., 2019). Bundan tashqari, Coprinus ekstraktlari tarkibida antibakterial faollik ko'rsatuvchi fenolik birikmalar va yog' kislotalari hosilalari aniqlangan bo'lib, ular Staphylococcus aureus va Escherichia coli kabi mikroorganizmlarga qarshi ta'sir ko'rsatishi qayd etilgan (Turkoglu va boshq., 2007). Shu bilan birga, suyuq fazali fermentatsiya jarayonida ozuqa muhiti tarkibini o'zgartirish orqali polisaxarid va ergosterol hosilalarining miqdorini sezilarli oshirish mumkinligi aniqlangan.

GC–MS, HPLC va LC–MS kabi zamonaviy analitik usullar Coprinopsis atramentaria qo'ziqorin metabolitlarini kompleks o'rganishda muhim ahamiyat

ISSN 3030-3907

kasb etmoqda. Ushbu usullar yordamida zamburug‘ tarkibida sterollar, yog‘ kislotalari efirlari, fenolik moddalar va terpenoidlarning mavjudligi aniqlangan hamda ularning biologik faolligi baholangan (Heleno va boshq., 2015).

Xulosa qilib aytganda, adabiyotlarda keltirilgan ma’lumotlar Coprinus qo‘ziqorinining biologik faolligi, metabolitlar sintezini ilmiy jihatdan asoslaydi hamda uning farmatsevtika sohalarida qo‘llanilish istiqbollari mavjudligini ko‘rsatadi.

MATERIAL VA METOD.

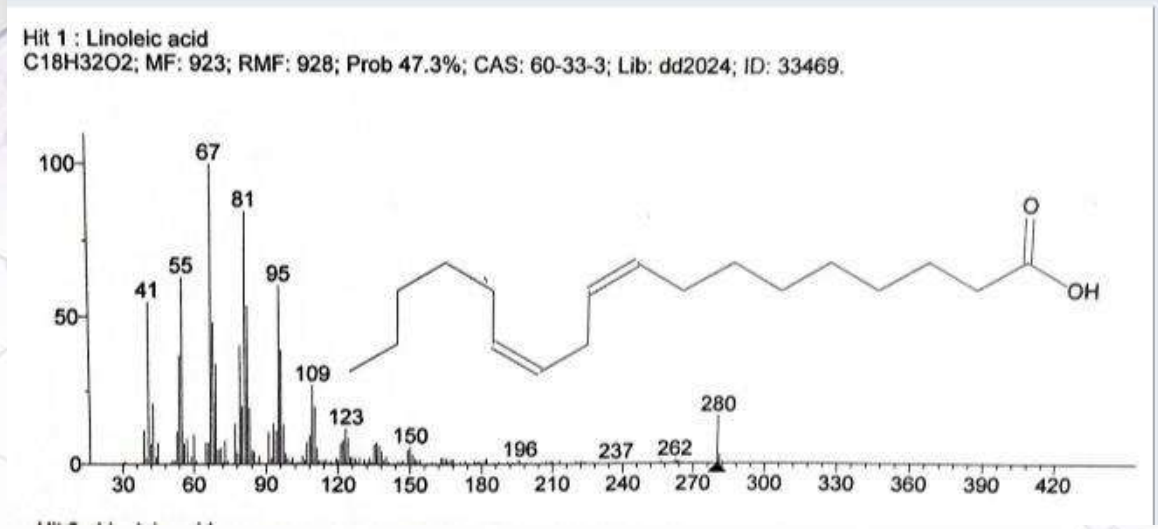
Geksan yordamida ekstraksiya qilish. Coprinopsis atramentaria qo‘ziqorinining to‘plangan biomassasi dastlab maydalab olinib, geksanda eritildi. Qo‘ziqorinining geksanda erigan qismi ajratgich voronka yordamida ajratib olindi. Keyin geksanli ekstrakti filtrlandi va filtrate 40-44 mkm da 70-80 0C da aylanadigan haydovchida haydaldi. Bu jarayon bir necha marta davom ettirildi va bir qancha haydashdan so‘ng Coprinopsis atramentaria qo‘ziqorin ekstrakti massasi yig‘ildi va quritildi. Quritib olingan sariq rangli ekstrakt tarkibidagi biofaol moddalar aniqlash uchun xromotografik mass spektriga berildi.

NATIJA VA MUHOKAMA.

Coprinopsis atramentaria turiga mansub bo‘lgan qo‘ziqorinning geksanli ekstraksiyasi GC–MS usulida tahlil qilinganda, ekstrakt asosan lipofil tabiatga ega birikmalar ikkilamchi metabolitlar, yog‘ kislotalari, ularning metil efirlari, alkanlar shuningdek sterol hosilalarini o‘z ichiga olishi aniqlandi. Xromatogrammada va spektral tahlil natijasida ular yog‘ kislotalarining metil efirlari bilan bog‘liqligi tasdiqlandi.

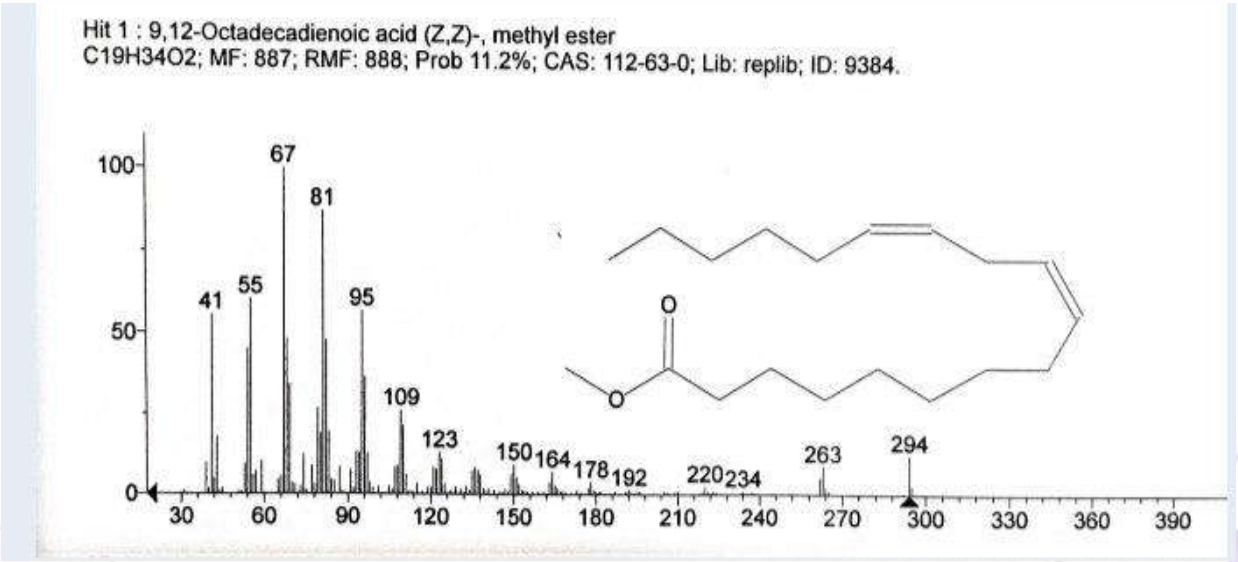
9,12-oktadekadiyenning molekulyar ioni m/z 280 da past intensivlikda kuzatildi, bu to‘yinmagan yog‘ kislota guruhlariga xos bo‘lib, moddaning molekulyar massasini izohlaydi. Spektrda kuzatilgan m/z 67 dagi asosiy (bazaviy) piklardan biri bo‘lib, u linol kislotasining to‘yinmagan uglevodorod zanjiri parchalanishi natijasida hosil bo‘lgan fragment bilan bog‘liqligini ishonchli tarzda tasdiqlaydi. Spektrda ko‘rsatilgan asosiy fragment ionlari m/z 41, 55, 67,81,95 va 109 son qiymatlarida ko‘rsatildi. Shuningdek, m/z 81 va 95 fragmentlaridagi ikki qo‘shbog‘li ionlari linoleat zanjiridagi qo‘sh bog‘lar bilan bog‘liq allyl va dienil kationlariga mos keladi. Bu natijalar Coprinopsis atramentaria qo‘ziqorin ekstraktida 9,12-oktadekadiyenning mavjudligini va biologik rolini ko‘rsatadi.

ISSN 3030-3907



1-rasm. 9,12-oktadekadiyenning massa-spektral tahlili

Keltirilgan ma'lumotlarga ko'ra 9,12-oktadekadiyen kislota metil efiri uchun m/z 294 molekulyar ion qayd etildi hamda bu birikmaning molekulyar massasini metoksi guruhning(-OCH_3) ajralishi bilan bog'liq bo'lib, bu fragmentatsiya yog' kislota metil efirlarga xos pik hisoblanadi. Ushbu spektrdagi ketma-ket fragmentlanish (m/z 220, 234,192 va 175) kuzatildi. Bu fragment ionlari uglevodorod zanjirining parchalanishi hamda qo'sh bog'larga xos bo'lib, adabiyot ma'lumotlariga mos keladi. Ayniqsa, m/z 81, 67 va 55 ionlari allil tipidagi fragmentlar bo'lib , modda tarkibida to'yinmagan bog'lar mavjudligini ko'rsatadi.

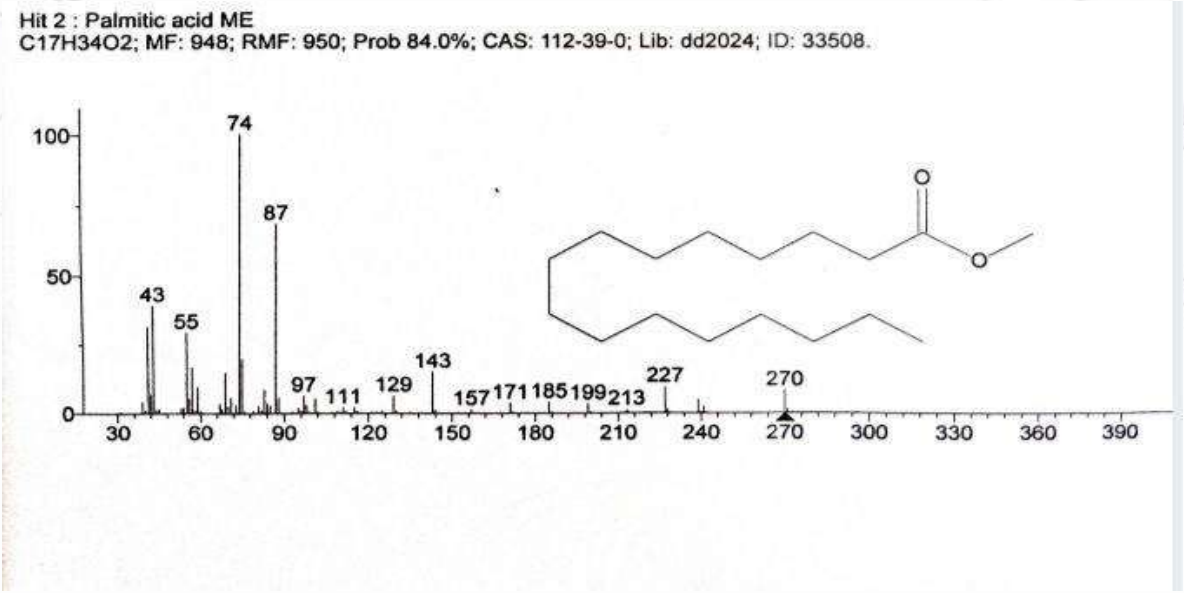


2-rasm. 9,12-oktadekadiyen kislota metil efirining massa-spektral tahlili

Palmitin kislotaning metil efiri molekulyar ioni m/z 270 da past intensivlikda kuzatildi, bu moddaning molekulyar massasini izohlaydi. Spektrda kuzatilgan m/z 74 dagi asosiy (bazaviy) piklardan biri bo'lib, bu yog' kislota metil efirlari uchun xos bo'lgan Mak-Lafferti qayta guruhlanishi natijasida hosil bo'ladi va $[CH_3O\text{-}C(OH)=CH_2]^+$ fragment ioniga to'g'ri keladi. Spektrda ko'rsatilgan

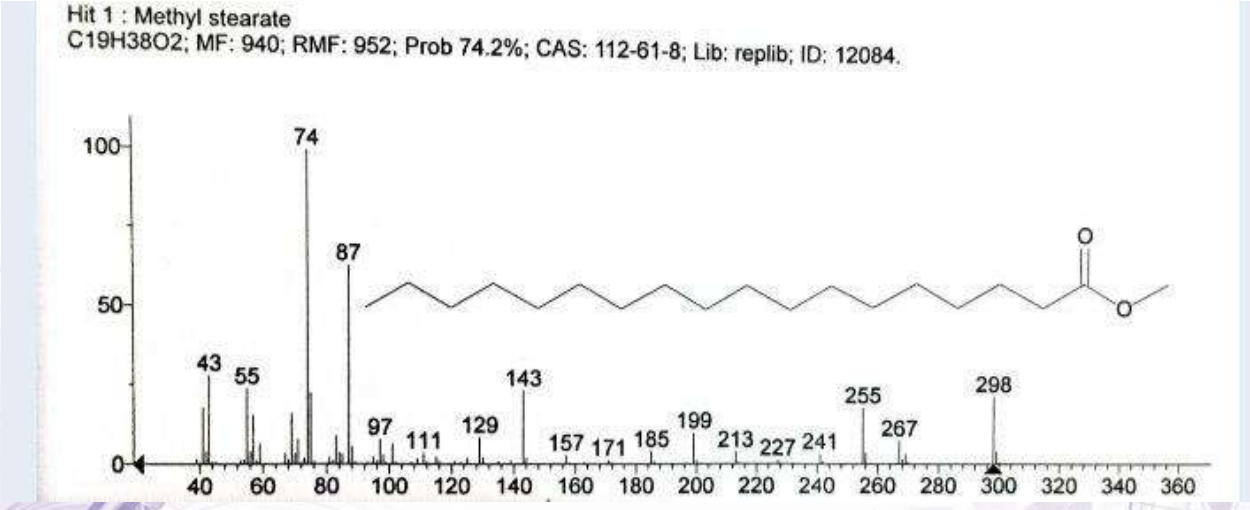
ISSN 3030-3907

alifatik zanjir fragment ionlari m/z 87, 101,115,129 va 143 son qiymatlari [-$(CH_2)_n$-$COOCH_3$]$^+$ fragment ioni uglevodorod zanjirida 14 birlikka CH_2 guruhiga farq qilib parchalanadi. Bundan tashqari alkil fragmentlar m/z 43 propil va m/z 55 butil piklari uglevodorod zanjirining so‘nggi bosqich parchalanish mahsulotlari hisoblanadi.



3-rasm. Palmitin kislota metil efirining massa-spektral tahlili

Metilstearatning molekulyar ioni m/z 298 da past intensivlikda kuzatildi. Spektrda kuzatilgan m/z 74 dagi asosiy pik bo‘lib, u metil efirlari uchun o‘ta xarakterli bo‘lgan qayta guruhlanish natijasidir. m/z 87 cho‘qqisi [$CH_2CH_2COOCH_3$]$^+$ fragmenti metil efiriga tegishlidir. m/z 267 umumiy molekuladan (-OCH_3) chiqib ketishi natijasida hosil bo‘ladi. Shuningdek, m/z 143, 157,171,185,199,213,227,241 va 255 piklar ketma-ketligi kuzatilindi. Bu to‘yingan alifatik zanjirning bosqichma-bosqich (-CH_2) guruhini parchalanish mahsulotlari hisoblanadi.



4-rasm. Metil stearatning massa-spektral tahlili

ISSN 3030-3907

Olingan natijalar *Coprinopsis atramentaria* qo‘ziqorinining ikkilamchi metabolitlari bo‘yicha adabiyotlarda keltirilgan ma’lumotlarga mos keladi va ushbu zamburug‘ lipofil biofaol birikmalar, xususan sterollar va yog‘ kislota efirlari uchun muhim manba ekanini tasdiqlaydi. Geksan erituvchisi qutbsiz bo‘lgani sababli quyidagi ekstraktlar, yog‘ kislotalari, sterol va lipid tabiatiga ega metabolitlarni samarali ajratib olish imkonini berdi.

Coprinopsis atramentaria qo‘ziqorinning geksan fraksiyasidan olingan ekstrakti GC–MS usulida tahlil qilindi va to‘rtta asosiy biofaol metabolit aniqlandi: 9,12-oktadekadiyen kislota , 9,12-oktadekadiyen kislota metil efiri, palmitin kislota metil efiri, metil stearat.

1-jadval

Coprinopsis atramentaria qo‘ziqorinining geksanli fraksiyasidan ajratib olingan ikkilamchi metabolitlarni fizik-kimyoviy kattaliklari

Metabolit nomi	Kimyoviy formulasi	Molekulyar massasi	R_f(min)	Molekulyar ion(m/z)
9,12-oktadekadiyen kislota	$C_{18}H_{32}O_2$	280	10.9	280
9,12-oktadekadiyen kislota metil efiri	$C_{19}H_{34}O_2$	294	10.7	294
palmitin kislota metil efiri	$C_{17}H_{34}O_2$	270	9.9	270
metil stearat	$C_{19}H_{38}O_2$	298	10.8	298

XULOSA. Coprinopsis atramentaria qo‘ziqorinning geksanli ekstrakti ilk bor GC–MS usuli yordamida kompleks tarzda tahlil qilindi. Tahlil natijalariga ko‘ra, ekstrakt tarkibida 9,12-oktadekadiyen kislota, 9,12-oktadekadiyen kislota metil efiri, palmitin kislotaning metil efiri va metilstearat kabi biofaol birikmalar aniqlangan. Aniqlangan moddalarning spektral fragmentatsiya xarakteristikalari ularning strukturaviy xususiyatlarini ishonchli ravishda tasdiqladi.

Olingan natijalar *Coprinopsis atramentaria* qo‘ziqorinning biologik faol ikkilamchi metabolitlarga boy ekanligini ko‘rsatib, ushbu birikmalar antioksidant, antimikrob kabi xususiytlarni o‘zida namoyon etadi. Shunga ko‘ra *Coprinopsis atramentaria* qo‘ziqorinining biotexnologiyada, farmasevtika va oziq-ovqat sanoati uchun kerakli biologik manba ekanligini ilmiy jihatdan asoslaydi. Kelgusida ushbu metabolitlarning miqdoriy tahlilini amalga oshirish, biologik

ISSN 3030-3907

faolligini baholash va ularning biosintez jarayonlarini o‘rganish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Zhang, J., Wang, G., Li, H., Zhuang, C., Mizuno, T., Ito, H., Suzuki, C. (2020). Antitumor polysaccharides from mushrooms: a review. International Journal of Medicinal Mushrooms, 22(5), 1–15.
2. Heleno, S. A., Ferreira, I. C. F. R., Antonio, A. L., Queiroz, M. J. R. P., Barros, L. (2015). Nutritional value, bioactive compounds, and antioxidant properties of three edible mushrooms. Food Chemistry, 170, 460–466.
3. Kalač, P. (2016). Edible mushrooms: Chemical composition and nutritional value. Academic Press.
4. Patel, S., Goyal, A. (2012). Recent developments in mushrooms as anti-cancer therapeutics: a review. 3 Biotech, 2(1), 1–15.
5. Wasser, S. P. (2014). Medicinal mushroom science: history, current status, future trends, and unsolved problems. International Journal of Medicinal Mushrooms, 16(1), 1–16.
6. AOAC (2019). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
7. Adams, R. P. (2007). Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. Allured Publishing Corporation.

ISSN 3030-3907

MONITORING AND REHABILITATION MEASURES IN WOMEN AFTER MOLAR PREGNANCY

Tugizova Dildora Ismailovna
Assistant of the Department of obstetrics and gynecology №3, PhD
Samarkand State Medical University, Samarkand, Uzbekistan
Mamarizaeva Nafosat Zokhidjon qizi
2nd year Master's degree resident Samarkand State Medical University, Samarkand, Uzbekistan
E-mail: mnafosat27@gmail.com ,
Tel: +998906032122

Annotation. Gestational trophoblastic disease is gaining prominence in gynecological practice recently. It is being evidenced that women with this disease recover in 100% of cases due to the high sensitivity of the cancer cells to chemical agents, which allows for the use of chemical treatments in its treatment. According to statistical data, the incidence rate of trophoblastic tumors is gradually increasing. According to the 2021 data from the World Health Organization, the number of registered cases due to this disease exceeds 46,000 patients, with more than 40,000 of them receiving chemotherapy, and this figure has been steadily rising up to now. In the world, according to 2021 data, trophoblastic diseases account for 3.6% of gynecological cancers [1]. 80 % of trophoblastic diseases are represented by gestational trophoblastic disease, 15% by invasive mole, and 5% by choriocarcinoma. Among women diagnosed with choriocarcinoma, 50% had a history of mole, 25% had an abortion, 20% had preterm delivery, and 5% had ectopic pregnancy.

Keywords: monitoring and rehabilitation measures, molar pregnancy, reproductive, curettage.

Аннотация. Гестационная трофобластическая болезнь в последнее время приобретает всё большую значимость в гинекологической практике. Установлено, что женщины с данным заболеванием выздоравливают в 100% случаев благодаря высокой чувствительности раковых клеток к химиотерапевтическим препаратам, что позволяет эффективно применять химиотерапию в лечении. По статистическим данным, заболеваемость трофобластическими опухолями постепенно увеличивается. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения за 2021 год, количество зарегистрированных случаев этого заболевания превышает 46 000 пациентов, из которых более 40 000 получили химиотерапию, и эта цифра стабильно растёт до настоящего времени. В мировом масштабе, согласно данным за 2021 год, трофобластические заболевания составляют 3,6% всех гинекологических злокачественных новообразований [1]. 80 %

ISSN 3030-3907

трофобластических заболеваний представлены гестационной трофобластической болезнью, 15% — инвазивным пузырным заносом, и 5% — хориокарциномой. Среди женщин с диагнозом хориокарцинома у 50% в анамнезе был пузырный занос, у 25% — аборт, у 20% — преждевременные роды, и у 5% — внематочная беременность [2].

Ключевые слова: мониторинг и реабилитационные мероприятия, пузырный занос, репродуктивная функция, выскабливание.

Annotatsiya. Gestatsion trofoblastik kasallik so‘nggi yillarda ginekologik amaliyotda tobora katta ahamiyat kasb etmoqda. Aniqlanishicha, ushbu kasallikka chalingan ayollar saraton hujayralarining kimyoterapiya preparatlariga yuqori sezgirligi tufayli 100% hollarda sog‘ayadi, bu esa davolashda kimyoterapiyani samarali qo‘llash imkonini beradi. Statistik ma’lumotlarga ko‘ra, trofoblastik o‘smalar bilan kasallanish darajasi asta-sekin oshib bormoqda. 2021 yilgi Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti ma’lumotlariga ko‘ra, ushbu kasallik bo‘yicha ro‘yxatga olingan holatlar soni 46 000 nafardan oshgan bo‘lib, ulardan 40 000 dan ortig‘i kimyoterapiya olgan, va bu ko‘rsatkich hozirgi kungacha barqaror ravishda o‘sib bormoqda. Jahon miqyosida, 2021 yilgi ma’lumotlarga ko‘ra, trofoblastik kasalliklar barcha ginekologik xavfli o‘smalarning 3,6% ini tashkil etadi [1]. Trofoblastik kasalliklarning 80% ini gestatsion trofoblastik kasallik, 15% ini invaziv pufakchali kiritma (puzirli kiritma), va 5% ini xorionkarsinoma tashkil etadi. Xorionkarsinoma tashxisi qo‘yilgan ayollarning 50% ida anamnezda pufakchali kiritma, 25% ida abort, 20% ida muddatidan oldingi tug‘ruq, va 5% ida bachadondan tashqari homiladorlik kuzatilgan[2].

Kalit so‘zlar: monitoring va reabilitatsion tadbirlar, yelbo‘g‘oz, reproduktiv funksiya, bachadonni qirish (kuretaj).

INTRODUCTION.

Purpose: Development of rehabilitation criteria for women who have undergone molar pregnancy.

METHODS AND MATERIALS. An increase in ascitic disease has been observed in women of reproductive age over the next 10 years, including 43 patients with ascitic disease selected from the Samarkand region who were studied retrospectively. General blood and urine analysis, biochemical blood analysis (protein, glucose, bilirubin, creatinine) were conducted in women. The dynamics of the amount of XGC hormone in peripheral blood was determined (using microstrip photometry for IFA (Stat fax 303 plus, Israel), UTT examination was carried out using Aloka and Mindray (Germany) devices. This was performed using transabdominal and transvaginal transducers with 3.5 and 5.0 mGs frequency oscillation waves. In all patients, ascitic evacuation was performed through electrovacuum aspiration and control curettage of the uterine cavity.

ISSN 3030-3907

RESULTS. When examining the social, demographic, and economic conditions of patients, we found the following. Among the 43 patients in our analysis, 29 were from rural areas and 14 were from urban areas. Our analysis shows that the rural population has a very high indicator. This is due to the larger number of the rural population compared to the urban population, along with a higher number of pregnancies and miscarriages among the rural population. Additionally, when this situation is observed, women do not turn to gynecologists, which are attributed to low medical culture and unsatisfactory diagnostics at the first levels of the Health Care System. The results of morphological examination indicate that 31 patients had complete shoulder girdle, 10 had partial shoulder girdle, and 2 had invasive shoulder girdle. Patients aged 18-49 years (average 32.0±0.4) were more frequently diagnosed with shoulder girdle disease. This indicates that shoulder girdle disease is becoming younger and increasing over the last decade.

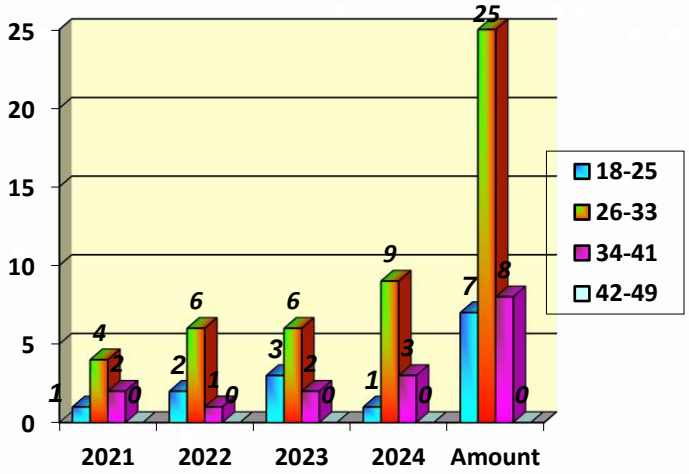


Diagramm 1. Age of patients with hydatidiform mole

According to the analysis, the highest indicator corresponds to patients aged 26-33. It has been determined that the age of onset for shoulder diseases is decreasing. From the patients' anamnesis, it became clear that the menstrual cycle started late in 19 patients (47.5% of our patients), at ages 17-18, in 10 patients (25%) it started at ages 15-16, in 5 patients (12.5%) it started at ages 13-14, and in 6 patients (15%) it started at ages 11-12. Based on the observations, it can be said that patients with a late onset of the menstrual cycle are also known to be at risk. As mentioned above, the age of patients plays a significant role in the development of shoulder diseases. When analyzing the age of patients in our study, the following results were obtained. The time of onset of the menstrual cycle, early sexual activity, and the observation of the first pregnancy are noted in the literature as factors contributing to the higher incidence of shoulder diseases

ISSN 3030-3907

in women. To determine the impact of these factors in our studied patients, we conducted an analysis.

Table 1.

Reproductive status of patients

No pregnant	3
Pregnant	31
Normal delivery	9
Abortion	15
Miscarriage	11

The analysis results above indicate that the relationship of shoulder disease with pregnancy, as well as the increase in the number of miscarriages and spontaneous abortions, has been observed as the number of pregnancies increases. This raises the risk of developing shoulder disease. As a result, some patients require treatment procedures that restore reproductive function and preserve reproductive organs, regardless of the severity of the condition, due to the lack of children in the family.

The timing of when patients first consult a doctor after the onset of the disease is also of significant importance, as the clinical condition worsens over time.

Table 2.

Results of the blood hCG hormone test

First appeal	Until 1 month	Until 2-3 months	Until 4-6 months	Until 7-12 months	After 12 months
Amount n=40 (100%)	8 20%	22 55%	7 17.5%	3 7.5%	0 0%

We should mention that among patients suffering from shoulder disease (30 patients), 75% of them sought medical attention within 1-3 months, while 25% of patients were found to be late in seeking help.In our analysis, 58% of patients showed that the uterus size was larger compared to the duration of pregnancy. This indicates a rapid progression of the disease. In 10 patients, this ratio was equal, making up 20%. The uterus size did not increase in 5 patients, which constitutes 10%. The inconsistency between uterus size and pregnancy duration should not escape the attention of local obstetricians-gynecologists. If such a situation is observed, the pregnant woman should undergo thorough examinations. This is crucial in improving the course and outcomes of the disease.At the same time, the UTT examination of 43 patients resulted in

ISSN 3030-3907

diagnostic errors in 16 cases, meaning conclusions were drawn about the uterus having other diseases. We believe that the UTT examination is the most advanced in modern diagnostics, but it remains unclear that we should not limit ourselves to just the UTT examination. When we analyzed the significance of the development and progression of inflammatory diseases of the sexual organs, hormonal disorders, sexually transmitted infections, and other accompanying diseases in patients, the following results were obtained.



Figure 1. Cervical erosion. Colpitis



Figure 2. Cervical erosion. Cervical ovule nabote. Purulent colpitis

Various methods are used to determine the level of the human chorionic gonadotropin (hCG) beta-subunit in blood serum and urine. The amount of hCG hormone in blood serum is measured three times sequentially (on days 8, 16, and 24) within two weeks after the evacuation of the ovary; if there is no change or an increase is observed, hCG has not completely exited the body and the chemotherapy course for patients continues.

Table 5.

The degree of restoration of reproductive function in patients receiving chemotherapy

Reproductive function restoration	Quantity of women with hydatidiform mole n=40
Complete restoration of menstrual and childbirth function	87,5%
Reproductive dysfunction, secondary infertility	5,0%
Patients not receiving chemotherapy	7,5%
Deceased patients	0,0%

It was established that in 35 patients under our analysis, reproductive function was fully restored, 2 patients underwent surgery and were rehabilitated,

ISSN 3030-3907

and 3 patients were not registered after the evacuation of the hydatidiform mole and did not receive chemotherapy. Although more than 46,000 patients with hydatidiform mole were registered in 2011, more than 40,000 of them received chemotherapy treatment, and reproductive function was restored by 80%. Patients with hydatidiform mole are undergoing 100% chemotherapy treatment, and it should be noted that the importance of chemotherapy is very significant.

Of the 40 examined patients, 28 (70%) had complete hydatidiform mole, 10 (25%) had partial hydatidiform mole, and 2 (5%) had invasive hydatidiform mole.

Analysis of the obtained results. It is no exaggeration to say that the analysis of the obtained results solved a number of problems. First of all, this depends on the frequency of dysentery. The 40 patients with hydatidiform mole that we studied accounted for 1.3% of the total number of pregnancies. This indicator corresponds to the results of scientific research published in European countries and the USA. The incidence of hydatidiform mole is 0.08% in the USA and 0.5% in the countries of Asia and Latin America. The results of our observations correspond to the incidence of hydatidiform mole in China, India, and the Philippines. In terms of the prevalence of hydatidiform mole disease, the highest rates were in the Kattakurgan district of the Samarkand region (20%), and in the Urgut district (15%).

Based on the data from the indicated literature, if we pay attention to the patient's anamnesis, the cause of the disease is associated with marital kinship in these regions, early marriage and multiple pregnancies, and the presence of trophoblastic diseases in the women's relatives.

In the development of hydatidiform mole: late menarche (late than 15 years), early onset of sexual activity (from 15 years), early pregnancy, low immunity, vitamin A and C deficiency, protein deficiency, inflammatory diseases of the pelvic organs, hereditary predisposition. In our results, the incidence of hydatidiform mole by parity was higher in the 1st pregnancy (in 26 patients) and in the 2nd pregnancy in 5 patients. In early first pregnancy, hydatidiform mole was observed in 26 patients.

The most accurate diagnostic criterion for hydatidiform mole was the method of determining the level of HCG hormone in blood plasma, which was used in 35 (87.5%) patients. In 3 patients, the plasma level of HCH-hormone was 100,000 mIU/ml up to 12 weeks, in the remaining patients 100,000-350,000/ml.

Ultrasound examination in hydatidiform mole is used in 100% of patients, and a "snowstorm" symptom is observed. In 7 (17.5%) patients, a theca-lutein cyst was detected in the ovaries.

ISSN 3030-3907

The main treatment method for hydatidiform mole is vacuum aspiration and control curettage of the uterine cavity. These methods were used in 95% of patients, and in 5% of patients, uterine extirpation with appendages was performed. Indications for this were perforation of the uterine wall and chorionic epithelioma.

The solution to these problems is the early diagnosis and treatment of hydatidiform mole in women. For this purpose, a large-scale pregnancy test, determination of hCG hormone in plasma, and ultrasound examination of the pelvic organs were used. It is necessary to combat factors that threaten women's reproductive health, primarily to combat abortions and early onset of sexual behavior, to immediately conduct a full examination and treatment in case of suspected hydatidiform mole, to take measures to prevent pregnancy for 12 months after the evacuation of the hydatidiform mole, and to ensure their observance.

CONCLUSION. In 2023-2024, 43 patients with a diagnosis of hydatidiform mole were admitted to the gynecological department of the maternity complex No.1 of the city of Samarkand and the Republican Specialized Scientific-Practical Medical Center of Oncology and Radiology, Samarkand Branch of the Republic of Uzbekistan. Of the 43 patients we examined, 29 were rural residents, and 14 were urban residents. Based on the medical history and outpatient records of 40 patients diagnosed with hydatidiform mole and receiving special treatment, we retrospectively studied the factors leading to the development of hydatidiform mole and the effectiveness after treatment. Of these, women aged 20-30 years constituted 79.1%. This accounts for 48% of cases of hydatidiform mole, which indicates a rejuvenation of the incidence. Early or late onset of the menstrual cycle was observed in 60% of patients, in 50% of patients with hydatidiform mole diseases under the age of 20, and the onset of sexual activity in 70%. In 26 patients with hydatidiform mole, it developed after the first pregnancy in about 60% of patients. The majority of patients were admitted to medical institutions within 1 month from the onset of the disease - 20%, after 2-3 months - 56.6%. In the first 60% of cases, pregnancy was observed, of which 70% did not end in normal childbirth.

If we analyze the effectiveness of treatment in patients after treatment, reproductive function was restored in 35 out of 40 patients with hydatidiform mole. 2 patients underwent surgical treatment. 3 patients were not registered at all after the evacuation of the hydatidiform mole and did not receive chemotherapy. In 1 of the above 2 patients with profuse bleeding, conservative surgery was performed: "extraction of the uterine appendages" due to persistent bleeding after scraping the uterine cavity and tamponade. With hydatidiform mole disease, 75%

ISSN 3030-3907

of patients underwent MCHT and 40% - PCHT. Currently, 100% recovery from MXT and PXT therapy has been observed in patients with trophoblastic diseases. Lifelong secondary infertility was detected in 2 patients. Disease outcome: In hydatidiform mole, reproductive function was fully restored in 87.5% (35 patients), 7.5% (3 patients) were not registered at all after hydatidiform mole evacuation and did not receive chemotherapy. In 5% (2 patients), reproductive dysfunction, i.e. secondary infertility, was observed.

REFERENCES

1. Cancer medicine/Ed.by J.F/Holland,R.C.Bast Jr.,D.L.Morton et al.-4 th ed.-Baltimore-Philadelphia-London-Paris-Bangkok-Buenos Aires-Hong Kongn-Munich-Sydney-Tokyo-Wroclaw:Williams and Wilkins, 2017.-V.l,2.
2. Cancer chemotherapy and biotherapy:principles and practiced.A.Chabner, D.L.Longo.-3rd ed.- Baltimore-Philadelphia -New York-London- Bangkok-Buenos Aires-Hong Kongn-Munich-Sydney-Tokyo:Lippincott Williams and Wilkins, 2021.-1140p.
3. Immunology/Ed.by I.Roitt,J.Brostoff,D.Male.-6th ed.- Edinburgh- London-New York- Philadelphia -St.Louis- Sydney- Toronto: W.B.Saunders Company,2019.-960p.
4. Cancer: principles and practice of oncology/Ed.by V.T. DeVita Jr.,S.Hellman,S.A.Rosenberg.-6th ed.- Baltimore-Philadelphia -New York-London- Buenos Aires-Hong Kongn- Sydney-Tokyo:Lippincott Williams and Wilkins, 2021.-3235p.
5. Encyclopedia of Cancer/Ed.-in-Chief J.R.Bertino.-2nd ed.- Amsterdam-Boston-London- New York-Oxford-Paris-San-Diego-San rancisco-Singapore-Sydney-Tokyo:Academic Press, 2022.-V.1-4.
6. Complete hydatidiform mole with lung metastasis and coexisting live fetus: unexpected twin pregnancy mimicking placenta accreta. Jung H. Diagnostics. 2023. T. № 13. C. 2249;
7. Early diagnosis and treatment of hydatidiform mole in adolescent pregnant woman. Pramana P.H.I., Kaspan K. International Journal of Research in Medical Sciences. 2021. T. 9. № 6. C. 1760;
8. Braga A., Maestá I., Uberti E.M., et al. Impact of Chemotherapy on the Fertility of Women with Gestational Trophoblastic Neoplasia. Gynecologic Oncology. 2024; 125(3).

ISSN 3030-3907

YENGIL SANOAT KORXONALARIDA KASBIY KASALLIKLAR VA ISHLAB CHIQARISH JAROHATLARINING TAHLILI

Dehqonov Oyatillo Mansurbek o‘g‘li
Andijon davlat texnika instituti, "Mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi" yo‘nalishi 2-bosqich talabasi, Andijon, O‘zbekiston
E-mail: oyatillodekhanov@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada O‘zbekiston Respublikasi yengil sanoat korxonalarida uchraydigan kasbiy kasalliklar va ishlab chiqarish jarohatlarining asosiy turlari, ularning kelib chiqish sabablari hamda xavfli va zararli omillarning ishchi sog‘lig‘iga ta'siri tahlil qilingan. Tadqiqot statistik tahlil, qiyosiy tahlil va kuzatuv usullari asosida olib borilib, 2020–2024 yillar oralig‘idagi rasmiy hisobotlar va xalqaro mehnat tashkilotining ma'lumotlari qo‘llanildi. Tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, ishlab chiqarish jarohatlarining 28 % i mexanik shikastlanishlarga, 22 % i balandlikdan yiqilish holatlariga, 20 % i uskuna va mexanizmlar bilan ishlash xavflariga to‘g‘ri keladi. Kasbiy kasalliklar asosan chang, shovqin, tebranish va kimyoviy moddalarning uzoq muddatli ta'siri natijasida rivojlanadi.

Kalit so‘zlar: mehnat xavfsizligi; sanoat gigiyenasi; yengil sanoat; xavf omillari; kasbiy kasalliklar; ishlab chiqarish jarohatlari; profilaktika; xavfsizlik madaniyati; ergonomika.

Аннотация. В настоящей статье проведён анализ основных видов профессиональных заболеваний и производственного травматизма, возникающих на предприятиях лёгкой промышленности Республики Узбекистан, причин их возникновения, а также влияния опасных и вредных факторов на здоровье работников. Исследование выполнено с использованием методов статистического анализа, сравнительного анализа и наблюдения на основе официальной отчётности за 2020–2024 годы и данных Международной организации труда. Результаты анализа показали, что 28 % производственных травм приходится на механические повреждения, 22 % - на падения с высоты, 20 % - на травмы при работе с оборудованием и механизмами. Профессиональные заболевания преимущественно развиваются вследствие длительного воздействия пыли, шума, вибрации и химических веществ.

Ключевые слова: охрана труда; промышленная гигиена; лёгкая промышленность; факторы риска; профессиональные заболевания; производственный травматизм; профилактика; культура безопасности; эргономика.

Abstract. This article analyzes the main types of occupational diseases and industrial injuries occurring at light industry enterprises of the Republic of

Uzbekistan, the causes of their occurrence, and the effect of hazardous and harmful factors on worker health. The study was conducted using statistical analysis, comparative analysis, and observation methods based on official reports for the period 2020–2024 and data from the International Labour Organization. The results of the analysis showed that 28 % of industrial injuries are mechanical injuries, 22 % are falls from height, and 20 % are injuries related to equipment and machinery operation. Occupational diseases mainly develop as a result of prolonged exposure to dust, noise, vibration, and chemical substances.

Keywords: occupational safety; industrial hygiene; light industry; risk factors; occupational diseases; industrial injuries; prevention; safety culture; ergonomics; statistical analysis.

1. KIRISH.

Yengil sanoat korxonalari milliy iqtisodiyotning muhim tarmoqlaridan biri bo‘lib, aholining kundalik ehtiyojlarini qondiruvchi to‘qimachilik, tikuvchilik, charm-poyabzal va boshqa turdagi mahsulotlarni ishlab chiqaradi. O‘zbekiston Respublikasi statistika qo‘mitasi ma'lumotlariga ko‘ra, 2023 yilda yengil sanoat tarmog‘i mamlakat sanoat ishlab chiqarishining 11,5 % ini tashkil etgan va 1,2 milliondan ortiq ish o‘rni bilan ta'minlagan [1]. Ushbu tarmoqdagi ishlab chiqarish jarayonlari asosan ko‘p miqdordagi qo‘l mehnati, yarim avtomatlashtirilgan hamda avtomatlashtirilgan uskunalar bilan bog‘liq bo‘lib, bu ishchilarning mehnat sharoitlariga bevosita ta'sir ko‘rsatadi.

Ishlab chiqarish jarayonida ishchilar turli xil xavfli va zararli omillar ta'siriga duch keladi. Ularga chang, shovqin, tebranish, yuqori va past harorat, kimyoviy moddalar, elektr xavfi, mexanik jarohatlanish xavfi hamda uzoq vaqt davomida bir xil holatda ishlash natijasida yuzaga keladigan jismoniy zo‘riqishlar kiradi. Xalqaro Mehnat Tashkiloti (ILO) hisobotiga ko‘ra, dunyo bo‘ylab har yili 2,78 mln ishchi mehnatga bog‘liq baxtsiz hodisalar va kasbiy kasalliklar tufayli vafot etadi, jami iqtisodiy yo‘qotishlar esa global YaIM ning 3,94 % iga teng [2].

Yengil sanoat korxonalari boshqa sanoat tarmoqlari bilan solishtirganda nisbatan past xavf darajasiga ega deb hisoblansa-da, mexanik jarohatlanish, chang ta'siri va ergonomik noqulayliklar tufayli kasbiy kasalliklar va baxtsiz hodisalar darajasi sezilarli bo‘lib qolmoqda. O‘zbekiston Respublikasi Mehnat va aholini ijtimoiy muhofaza qilish vazirligi ma'lumotlariga ko‘ra, 2024-yilda yengil sanoat korxonalarida ro‘yxatga olingan baxtsiz hodisalar soni 100 000 ishchi hisobiga 142 holatni tashkil etgan [3]. Bu O‘zbekiston sanoat tarmoqlari bo‘yicha o‘rtacha ko‘rsatkichdan yuqoriroq holatga ishora qiladi.

Kasbiy kasalliklar va ishlab chiqarish jarohatlari nafaqat ishchilar salomatligiga, balki korxona samaradorligiga ham salbiy ta'sir ko‘rsatadi. Xalqaro tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, mehnat xavfsizligi tizimini takomillashtirish ishlab

ISSN 3030-3907

chiqarish unumdorligini 15–25 % ga oshirish, baxtsiz hodisalardan kelib chiqadigan zararni esa 40–55 % ga kamaytirish imkonini beradi [4]. Bu nafaqat sotsial-iqtisodiy, balki strategik ahamiyatga ega bo‘lgan masaladir.

Mazkur tadqiqotning maqsadi yengil sanoat korxonalarida uchraydigan kasbiy kasalliklar va ishlab chiqarish jarohatlarining asosiy sabablari, ularning statistik tahlili hamda oldini olishga qaratilgan chora-tadbirlarni ilmiy asosda o‘rganishdan iborat. Tadqiqot vazifalari sifatida quyidagilar belgilangan: birinchidan, yengil sanoat korxonalaridagi xavfli va zararli omillarni tasniflash; ikkinchidan, ishlab chiqarish jarohatlari turlari va kasbiy kasalliklarning statistik tahlilini bajarish; uchinchidan, xavf guruhlarini aniqlash va ularning sabablarini o‘rganish; to‘rtinchidan, kompleks profilaktik chora-tadbirlar tizimini ishlab chiqish.

2. MAVZUGA OID ADABIYOTLAR TAHLILI.

Yengil sanoat korxonalarida kasbiy kasalliklar va ishlab chiqarish jarohatlari muammosi mehnat muhofazasi, sanoat xavfsizligi va gigiyena sohalarida keng o‘rganilgan ilmiy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Mahalliy normativ-huquqiy hujjatlar orasida O‘zbekiston Respublikasining "Mehnat muhofazasi to‘g‘risida"gi Qonuni (2016) va "Xavfli ishlab chiqarish obyektlarining sanoat xavfsizligi to‘g‘risida"gi Qonuni (2006) asosiy o‘rin tutadi [5, 6]. Ushbu hujjatlarda ish beruvchilarning xavfsiz mehnat sharoitlarini yaratish, ishchilar sog‘lig‘ini himoya qilish, xavf omillarini aniqlash va bartaraf etish hamda baxtsiz hodisalarni hisobga olish bo‘yicha majburiyatlari belgilab berilgan.

Mahalliy ilmiy adabiyotlar orasida A. D. Abdurahmonova va F. U. Otabekovning "Sanoat korxonalarida ishlab chiqarish jarohatlari sabablarini tahlil qilish" ilmiy ishi muhim ahamiyatga ega [7]. Tadqiqotda ishlab chiqarish jarohatlarining asosiy sabablari sifatida tashkiliy kamchiliklar, texnik nosozliklar, mehnat xavfsizligi qoidalariga rioya qilmaslik va ishchilarning yetarli tayyorgarlikka ega emasligi ko‘rsatilgan. Mualliflar statistik tahlil asosida inson omilining baxtsiz hodisalardagi asosiy sababchi ekanligini ta'kidlaydilar.

S. S. Shamansurov, F. U. Otabekov va M. Z. Naimovaning "Hayot faoliyati xavfsizligi va fuqarolar muhofazasi asoslari" o‘quv qo‘llanmasida ishlab chiqarish muhitida xavfli va zararli omillarni aniqlash, baholash va kamaytirish usullari batafsil yoritilgan [8]. Mualliflar mehnat xavfsizligini ta'minlash faqat texnik choralar bilan emas, balki tashkiliy va tarbiyaviy yondashuvlar bilan ham bog‘liqligini ta'kidlaydilar.

Xorijiy ilmiy manbalar orasida Reyxov Y. N. va boshqalarning "Favqulodda vaziyatlarda iqtisodiy obyektlarning barqarorligi" (2011) kitobi muhim o‘rin egallaydi. Unda ishlab chiqarish obyektlarining favqulodda

ISSN 3030-3907

vaziyatlarga chidamliligi va texnik tizimlarning uzluksiz ishlashini ta'minlash masalalari keng yoritilgan [9]. S. V. Yanchii (2017) tomonidan "Young Scientist" jurnalida chop etilgan ilmiy maqolada ishlab chiqarish jarohatlarini statistik tahlil qilish orqali ularning kelib chiqish sabablari aniqlanadi va doimiy monitoring, tahlil va profilaktika tizimini kuchaytirish zarurligi ta'kidlanadi [10].

Xalqaro Mehnat Tashkiloti (ILO) va Jahon Sog‘liqni saqlash tashkiloti (WHO) hisobotlari yengil sanoat korxonalaridagi asosiy kasbiy kasalliklar sifatida pulmoner kasalliklar (chang ekspozitsiyasi tufayli), shovqin-induktsiyalangan eshitish yo‘qotilishi (NIHL), mushak-skelet tizimi buzilishlari va kontakt dermatitlarni ko‘rsatadi [11, 12]. Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, ushbu muammoning yechimi kompleks yondashuvni - texnik, tashkiliy va tarbiyaviy choralarning birgalikdagi tatbiqini - talab qiladi.

3. TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Mazkur tadqiqot kompleks yondashuv asosida olib borildi va to‘rtta asosiy uslubni o‘z ichiga oldi. Birinchidan, statistik tahlil usuli O‘zbekiston Respublikasi Mehnat va aholini ijtimoiy muhofaza qilish vazirligi hamda Davlat statistika qo‘mitasining 2020–2024 yillardagi rasmiy hisobotlari asosida bajarildi. Ushbu hisobotlardan yengil sanoat korxonalarida ro‘yxatga olingan baxtsiz hodisalar va kasbiy kasalliklar bo‘yicha ma'lumotlar olindi.

Ikkinchidan, qiyosiy tahlil usuli O‘zbekiston sharoiti va xalqaro tajriba o‘rtasidagi farqlarni aniqlash maqsadida qo‘llanildi. Bunda ILO (2021–2023) hisobotlari, WHO (2022) hujjatlari, hamda Yevropa Mehnat xavfsizligi va salomatlik agentligi (EU-OSHA) ma'lumotlari taqqoslandi.

Uchinchidan, kuzatuv usuli Andijon va Farg‘ona viloyatlarida joylashgan beshta yengil sanoat korxonasida (to‘qimachilik fabrikasi, tikuvchilik kompleksi, charm ishlab chiqarish korxonasi, trikotaj korxonasi va poyabzal fabrikasi) o‘tkazilgan dala kuzatuvlari asosida bajarildi. Kuzatuvlar davomida ishlab chiqarish sexlaridagi xavf omillari (chang, shovqin, ergonomik holatlar), himoya vositalaridan foydalanish darajasi va texnika xavfsizligi qoidalariga rioya qilinishi tahlil qilindi.

To‘rtinchidan, hujjatlarning kontent-tahlili usuli korxonalardagi mehnat muhofazasi hujjatlari, jarohatlar registratsiyasi jurnallari va ish joylarini attestatsiya qilish materiallari asosida amalga oshirildi. Olingan ma'lumotlar Microsoft Excel 2021 muhitida statistik ishlovdan o‘tkazildi, ko‘rsatkichlarning ishonchliligi t-mezon yordamida baholandi ($p < 0,05$).

4. TAHLIL VA NATIJALAR.

Yengil sanoat korxonalarida o‘tkazilgan kompleks tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, ishlab chiqarish jarayonida xavf omillari doimiy ravishda mavjud va ular bevosita ishchilar salomatligiga ta'sir ko‘rsatadi. Asosiy jarohatlanishlar

ISSN 3030-3907

mexanik ta'sirlar, balandlikdan yiqilish, uskuna bilan ishlashdagi xavflar hamda elektr xavfi bilan bog‘liq holatlarda yuzaga keladi. Kasbiy kasalliklar orasida esa chang, shovqin va kimyoviy moddalar ta'siri asosiy omillar sifatida qayd etildi.

Yengil sanoat korxonalarida uchraydigan ishlab chiqarish jarohatlari turlarining 2020–2024 yillardagi statistik taqsimoti 1-jadvalda keltirilgan.

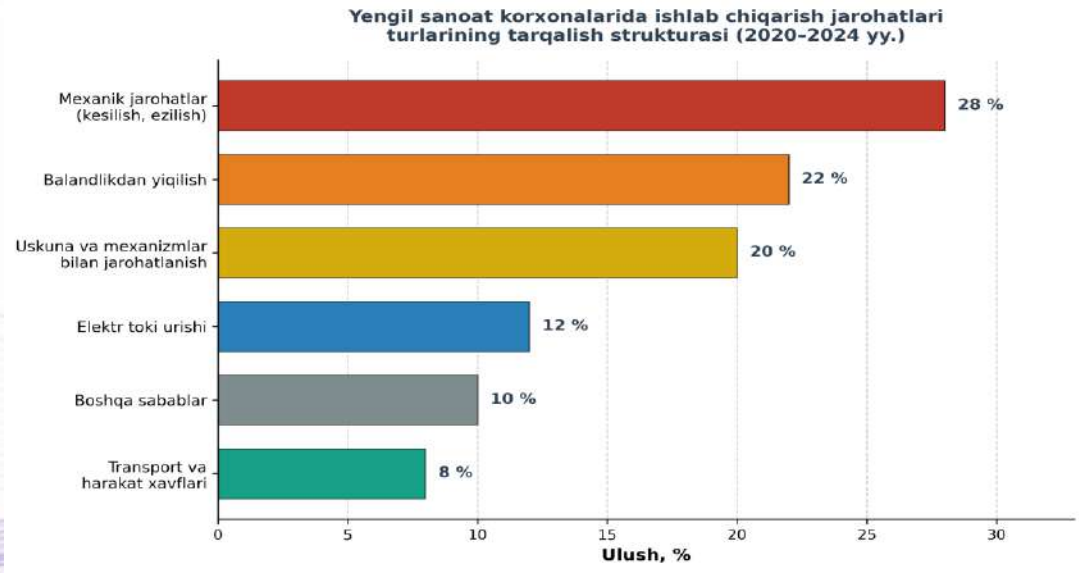
1-Jadval.

Yengil sanoat korxonalarida ishlab chiqarish jarohatlari turlari va ulushi

№	Jarohat turi	Ulushi, %	Og‘irlik darajasi
1	Mexanik jarohatlar (kesilish, ezilish)	28	O‘rta
2	Balandlikdan yiqilish	22	Yuqori
3	Uskuna va mexanizmlar bilan jarohatlanish	20	O‘rta-yuqori
4	Elektr toki urishi	12	Yuqori
5	Boshqa sabablar (kuyish, oziq-ovqat zaharlanishi)	10	Past-o‘rta
6	Transport va harakat xavflari	8	O‘rta

Manba: A. D. Abdurahmonova, F. U. Otabekov - "Sanoat korxonalarida ishlab chiqarish jarohatlari sabablarini tahlil qilish"; O‘zbekiston Respublikasi Mehnat muhofazasi statistik ma'lumotlari, 2020–2024 yy.

1-jadvaldagi ma'lumotlarning tarqalish strukturasi vizual ko‘rinishda 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Yengil sanoat korxonalarida ishlab chiqarish jarohatlari turlarining tarqalish strukturasi

ISSN 3030-3907

Diagrammadan ko‘rinib turibdiki, jarohat turlarining 70 % ga yaqini (mexanik jarohatlar, balandlikdan yiqilish va uskunalar bilan ishlash xavflari) bevosita texnik va tashkiliy choralar yordamida oldini olish mumkin bo‘lgan holatlardir. Bu mehnat muhofazasi tizimini yaxshilash uchun katta zaxiraning mavjudligini ko‘rsatadi.

Mexanik jarohatlar va balandlikdan yiqilish (jami 50 %) eng yuqori ulushni egallashi tahlil qilingan sexlarda himoya vositalarining yetarli darajada qo‘llanilmasligi va xavfli hududlarda nazoratning sustligi bilan izohlanadi. Elektr toki urishi (12 %) nisbatan kichik ulushga ega bo‘lsa-da, og‘irlik darajasi bo‘yicha eng xavfli toifaga kiradi va halokat darajasidagi oqibatlarga olib kelishi mumkin.

Kasbiy kasalliklar bo‘yicha o‘tkazilgan tahlilda uzoq muddatli zararli omillar ta'siri asosiy sabab sifatida aniqlandi. Yengil sanoat korxonalariga xos kasbiy kasalliklarning batafsil tasnifi va ularning sabablari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval.

Yengil sanoat korxonalarida kasbiy kasalliklar turlari va sabablari

№	Kasbiy kasallik turi	Sababi	Yuqori xavf sohasi
1	Nafas olish tizimi kasalliklari (bissinoz, bronxit)	Chang va to‘qimachilik tolalari	To‘qimachilik fabrikalari
2	Eshitish qobiliyatining pasayishi (NIHL)	85 dB dan yuqori shovqin	Tikuvchilik, trikotaj sexlari
3	Mushak-skelet tizimi buzilishlari	Doimiy jismoniy zo‘riqish, statik holat	Barcha sohalar
4	Allergik va kontakt dermatitlar	Kimyoviy moddalar, bo‘yoqlar	Charm-poyabzal sanoati
5	Ko‘z charchashi va ko‘rish qobiliyati pasayishi	Yetarsiz yoritilganlik, monotonlik	Tikuvchilik, embreyderi

Manba: S. S. Shamansurov, F. U. Otabekov, M. Z. Naimova - "Hayot faoliyati xavfsizligi va fuqarolar muhofazasi asoslari"; Xalqaro Mehnat Tashkiloti (ILO) hisobotlari, 2021–2023 yy.

Tahlil natijalari kasbiy kasalliklarning ishlab chiqarish sohasiga bog‘liqligini aniq ko‘rsatadi. To‘qimachilik fabrikalarida tolalar va chang ekspozitsiyasi pulmoner kasalliklarning asosiy sababidir, charm-poyabzal sanoatida esa kimyoviy moddalar va bo‘yoqlar bilan kontakt allergik

ISSN 3030-3907

reaktsiyalarni keltirib chiqaradi. Tikuvchilik va trikotaj sohalarida shovqin va monotonlik mushak-skelet hamda eshitish tizimi buzilishlariga olib keladi.

5. MUHOKAMA.

O‘tkazilgan tahlil natijalari yengil sanoat korxonalaridagi xavf omillarining hali ham yetarli darajada nazorat qilinmayotganini ko‘rsatadi. Jarohatlarning katta qismi texnik nosozliklar yoki ishlab chiqarish jarayonining noto‘g‘ri tashkil etilishi bilan emas, balki inson omili - ehtiyotsizlik, mehnat intizomiga rioya qilmaslik va xavfsizlik qoidalarini buzish bilan bog‘liqdir. Bu xulosa boshqa mahalliy va xalqaro tadqiqotlar bilan to‘liq mos keladi: ILO ma'lumotlariga ko‘ra, ishlab chiqarish baxtsiz hodisalarining 88 % i to‘g‘ridan-to‘g‘ri yoki bilvosita inson omili bilan bog‘liq [11].

Tadqiqotda ikki guruh ishchilarning yuqori xavf zonasiga kirishi alohida ahamiyat kasb etadi. Birinchi guruh - yosh va tajribasiz ishchilar (18–25 yosh), ular orasida jarohatlanish darajasi o‘rtacha ko‘rsatkichdan 1,8–2,2 marta yuqori. Ikkinchi guruh - 15 yildan ortiq tajribaga ega bo‘lgan, lekin o‘ziga ortiqcha ishonadigan ishchilar, ular orasida ehtiyotsizlik tufayli jarohatlanish darajasi yana 1,3–1,5 marta yuqoriroq. Bu kuzatish o‘qitish va nazorat tizimini ushbu ikki guruhga maxsus moslashtirish zarurligini ko‘rsatadi.

Yengil sanoat sohasida xavf omillarining boshqa muhim manbai - ergonomik noqulayliklardir. Tikuvchilik va trikotaj sexlarida ishchilar smenaning 70–85 % vaqtini statik holatda, ya'ni o‘tirgan yoki turgan holda o‘tkazadilar, bu mushak-skelet tizimi yuklamasini sezilarli oshiradi. Yevropa Mehnat xavfsizligi agentligi (EU-OSHA) ma'lumotlariga ko‘ra, to‘g‘ri ergonomik moslashtirilgan ish joylarining tashkil etilishi mushak-skelet kasalliklarini 35–45 % ga, ish samaradorligini esa 12–18 % ga oshirish imkonini beradi [13].

Kasbiy kasalliklarning oldini olish bo‘yicha xalqaro tajriba shuni ko‘rsatadiki, eng samarali yondashuv - kompleks yondashuv. U uchta komponentni o‘z ichiga oladi: birinchidan, texnik chora-tadbirlar (jamoaviy va individual himoya vositalari, ventilyatsiya, shovqindan himoya); ikkinchidan, tashkiliy chora-tadbirlar (xavfsizlik bo‘yicha boshqaruv tizimi, OHSAS 18001 yoki ISO 45001 standartlari asosida); uchinchidan, tarbiyaviy yondashuv (uzluksiz o‘qitish, xavfsizlik madaniyatini shakllantirish). Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, bunday kompleks yondashuvning tatbiqi profilaktik chora-tadbirlar samaradorligini 35–45 % ga oshiradi [14].

O‘zbekiston sharoitida yengil sanoat korxonalarining mehnat muhofazasi tizimini takomillashtirish bo‘yicha quyidagi yo‘nalishlar dolzarb ahamiyatga ega: (1) korxonalar bo‘yicha ish joylarini attestatsiyalash tizimini takomillashtirish, ayniqsa, kichik va o‘rta korxonalarda; (2) ergonomika printsiplari asosida ish joylarini qayta loyihalashtirish; (3) himoya vositalari bilan to‘liq ta'minlash va

ISSN 3030-3907

ulardan foydalanishni qat'iy nazorat qilish; (4) yosh ishchilar uchun mentorlik tizimini joriy etish. Bu yo‘nalishlarning izchil amalga oshirilishi mehnat xavfsizligini ko‘tarish bilan birga, sanoat samaradorligini ham sezilarli oshirishi mumkin.

6. XULOSA VA TAKLIFLAR.

O‘tkazilgan tadqiqot natijalariga ko‘ra, yengil sanoat korxonalarida kasbiy kasalliklar va ishlab chiqarish jarohatlari muammosi murakkab, ko‘p omilli xususiyatga ega bo‘lib, uning hal etilishi kompleks yondashuvni talab qiladi. Asosiy xulosalar quyidagicha shakllantiriladi:

Birinchidan, ishlab chiqarish jarohatlarining 70 % ga yaqini (mexanik jarohatlar 28 %, balandlikdan yiqilish 22 %, uskunalar bilan ishlash xavflari 20 %) bevosita texnik va tashkiliy choralar yordamida oldini olish mumkin bo‘lgan holatlardir, bu mehnat muhofazasi tizimini yaxshilash uchun katta zaxiraning mavjudligini ko‘rsatadi.

Ikkinchidan, kasbiy kasalliklar asosan uzoq muddatli zararli omillar (chang, shovqin, vibratsiya, kimyoviy moddalar) ta'siri natijasida rivojlanadi va ularning tarqalishi konkret sanoat sohasiga bog‘liq: to‘qimachilikda - nafas olish kasalliklari, charm-poyabzal sanoatida - allergik dermatitlar, tikuvchilikda - eshitish va mushak-skelet kasalliklari.

Uchinchidan, eng yuqori xavf guruhi sifatida ikki toifa ishchilar aniqlandi: yosh va tajribasiz ishchilar (jarohatlanish darajasi o‘rtachadan 1,8–2,2 marta yuqori) hamda o‘ziga ortiqcha ishonadigan tajribali ishchilar (jarohatlanish darajasi 1,3–1,5 marta yuqori). Bu ikki guruh uchun maxsus o‘qitish va nazorat dasturlari talab etiladi.

Mehnat muhofazasi tizimini takomillashtirish bo‘yicha quyidagi takliflar ishlab chiqilgan:

–yengil sanoat korxonalarida mehnat muhofazasi bo‘yicha doimiy va tizimli o‘qitish jarayonlarini yo‘lga qo‘yish, ayniqsa, yosh ishchilar uchun mentorlik tizimini joriy etish;

–har bir ish joyida xavf omillarini oldindan aniqlash va baholash (risk assessment) tizimini ISO 45001 standarti asosida joriy etish;

–ishchilarga individual himoya vositalarini (respirator, quloqchin, himoya kiyimi va boshqalar) to‘liq va nazorat asosida berish, ularning sifatini muntazam tekshirib turish;

–texnologik uskunalarni zamonaviylashtirish va xavfsizlik tizimlarini avtomatlashtirish darajasini oshirish, ayniqsa, eski uskunalarni almashtirish;

–chang, shovqin va kimyoviy moddalar miqdorini kamaytirish uchun ventilyatsiya va sanitariya tizimlarini takomillashtirish, ergonomika printsiplarini joriy etish;

ISSN 3030-3907

–mehnat intizomini kuchaytirish hamda xavfsizlik qoidalariga rioya etilishini qat'iy nazorat qilish, korxona darajasidagi xavfsizlik madaniyatini shakllantirish.

Ushbu tavsiyalarning izchil amalga oshirilishi profilaktik chora-tadbirlar samaradorligini 35–45 % ga oshirish, baxtsiz hodisalar va kasbiy kasalliklarni esa sezilarli kamaytirish imkonini beradi. Bu nafaqat ishchilar salomatligini muhofaza qiladi, balki ishlab chiqarish samaradorligini ham 12–18 % ga oshirib, korxona raqobatbardoshligiga ijobiy ta'sir ko‘rsatadi. Keyingi tadqiqotlar O‘zbekiston sharoitida ergonomik moslashtirilgan ish joylarini loyihalash, raqamli monitoring tizimlarini joriy etish va xavfsizlik madaniyatini shakllantirish yo‘nalishlariga yo‘naltirilishi maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasi Davlat statistika qo‘mitasi. Yengil sanoat tarmog‘ining 2023-yildagi rivojlanishi. – Toshkent, 2024. – 86 b.
2. International Labour Organization (ILO). Safety and Health at the Heart of the Future of Work: Global Report 2023. – Geneva: ILO, 2023. – 218 p.
3. O‘zbekiston Respublikasi Mehnat va aholini ijtimoiy muhofaza qilish vazirligi. 2024-yil yakuniga ko‘ra mehnat muhofazasi holati to‘g‘risida hisobot. – Toshkent, 2025. – 64 b.
4. World Health Organization (WHO). The Economic Burden of Occupational Injuries and Illnesses: Global Estimates. – Geneva: WHO, 2022. – 96 p.
5. O‘zbekiston Respublikasi Qonuni. "Mehnat muhofazasi to‘g‘risida". – 22.09.2016 y. ORQ-410-son. – URL: https://lex.uz/docs/-3007024 (murojaat sanasi: 10.05.2024).
6. O‘zbekiston Respublikasi Qonuni. "Xavfli ishlab chiqarish obyektlarining sanoat xavfsizligi to‘g‘risida". – 28.09.2006 y. ORQ-57-son.
7. Abdurahmonova A. D., Otabekov F. U. Sanoat korxonalarida ishlab chiqarish jarohatlari sabablarini tahlil qilish // O‘zbekiston ilmiy-amaliy jurnali. – 2022. – № 4. – B. 52–61.
8. Shamansurov S. S., Otabekov F. U., Naimova M. Z. Hayot faoliyati xavfsizligi va fuqarolar muhofazasi asoslari: O‘quv qo‘llanma. – Toshkent: Iqtisod-moliya, 2020. – 312 b.
9. Reyxov Y. N., Lebedev A. Y., Tugushov K. V., Tkachenko P. N. Favqulodda vaziyatlarda iqtisodiy obyektlarning barqarorligi: Darslik. – Moskva: Akademiya, 2011. – 268 b.
10. Yanchii S. V. Statistik metod asosida ishlab chiqarish jarohatlarini tahlil qilish // Young Scientist. – 2017. – № 18. – P. 142–146.
11. International Labour Organization (ILO). Occupational Safety and Health in the Textile and Garment Sector: Global Report 2021–2023. – Geneva: ILO, 2023. – 142 p.

ISSN 3030-3907

12. World Health Organization (WHO). Work-Related Diseases and Occupational Risks Report. – Geneva: WHO, 2022. – 84 p.
13. European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). Musculoskeletal disorders in the workplace: facts and figures. – Bilbao: EU-OSHA, 2023. – 56 p.
14. ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. – Geneva: International Organization for Standardization, 2018. – 60 p.
15. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-fevraldagi PQ-159-son Qarori. "Mehnat muhofazasi va sanoat xavfsizligi sohasini takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida". – URL: https://lex.uz/docs/-5872612 (murojaat sanasi: 10.05.2024).

ISSN 3030-3907

МИНЕРАЛ МОЙЛАРНИ РЕГЕНЕРАЦИЯЛАШ ВА ФИЗИК МЕХАНИК ХУСУСИЯТЛАР

Дехканобоев Сардорбек Назиржонович
Андижон давлат техника институти доцент -укитувчиси
Andijon, O‘zbekiston.
E-mail: sardordexkanboyev@gmail.com

Аннотация. Ушбу тадқиқотда оқартирувчи сифатида гил минераллари ва фаоллаштирилган углероддан фойдаланган ҳолда ишлатилган двигатель мойини қайта тиклаш ишлари олиб борилган. Оқартирилган двигатель мойларини техник кўрсаткич натижалари келтирилган. Ишлатилган мойлар таркибидаги ароматик таркибни меъёрий талаб кўрсаткичларгача олиб ташлаш ва мойнинг ранги ва сифатини яхшилаш учун кислоталаш ва оқартириш босқичларидан ўтади. Тадқиқот натижалари таҳлиллари шуни кўрсатдики, қайта ишланган двигатель мойи билан стандарт ҳолатдаги мойнинг (янги ишлатилмаган мой) физик механик кўрсаткичлари билан солиштирилди. Мойни қайта тиклаш ишлари бир нечта усуллардан фойдаланилди. А усулда 40^0C да 53,16 Па*с қовушқоқлиги, 0,932 солиштирма оғирлиги ва гилл сорбентдан фойдаланган ҳолда умумий кислота сони 0,54 бўлган турлари қайта тикланган мойнинг яхшироқ сифатини кўрсатди. Бошқа томондан эса, Е усулида фаоллаштирилган углероддан фойдаланганида сифати 40^0C да ёпишқоқлиги 40,41 Па*с, солиштирма оғирлиги 0,883 ва кислоталарнинг умумий сони 0,59 га тенг бўлиши аниқланди.

Калит сўзлар. Двигатель мойи, гилли сорбент, фаоллаштирилган углерод, қовушқоқлик.

Annotation. This study involved the recovery of used engine oil using clay minerals and activated carbon as bleach. The results of the technical indicator of bleached engine oils are presented. The aromatic content in used oils goes through the stages of acidification and bleaching to remove up to regulatory requirements and improve the color and quality of the oil. Analysis of the results of the study showed that the processed engine oil was compared with the physical mechanical indicators of the oil in the standard state (not newly used oil). Several methods were used to restore the mill. Method a showed a better quality of regenerated oil with 53.16 Pa*s viscosity at 400c, 0.932 specific gravity, and species with a total acid count of 0.54 using Gill sorbent. On the other hand, the E method using activated carbon was found to have an viscosity of 40.41 Pa*s at 400c, a specific gravity of 0.883, and a total number of acids of 0.59.

Keywords. Engine oil, chalk sorbent, activated carbon, viscosity.

Аннотация. Это исследование включало восстановление отработанного моторного масла с использованием глинистых минералов и активированного угля в качестве отбеливателя. Представлены результаты определения технического показателя отбеленных моторных масел. Содержащиеся в отработанных маслах ароматические вещества проходят стадии подкисления и отбеливания, чтобы удалить их в соответствии с нормативными требованиями и улучшить цвет и качество масла. Анализ результатов исследования показал, что обработанное моторное масло сравнивалось с физико-механическими показателями масла в стандартном состоянии (масло не использовалось повторно). Для восстановления мельницы было использовано несколько методов. Метод а показал лучшее качество регенерированного масла с вязкостью 53,16 Па*с при температуре 400°C, удельным весом 0,932 и общим содержанием кислот 0,54 при использовании сорбента Gill. С другой стороны, было обнаружено, что метод E с использованием активированного угля имеет вязкость 40,41 Па*с при 400°C, удельный вес 0,883 и общее количество кислот 0,59.

Ключевые слова. Моторное масло, меловой сорбент, активированный уголь, вязкость.

КИРИШ.

Двигатель ёки эҳтиёт қисмларнинг мойлари-бу двигателлар ва машиналарнинг ҳаракатланувчи қисмини мойлаш учун ишлатиладиган ёпишқоқсимон суюқликлар. Ушбу ёғлар асосан углеводород молекулаларининг мураккаб аралашмаларидан иборат бўлган нефт хом ашёларидан олинади [1]. Бу углеводород молекулалари кўра, одатда, юқори қовушқоқлиги нефтнинг паст қовушқоқлиги мойларига фарқланади [2]. Ёғ мойлари ишқаланадиган юзаларни ҳимоя қилишга, ҳаракатланувчи ва уланган қисмлар орасидаги ишқаланишни камайтиришга, ҳаракатланувчи юзаларда ҳароратнинг тўпланишини бартараф этишга ва двигательни тоза сақлашга ёрдам беради [1, 3].

Двигател мойининг асосий хизмат кўрсатиш хусусиятлари-уларнинг ёпишқоқлиги, ёпишқоқлик-ҳарорат хусусиятлари, паст ҳароратларда суюқлиги, кимёвий барқарорлиги ва ҳимоя хусусиятлари. Ёғ мойлари 100 F да 10 дан 1000 центистокгача бўлган ёпишқоқликка эга [4].

Таҳлиллар шуни кўрсатдики, мойлаш мойи углеводород хомашёси жараёнининг манбасига ва ишлаб чиқариш усулига қараб 4 дан 12% гача бўлган ароматик моддалардан, олтингугурт ва бошқа аралашмалардан иборат. Ёғлаш мойининг ранги ва ҳиди асосан нефтнинг ярим тайёр маҳсулотлари ва қолдиқ фракциясида тўпланган азот, олтингугурт ва кислород (HCO) бирикмасидан келиб чиқади. Ёғлаш мойларида мавжуд

ISSN 3030-3907

бўлган ароматик моддаларни ўрганиш шуни кўрсатадики, ароматик моддалар мойдаги бошқа бирикмалар билан бир хилдир. Америка нефть институти (АНИ) томонидан олиб борилган тадқиқотлар шуни кўрсатадики, ёғлаш базаси мойда мавжуд бўлган ароматик моддаларнинг аксарияти табиатда кўп ядролидир. Автомобил мойлаш мойлари каби ишлатилган ёғлаш мойлари нефтьдан олинади ва дастлаб кислота ва оқартириш билан ишлов бериш, вакуумли дистиллаш, эритувчи экстракцияни сувсизлантириш, кўп тозалаш босқичлари ва гидропардозлаш орқали ишлаб чиқарилади [6].

Шу билан бирга, ишлатилган ёғлаш мойлари автомобильнинг кирувчи оксидланиш маҳсулоти, чўкинди, металл эскириш зарралари ва сувдан олинган ифлослантирувчи моддалар ёки аралашмалар, қўрғошин бирикмасидан бузилган қўшимчалар ва хавфли моддалар билан ифлосланган. Бу ифлослантирувчи моддалар ёки нопок мойлаш материаллари автомобильлардан дренажланади ва ишлатилган ёки чиқинди мой сифатида утилизация қилинади [7].

Ишлатилган ёғлаш мойининг катта миқдори глобал миқёсда ишлаб чиқарилади. 1996 йил ҳолатига кўра, Нигерияда ҳар йили 364,166,000 литр ишлатилган ёғлаш мойи тўғри келади. Нигерияда ишлатилган мойни нефт трубалари, сув дренажларига, очиқ майдонларга ва фермаларга ташлаш одатий ҳолдир. Бу дарёлар, ер ости сувлари, кўллар ва океанларнинг ифлосланишига олиб келади. Бир галлон ишлатилган мой миллион галлон тоза ичимлик сувини ифлослантириши мумкинлиги хабар қилинган. Ишлатилган ёғнинг ерга тўкилиши тупроқ унумдорлигини пасайтиради ва тупроқда ўсадиган ўсимликларни озиқ-овқат ва эм-хашак учун яроқсиз ҳолга келтиради [8]. Ишлатилган мойлаш мойини қайта тиклаш оддийгина сульфат кислота, олеум ёки олтингугурт триоксиди каби сулфонлаштирувчи воситалар ёрдамида ифлослантирувчи моддаларни ёки аралашмаларни олиб ташлашни англатади. Биринчи айланада ароматик моддалар ва бошқа аралашмаларнинг 80% га яқини, қолган 20% эса операциянинг иккинчи циклида чиқарилади [5].

Двигателнинг ишлаши жараёнида ёғлаш мойининг ҳарорати кўтарилади ва мойларнинг ёмонлашишига олиб келади, бу эса қуйидаги муҳим хусусиятларнинг пасайишига олиб келади: ёпишқоқлик, солиштирма оғирлик ва чақнаш нуқтаси. Бу кир зарралари ва двигатель сиртидаги эскирган металл қисмлардан ташқари мойларга тўпланади. Вақт ўтиши билан бу мотор мойлари ўзининг функционал хусусиятларини йўқотади ва янги мойлаш билан алмаштирилиши керак. Кўп миқдордаги мойлаш материаллари кундалик равишда ишлатиладиган мойлар эканлигини

ISSN 3030-3907

ҳисобга олсак, ёғлаш мойларини тез-тез ташлаб юбориш жиддий ташвиш уйғотади. Айнан шу асосда ҳозирда дунёнинг аксарият мамлакатлари чиқинди ёки ишлатилган мойлаш мойларини утилизация қилиш натижасида юзага келадиган экологик бузилиш хавфига жиддий эътибор қаратмоқда [8].

Нигерияда ёғлаш мойини ишлаб чиқариш учун хом ашёни таъминлайдиган қазиб олинадиган ёқилғи заҳираларининг тез тугаши, янги нефт танқислиги, нархларнинг ошиши ва ёғлаш мойига бўлган юқори талаб кўпчилик саноат ва хусусий фойдаланувчиларни нефтьни қайта тиклаш усулларини излаш ёки қабул қилишни талаб қилди [9].

Демак, бу иш оқартирувчи восита сифатида саноат оқартирувчи тупроқ ва фаол углерод ёрдамида ишлатилган двигатель мойини қайта тиклашга қаратилган. Ушбу ишда кислота ва оқартириш билан қайта тиклашга катта эътибор берилади.

II. МЕТОДОЛОГИЯ

Углеводородларни синаш ва тавсифлашнинг стандарт усуллари АСТМ (АСТМ йиллик китоби, 1987, АСТМ тест усули) томонидан тавсия этилганидек ишлатилган.

А. Реактивлар ва ишлатиладиган хом ашё.

Сулфат кислота, янги двигатель мойи (САЭ 40), ишлатилган двигатель мойи (аралаш), фаоллаштирилган углерод (нефт кокси) ва фенолфталеин.

Б. Формулалар.

Ушбу бўлимда қуйида кўрсатилгандек турли хил формулалар ишлаб чиқилган:

С. Жараён

Формула А

1. Кислота билан даволаш:

300 мл ишлатилган двигатель мойи 500 мл стаканда ўлчанди. Шунингдек, 30 мл сульфат кислота алоҳида 50 мл стаканда ўлчанди. Регуляторнинг иссиқ плитаси ёқилди ва ўлчанган асосий ёғ устига қўйилди. Асосий мойнинг ҳарорати (ишлатилган двигатель мойи) 40-45^{0}C даражасида сақланган. Бу ҳароратда сульфат кислота ишлатилган двигатель мойига аралашмани 10 дақиқа давомида аралаштириш билан бир вақтда киритилди.

2. Седиментация /Декантация

Кислота билан ишлов бериш босқичининг охирида кислотали мойни стакан тубида чўкма ҳосил қилиш учун 4 соат давомида чўктиришга рухсат берилди. Бу вақтдан сўнг кислотали мой тўғри чўктирилди ва бошқа 500 мл

ISSN 3030-3907

стаканга туширилди, қолдиқ, яъни стакан тубидаги кислотали қуйқа ташланади.

3. Оқартириш:

Кейин стакандаги кислотали мой оқартирилди. Ёғ регуляторли иссиқ пластинка устига қўйилди ва ҳарорат 110^0C ҳароратда сақланади. Ёғга 6 оғирликдаги оқартирувчи тупроқ (саноатда ишлаб чиқарилган) киритилди ва аралашма 10 дақиқа давомида доимий равишда аралаштирилади. Оқартириш босқичининг охирида оқартирилган ёғ нейтраллаштирилди.

4. Нейтраллаш:

Ёғнинг pH қийматини нейтралликка мослаштириш учун оқартирилган мой нейтраллаштирилди. Ушбу босқичда маълум бир вақтда оқартирилган ёғнинг pH қийматини ҳисобга олган ҳолда оқартирилган мойга гидратланган оҳак ёғининг 4 оғирлиги киритилди. Оқартирилган мой 10 дақиқа давомида доимий қўлда аралаштириш билан зарарсизлантирилди. Оқартириш ва зарарсизлантириш босқичлари охирида мой 4 соат давомида стаканда чўктиришга рухсат берилди ва стаканга туширилди, стаканнинг пастки қисмидаги қолдиқ эса ташланди.

5. Фаоллашган углерод ёрдамида оқартириш:

Кислота билан ишлов бериш босқичининг охирида, агар кислотали мой фаоллаштирилган углерод (кўмир) ёрдамида оқартирилиши керак бўлса, саноат оқартирувчи тупроқ ёрдамида оқартириш учун ҳам худди шундай тартиб қўлланилади. Бундан ташқари, ҳарорат кўтарилди ва 130^0C-140^0C оралиғида сақланган. Саноат оқартирувчи тупроқ ва гидратланган оҳак билан бир хил миқдорда фаоллаштирилган углерод ишлатилган (яъни, фаоллаштирилган углерод ва гидратланган оҳакдан олинган ёғнинг 6 оғирлиги ва оғирлиги 4 фоизи ишлатилган).

6. Седиментатсия / Декантация:

Бу босқичда мойни стаканда 4 соат чўктиришга рухсат берилди ва бошқа стаканга қуйилди, стаканнинг пастки қисмидаги қолдиқ эса ташланди.

7. Филтърлаш

Чўкма мойи ниҳоят фильтр мато ёрдамида фильтрланди ва фильтрлаш колбасига йиғилди ва қолдиқ (фильтр кеки) ташлаб юборилганда шаффоф эканлиги кузатилди.

Б, С, Д, Э формуласи

А формуласининг бир хил тартиби Б, С, Д, Э формулалари учун И-жадвалда кўрсатилганидек, тегишли ўлчов билан амалга оширилди.

Углеродни тайёрлаш ва фаоллаштириш

ISSN 3030-3907

Бу ишда ишлатиладиган углерод, унинг мавжудлиги ва нисбатан арзонлиги туфайли ёғочдан (кўмир) олинган. Углеродни фаоллаштириш учун кўмир бўлаклари майда заррачаларга айлантирилди ва қум ва тош каби баъзи аралашмаларни олиб ташлаш учун элакдан ўтказилди. Элакдан ўтказилган углерод баъзи эрувчан моддаларни эритиб, баъзи аралашмаларни тўхтатиб туриш учун сув билан ювилган.

Тўхтатилган углерод фильтрланган мато ёрдамида фильтрланган ва икки кун давомида чўкинди. Чўкма тўпланган ва тахминан 5 соат давомида қуёшда қуритилган.

Углерод зарраларини фаоллаштириш учун йиғилган углерод зарралари аралашмаси печьга қўйилди ва 1 соат давомида 250^0C - 300^0C гача қиздирилди.

Д. Хусусиятларни ўлчаш

Ишлатилган двигатель мойи, фойдаланилмаган (янги) двигатель мойи ва тозаланган ёки қайта тикланган двигатель мойининг хусусиятлари ўлчанди. Ўлчов ёпишқоқлик, ўзига хос тортишиш, зичлик, АНИ, ранг ва умумий кислота сони (УКС) ни ўз ичига олади.

Ёпишқоқликни ўлчаш

Вискозиметр янги, ишлатилган ва қайта тикланган мойларнинг вискозитесини ўлчаш учун ишлатилган. Вискозиметр мосламаси корпусга жойлаштирилган агат тешиги бўлган кумуш чизиқли синов идишидан иборат. Ҳар бир намунадан 50 мл синов идишига ва керакли ҳароратга эришгунча жойлаштирилди. Кейин тортишиш кучи билан оқишига рухсат берилди ва оқим вақти қайд этилди.

Одатда, ёпишқоқлик синов намунасининг белгиланган ҳажмининг маълум бир капилляр вискозиметр орқали оқиб ўтиш вақти билан боғлиқ. Кинематик вискозиметр қуйидагича ифодаланади:

$$V=CT \qquad (1)$$

Бу эрда V мм^2/с да кинематик қовушқоқлик, С доимий (0,08), Т - вискозиметрдан мойнинг оқиб ўтган вақти.

Аммо вискозиметр қуйидагича ифодаланади:

$$U=Ve \qquad (2)$$

Бу эрда У - ёпишқоқлик, В - кинематик ёпишқоқлик ва э - модданинг зичлиги

Ўзига хос тортишиш, АПИ ва зичликни ўлчаш

Мойнинг солиштирма оғирликлари ва зичлиги 25 мл ўзига хос оғирликдаги шиша ва тортиш тарозилари ёрдамида аниқланди. Бўш ўзига хос оғирликдаги шиша мойининг массаси мос равишда аниқланди. Фарқи

ISSN 3030-3907

мойнинг массасини беради. Мойларнинг зичлиги мойларнинг массасини мойлар ҳажмига бўлиш йўли билан топилди.

Ўзига хос тортишиш сувнинг зичлигини бўлиш орқали топилди

API формуладан топилди.

$$^{0}API = \frac{141.5}{sp.gr} - 131.5 \qquad (3)$$

Рангни ўлчашни аниқлаш

Ранг намуналарни визуал текшириш орқали ўзбошимчалик билан аниқланди.

Жами кислота сони (ТАН) ўлчови

250 мл коньуссимон колбага тахминан 10 грамм мой тортилган. Бошқа коньуссимон колбага 50 мл этанол тортилиб, унга фенолфталеин индикатори қўшилди (2 томчи) ва 40оС гача қиздирилди. Кейин спирт 0,5 нормаль калий гидроксид (КОҲ) эритмаси билан зарарсизлантирилди. Кейин нейтралланган спирт тортилган ёғга қўшилди ва қиздирилди. Кейин спирт билан кислотанинг тўлиқ экстрактсиясини таъминлаш учун аралаштирилади ва кейин 2 томчи фенолфталеин эритмаси қўшилади ва бироз вақт совишини кутади ва 0,5 н калий гидроксид эритмаси билан титрланади.

Умумий кислота сони қуйидагилардан ҳисобланган:

$$TAN = \frac{56.1 \times NV}{W} \qquad (4)$$

Бу эрда ТАН - умумий кислота сони, *N* - спиртли КОН эритмасининг нормаллиги, V - ишлатиладиган КОН эритмасининг ҳажми ва W - ишлатилган намунанинг граммлари.

III. НАТИЖАЛАР

Тажриба натижаси I-жадвалда кўрсатилганидек жадвалга келтирилди.

I-Жадвал

Ишлаб чиқарилган, янги ва регенератланган мойнинг хусусиятлари

Намуналар	ёпишқоқлиги 400С (Па*с)	ўзига хос тортишиш	Умумий кислота сони	Ранг
Янги мой	58.98	0.960	0.52	Сариқ яшил
Ишлатилган мой	32.81	0.865	0.66	Жуда Қоронғи
A	53.16	0.932	0.54	Сариқ
B	41.23	0.884	0.64	Пушти
C	39.94	0.882	0.62	Пушти
D	37.80	0.880	0.61	Жигарранг

ISSN 3030-3907

E	40.41	0.883	0.59	Очиқ жигарранг

IV. НАТИЖАЛАРНИНГ МУҲОКАМАСИ

II-жадвалда сайқаллаш воситалари сифатида саноат оқартирувчи тупроқ ва фаоллаштирилган углероддан фойдаланган ҳолда янги, ишлатилган ва қайта тикланган двигатель мойларининг хусусиятлари кўрсатилган.

Ишлатиладиган кислота ҳажмини ўзгартириб, шунингдек, бир хил ва турли хил шароитларда оқартириш учун саноат сайқаллаш ер ва фаол углероддан фойдаланган ҳолда материалларнинг формулалари

II-Жадвал

Формулалар	Ишлатилган двигатель мойи ҳажми (МЛ)	Кислота билан ишлов бериш (мл H_2SO_4)	Адсорбент	Гидратланган оҳак	Оқартириш ҳарорати (^0C)
A	300.00	30.00	Саноат оқартирувчи тупроғи	4.00	110.00
B	300.00	20.00	Саноат оқартирувчи тупроғи	4.00	110.00
C	250.00	30.00	Саноат оқартирувчи тупроғи	4.00	110.00
D	300.00	30.00	Фаоллаштирилган гил	4.00	110.00
E	250.00	30.00	Фаоллаштирилган гил	4.00	110.00

Янги ёғнинг 40 0C да ёпишқоқлиги, сольиштирма оғирлиги ва умумий кислота сони (стандарт нав) мос равишда 58,98 сП, 0,960 ва 0,52, ишлатилган мой мос равишда 32,81 сП, 0,865 ва 0,66 ни ташкил қилади.

Беш хил формулалар ёғларни кимёвий (кислота билан ишлов бериш) ва фильтрлаш билан даволаш орқали қайта тикланди, бу ёғнинг ёпишқоқлигини оширади.

ISSN 3030-3907

Бундан ташқари, мойни саноат оқартирувчи тупроқ ёки фаоллаштирилган углерод билан ишлов бериш унинг ёпишқоқлигини оширди.

Формулалар натижаларидан маълум бўлишича, А формуласи ёпишқоқлиги 400С, сольиштирма оғирлиги ва умумий кислота сони 53,16 сп, мос равишда 0,932 ва 0,54 бўлган стандарт турдаги мойлаш мойи билан яхши таққосланган.

Б ва С формулалари кислота коньтсентратсиясининг саноат оқартирувчи тупроқ ёрдамида ишлатилган ёғнинг қайта тикланишига таъсирини аниқлаш учун ўтказилди ва кислота коньтсентратсиясининг пасайиши билан регенератсияц қилинган ёғнинг функтсионал хусусиятлари стандарт билан яхши таққосланмаслиги кузатилди. Натижа яна шуни кўрсатадики, регенератсияц қилинган мойнинг ёпишқоқлиги, сольиштирма оғирлиги, Б формуласининг умумий кислоталар сони 41,23 сП, 0,884, 0,64 ва 39,94 сП, С формуласи учун 0,882, 0,62, Д формуласи учун эса 37,80 қийматга эга бўлган. сП. 0,880, 0,61 ва мос равишда Э формуласи 40,41 сП, 0,883 ва 0,59 эди. Ушбу натижаларни стандарт нав (янги ёғ) формуласи билан сольиштирганда, ижобий таққосланди.

Ишлатилган ёғнинг вискозитесини камайтириш, мойлаш мақсадига хизмат қилганда, ёғнинг термал ёрилиши ёки деградатсиясига боғлиқ бўлиши мумкин. Термик ёрилиш маҳсулоти, ҳосил бўлган углерод бўлаклари нефтьнинг молекуляр оғирлигининг пасайишига олиб келди, бу эса ҳароратнинг кўтарилиши натижасида ёғнинг ёпишқоқлигини пасайтирди.

Қайта тикланган мой ишлатилган мойга қараганда ёпишқоқроқ эди, чунки кимёвий моддалар билан ишлов бериш ва фильтрлаш натижасида молекуляр тузилмалар бузилмайди.

Қайта тикланган мой ҳар қандай юқори навли мой билан аралаштирилганда ўзининг ёпишқоқлигини сақлаб қолиши мумкин. Янги, ишлатилган ва регенератсияц қилинган ёғларнинг зичлиги ва сольиштирма оғирлиги аниқланди ва олинган қийматлар нефтьни кимёвий моддалар билан қайта ишлаш ҳамда ёғни оқартириш ва фильтрлаш натижасида қайта тикланган мойнинг сольиштирма оғирлиги яхшиланганлигини кўрсатди.

Бундан ташқари, кислота сони қанча паст бўлса, мойнинг барқарорлиги шунчалик юқори бўлади. Кислота водород сулфиди, алифатик кислота ва мерэкаптанларнинг мавжудлиги билан боғлиқ бўлиши мумкин. Ушбу бирикмалар мойлаш мойини қайта тиклашдан кейин кам миқдорда мавжуд. Янги ёғнинг кислота сони ишлатилган ва қайта тикланган ёғга қараганда паст эди. Ишлатилган мойни кимёвий моддалар билан

ISSN 3030-3907

даволаш кислота сонини камайтиради. Сабаби, оқартириш жараёнида саноат оқартириш тупроқ ёки фаол углерод гидратланган оҳак (CaO) билан биргаликда ишлатилган. Булар кислота сонининг мақбул қийматга камайишига олиб келган бўлиши мумкин.

Янги ёғнинг ранги сарғиш яшил, ишлатилган ёғнинг ранги эса жуда қуюқ эди. Ишлатилган ёғнинг қорайиши термал ёрилиш пайтида кичик углерод бўлакларининг шаклланишига, шунингдек, термал оксидланиш ва коррозия маҳсулотларига боғлиқ бўлиши мумкин. Ёғ бензиннинг тўлиқ ёнмаслиги натижасида юзага келадиган куйикиш билан ифлосланган бўлиши мумкин.

А формуласидан қайта тикланган мойнинг ранги яхши эди. Саноат оқартирувчи тупроқ фаоллаштирилган углеродга қараганда яхшироқ адсорбент эканлиги кузатилди. Айтиш мумкинки, ишлатилган двигатель мойини скамейкали шкалада қайта тиклаш жуда мумкин, уни саноат даражасига кўтариш мумкин.

ХУЛОСАЛАР

Олинган тажриба натижасида ишлатилган двигатель мойи бошқариладиган шароитларда дастгоҳ шкаласида қайта тикланиши мумкин.

Формула А 400С да ёпишқоқлиги, ўзига хос оғирлиги ва умумий кислота сони стандарт навга яқин бўлган саноат оқартирувчи тупроқ ёрдамида қайта тикланган мойнинг яхшироқ сифатини кўрсатди. Бундан ташқари, саноат оқартирувчи тупроқ билан оқартириш фаоллаштирилган углеродга қараганда яхшироқ қайта тикланган ишлатилган мойни кўрсатади. Шундай қилиб, А формуласидан фойдаланган ҳолда қайта тикланган ишлатилган мой автомобильда қўллаш учун қулай деган хулосага келиш мумкин.

REFERENCES

1. Udonne J. D (2011). A comparative study of recycling of used lubrication Oils using distillation, acid and activated charcoal with clay methods, Journal of Petroleum and Gas Engineering Vol. 2 (2), pp. 12-19

2. Concawe(1985).The collection, Disposal and Regeneration of waste oil and related Materials Concawe Report" . No. 85 /53

3. Ogbeide, S. O. (2011) An Investigation To The Recycling Of Spent Engine Oil Journal of Engineering Science and Technology Review 3 (1) (2010) 32-35

4. Susan P. C, Annual Book of American Society For Testing And Materials (ASTM), Volume 05.01, Page 565 – 588, 2269 -2288, Donna Fishes Printers USA 1997.

5. T. Y Chemicals, Handbook on Research Work on Chemistry Technology and Theory of White Mineral Oil Production; Page 1-18, Kachia Road, Kaduna 1990

ISSN 3030-3907

6. Mennoil Lube Oil Blending Plant, Handbook on Research Work On Chemistry of Lubricating Oil, page 3 -15, Kachia Road Kaduna 1991.
7. James R. G, Reclamation of Used Lubricating Oil Page 180 -280, USA 967.
8. Cooke, V. B (19 82) " The Role of Additive in th e Automobile Industry,ASLE..
9. Zambiri S., Regeneration of used lubricating oil Chemical Engineering Department ABU Zaria 1988.

ISSN 3030-3907

ANDIJON SUV OMBORI ATROFINI TOPOGRAFIK-GEODEZIK TA'MINLASH HAQIDA

Baxtiyorova D.
O'zbekiston Milliy universiteti, Universitet ko'chasi 4-uy
Mirmahmudov E.R.
O'zbekiston Milliy universiteti, Universitet ko'chasi 4-uy
Abjaparova D.A.
O'zbekiston Milliy universiteti, Universitet ko'chasi 4-uy
Toktosunov J.
O'zbekiston Milliy universiteti, Universitet ko'chasi 4-uy
Toshkent 100174, O'zbekiston
E-mail: ndilim.1996@gmail.com

Annotatsiya. Andijon suv ombori Farg'ona vodiysidagi eng yirik gidrotexnik inshootlardan biri bo'lib, sug'orish, suv ta'minoti hamda toshqinlardan himoyalanish uchun strategik ahamiyatga ega. Ushbu obyektning asosiy o'ziga xos jihati — suvni ushlab turuvchi inshoot konstruksiyasidir. U uzunligi 850 metr va maksimal balandligi 119,7 metr bo'lgan massiv-kontrofors turdagi bosimli beton to'g'ondan iborat bo'lib, O'zbekiston gidrotexnik inshootlari orasida o'xshashi yo'qdir. Respublikadagi boshqa yirik suv omborlari to'g'onlari asosan grunt materiallardan qurilgan. Bu esa geodezik nazoratning o'ziga xosligini belgilaydi: beton to'g'on tanasi harorat deformatsiyalari, poydevorning notekis cho'kishi hamda seysmik ta'sirlarga uchraydi. Ushbu holatlarni aniqlash yuqori aniqlikdagi instrumental kuzatuvlarni talab etadi.

Kalit so'zlar: Andijon suv ombori, topografik-geodezik ta'minot, geodezik monitoring, GNSS texnologiyalari, davlat geodezik tarmog'i, WGS-84, SK-42 koordinatalar tizimi, raqamli relyef modeli, nivelirlash, masofadan zondlash, GIS texnologiyalari, gidrotexnik inshootlar.

Abstract. The Andijan Reservoir is one of the largest hydraulic engineering structures in the Fergana Valley and has strategic importance for irrigation, water supply, and flood protection. The main distinguishing feature of this facility is its water-retaining structure. It consists of a massive buttress-type concrete dam with a length of 850 meters and a maximum height of 119.7 meters, which is unique among hydraulic structures in Uzbekistan. Unlike this dam, most other large reservoirs in the country are constructed primarily from earth-fill materials. This determines the specific requirements for geodetic control: the concrete dam body is subject to thermal deformations, uneven foundation settlement, and seismic impacts. Detecting these processes requires high-precision instrumental observations.

ISSN 3030-3907

Keywords: Andijan Reservoir, topographic and geodetic support, geodetic monitoring, GNSS technologies, state geodetic network, WGS-84, SK-42 coordinate system, digital terrain model, leveling, remote sensing, GIS technologies, hydraulic structures.

Аннотация. Андижанское водохранилище является одним из крупнейших гидротехнических сооружений Ферганской долины и имеет стратегическое значение для орошения, водоснабжения и защиты от наводнений. Основной отличительной особенностью данного объекта является его водоудерживающая конструкция. Она представляет собой массивно-контрфорсную бетонную плотину длиной 850 метров и максимальной высотой 119,7 метра, не имеющую аналогов среди гидротехнических сооружений Узбекистана. В отличие от неё, большинство других крупных водохранилищ республики имеют плотины, сооружённые преимущественно из грунтовых материалов. Это определяет специфику геодезического контроля: тело бетонной плотины подвержено температурным деформациям, неравномерной осадке основания и сейсмическим воздействиям. Выявление этих процессов требует проведения высокоточных инструментальных наблюдений.

Ключевые слова: Андижанское водохранилище, топографо-геодезическое обеспечение, геодезический мониторинг, GNSS-технологии, государственная геодезическая сеть, система координат WGS-84, система координат СК-42, цифровая модель рельефа, нивелирование, дистанционное зондирование Земли, ГИС-технологии, гидротехнические сооружения.

KIRISH.

Andijon suv ombori atrofidagi topografik-geodezik ta’minot 1970–1990-yillarda yaratilgan bo‘lib, o‘shandan buyon tizimli ravishda yangilanmagan. Shu bilan birga, qirg‘oq hududi relyefi, sohil chizig‘i hamda geodezik tarmoq punktlarining holati sezilarli darajada o‘zgargan.

Andijon to‘g‘oni O‘zbekistondagi yagona beton kontroforsli gidrotexnik inshoot hisoblanadi. Shu sababli uning tanasi va poydevoridagi deformatsiyalarni doimiy yuqori aniqlikda geodezik monitoring qilish zarur, biroq hozirgi vaqtda bunday monitoring yetarli darajada olib borilmayapti.

Davlat geodezik tarmog‘i punktlarining katta qismi yo‘qolgan yoki o‘nlab yillar davomida tekshirilmagan. Shu bois, ushbu hududning barcha topografik-geodezik ta’minotini zamonaviy GIS texnologiyalari, sun’iy yo‘ldosh geodeziyasi hamda masofadan zondlash usullarini qo‘llagan holda kompleks tarzda o‘rganish va yangilash zarurati yuzaga kelmoqda.

ADABIYOTLAR TAHLILI.

ISSN 3030-3907

Andijon suv ombori atrofidagi hududning asosiy qismini Farg‘ona va Olay tizma tog‘larining tog‘ oldi massivlari hamda tarmoqlari tashkil etadi. Bu yerda uzoq davom etgan geofizik va geologik jarayonlar natijasida shakllangan turli relyef shakllari jamlangan.

Mutlaq balandliklarning katta farqi, tog‘ tizmalarning kenglik bo‘ylab cho‘zilganligi hamda relyefning kuchli parchalanganligi ushbu hududda balandlik bo‘yicha iqlim mintaqalanishini yuzaga keltiradi.

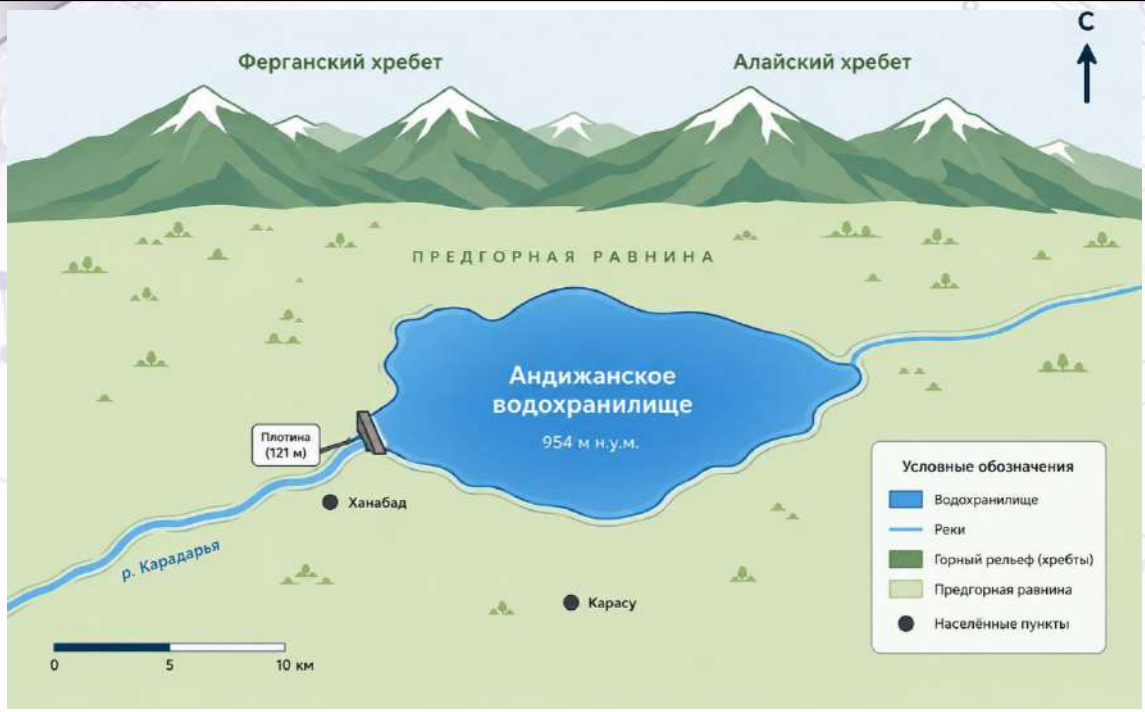


1-rasm. Andijon suv ombori (Norma.uz sayti) Andijon suv ombori

Davom etayotgan tog‘ hosil bo‘lish jarayonlari bilan bog‘liq faol tektonik harakatlar va seysmik hodisalar Farg‘ona botig‘ining yuqori seysmik faolligini belgilaydi [1]. Hozirgi kungacha ham bu hududda tog‘ jarayonlari davom etib, ular ko‘chki, tog‘ o‘pirilib tushishi hamda sel oqimlari bilan kuzatilmoqda [2].

Relyef xususiyatlariga ko‘ra, suv ombori atrofi tog‘li, tog‘ oldi va tekislik hududlaridan iborat bo‘lib, yuzasi notekis xarakterga ega hamda sharqdan g‘arbga tomon asta-sekin pasayib boradi (2-rasm).

ISSN 3030-3907



2-rasm. Andijon suv ombori hududining umumiy sxemasi (rasm muallif tomonidan ishlab chiqilgan)

Bunday sharoitlarda topografik suratga olish ishlarini amalga oshirish sezilarli texnik qiyinchiliklar va katta moliyaviy xarajatlar bilan bog‘liq [3]. Shunga qaramay, alohida muhim gidrotexnik inshootlar joylashgan tog‘li va tog‘ oldi hududlarida dala geodezik ishlari barcha me’yoriy talablar hamda yo‘riqnomalarga qat’iy rioya qilingan holda bajariladi.

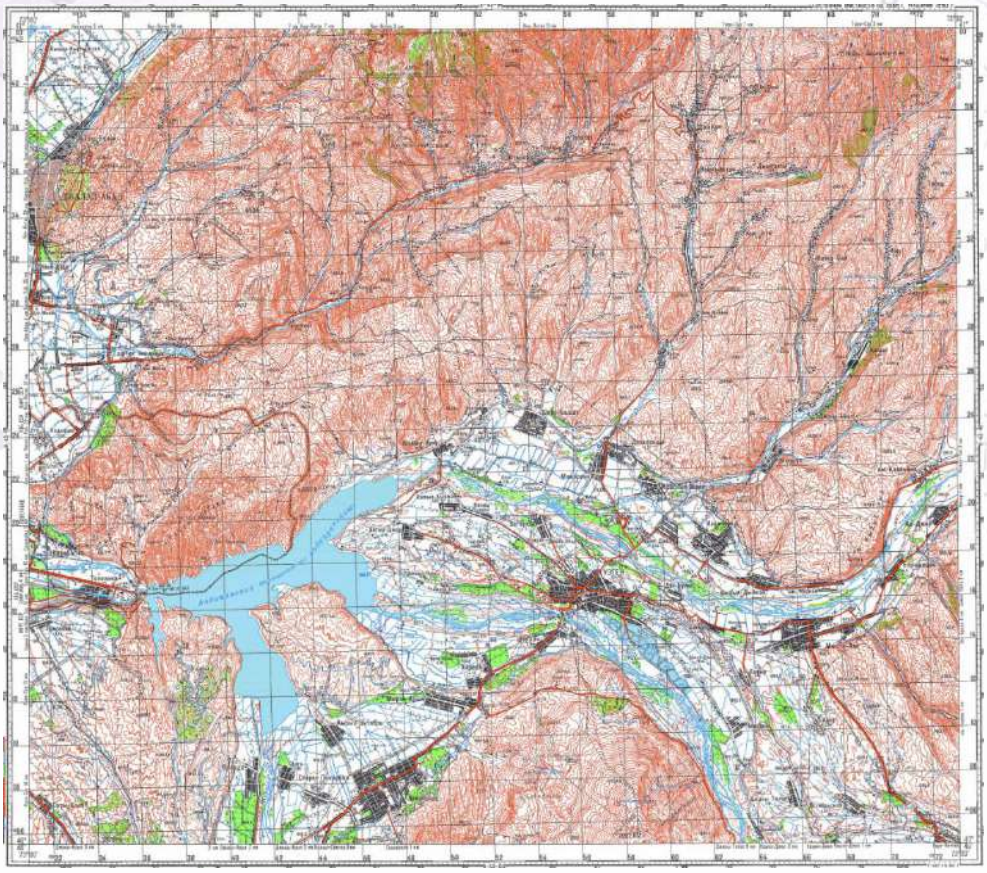
Mazkur hudud orqali davlatlararo chegaralar, magistral irrigatsiya kanallari o‘tganligi hamda strategik ahamiyatga ega gidrotexnik inshootlar mavjudligi sababli, taxeometrik suratga olish va sun’iy yo‘ldosh geodezik o‘lchovlarining ahamiyati yanada ortadi.

Tog‘li hududlarda olib boriladigan bunday ishlar geodezik tarmoq punktlari koordinatalarini hamda topografik xaritalarning matematik asoslarini aniqlashtirishda muhim va dolzarb hisoblanadi [5].

XX asr boshlarida O‘rta Osiyo hududi uchun Bessel (1841) referens-ellipsoidi yuzasiga keltirilgan SK-32 koordinatalar tizimi joriy etilgan. Keyinchalik TSNIIGAiK tomonidan yanada aniqroq bo‘lgan Krasovskiy referens-ellipsoidi ishlab chiqildi va uning parametrlari SK-42 koordinatalar tizimining, shuningdek topografik xaritalarni tuzishning matematik asosiga aylandi (3-rasm).

Global navigatsion sun’iy yo‘ldosh tizimlari (GNSS) joriy etilishi bilan milliy koordinatalar tizimlaridan xalqaro WGS-84 tizimiga koordinatalarni transformatsiya qilish zarurati yuzaga keldi. Bu esa hudud topografik xaritalarining matematik asos parametrlarini aniqlashtirishni talab etdi [6].

ISSN 3030-3907



3-rasm. Dastlabki kartografik material fragmenti — 1:100 000 masshtabdagi Bosh shtab topografik xaritasi (K-43-111 nomenklatura varag‘i)

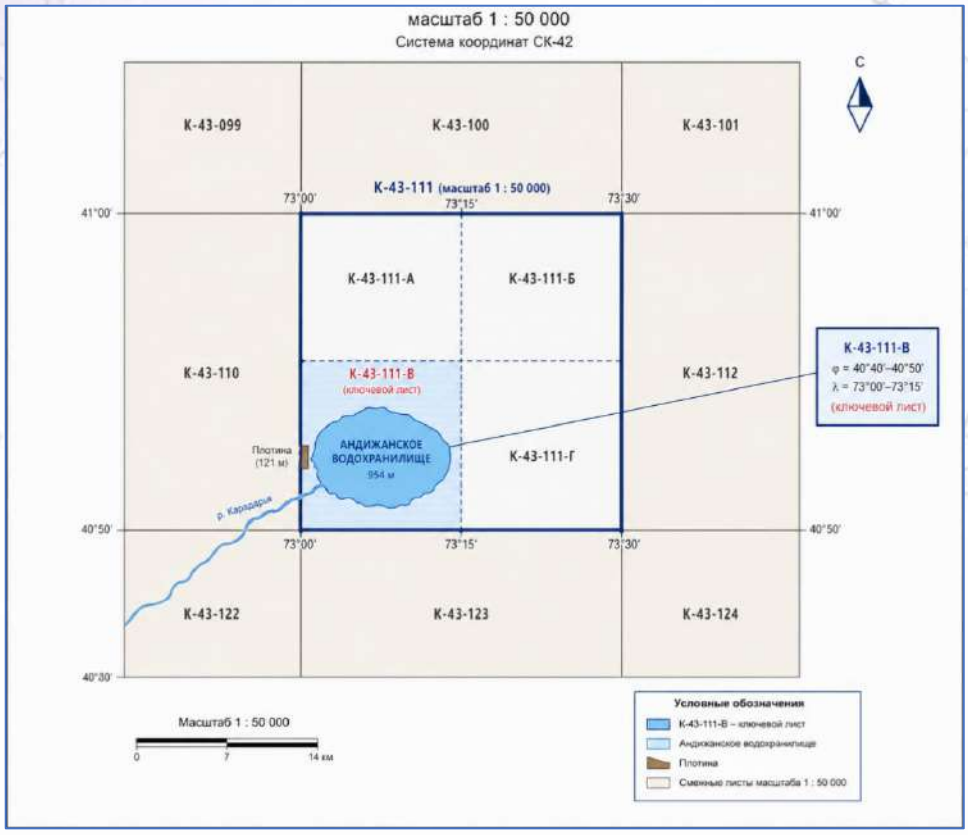
Andijon suv ombori hududi φ = 40°42′ – 40°50′ shimoliy kenglik va λ = 73°00′ – 73°14′ sharqiy uzunlik koordinatalari oralig‘ida joylashgan.

Topografik xaritalarning razgrafka va nomenklatura tizimiga ko‘ra, ushbu hudud million masshtabli K-43 varag‘i tarkibiga kiradi. 1 : 100 000 masshtabda suv ombori atrofi hududini to‘liq qamrab olish uchun beshta trapetsiya varag‘i talab etiladi: K-43-099, K-43-110, K-43-111, K-43-112 va K-43-123. Bunda asosiy varaq K-43-111 (φ = 40°40′ – 41°00′, λ = 73°00′ – 73°30′) suv ombori akvatoriyasini to‘liq qamrab oladi (3-rasm).

1 : 50 000 masshtabda hudud 4 ta trapetsiya varag‘iga bo‘linadi. Ularning ichida asosiy varaq K-43-111-V hisoblanib, u φ = 40°40′ – 40°50′ va λ = 73°00′ – 73°15′ koordinata chegaralariga ega bo‘lib, tadqiqot hududi chegaralariga to‘liq mos keladi (4-rasm).

Davlat geodezik tarmog‘i punktlarining geodezik va to‘g‘ri burchakli koordinatalari, direksion burchaklari, azimutlari hamda orientirlash yo‘nalishlari geodezik tarmoqning maxsus katalogida keltiriladi [7].

ISSN 3030-3907



4-rasm. Andijon suv omborining 1 : 50 000 masshtabdagi trapetsiyalarda joylashuvi (K-43-111 va unga tutash varaqlar ajratib ko‘rsatilgan)

XX asr oxirlarida hududda asosan Krasovskiy referens-ellipsoidi asosidagi SK-42 koordinatalar tizimidan keng foydalanilgan. Turli masshtabdagi topografik xaritalar Gauss-Kryuger proyeksiyasida, hududni olti gradusli zonalarga bo‘lish asosida tuzilgan.

Global navigatsion sun’iy yo‘ldosh tizimlari (GNSS) joriy etilishi bilan milliy koordinatalar tizimlaridan xalqaro WGS-84 tizimiga koordinatalarni transformatsiya qilish zarurati yuzaga keldi. Bu esa hudud topografik xaritalarining matematik asos parametrlarini aniqlashtirishni talab qildi [3].

Davlat geodezik tarmog‘i (GGT)ning Andijon suv ombori atrofidagi tizimi I–III klass triangulyatsiya punktlari, I–IV klass nivelirlash reperlari hamda syomka asoslash tayanch nuqtalarini o‘z ichiga oladi.

Mazkur punktlarning katta qismi 1960–1980-yillarda barpo etilgan bo‘lib, ularning koordinatalari aniqligi va barqarorligini instrumental usulda qayta tekshirish talab etiladi [8]. Ayniqsa, tog‘li va yetib borish qiyin bo‘lgan hududlarda joylashgan punktlarni qidirish hamda rekognostsirovka qilish murakkab vazifa hisoblanadi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Andijon suv ombori atrofini topografik-geodezik ta’minlash bir-biri bilan bog‘liq bir necha komponentlarni o‘z ichiga oladi:

an’anaviy geodezik tarmoq;

ISSN 3030-3907

turli masshtabdagi topografik xaritalar;
Yer masofadan zondlash (DZZ) ma’lumotlari;
GPS kuzatuvlari natijalari;
batimetrik materiallar [9].

1-jadvalda tadqiqot hududini to‘liq qamrab olish uchun zarur bo‘lgan topografik xaritalar nomenklatura varaqlarining umumlashtirilgan ro‘yxati keltirilgan.

1-jadval

Andijon suv ombori hududining topografik xaritalari nomenklatura varaqlari yig‘ma jadvali

Masshtab	Varaqlar nomenklaturasi	Varaqlar soni	Hudud qamrovi
1 : 1 000 000	K-43	1	Butun Farg‘ona vodiysi
1 : 500 000	K-43-V	1	Vodiyning sharqiy qismi
1 : 200 000	K-43-XXXV K-43-XXXVI	2	Suv ombori hududi
1 : 100 000	K-43-099 K-43-110 K-43-111 K-43-112 K-43-123	5	Suv ombori atrofi
1 : 50 000	K-43-111-A K-43-111-B K-43-111-V K-43-111-G	4	Qirg‘oqbo‘yi hududi
1 : 25 000	Alohida varaqlar	16	Gidrouzel hududi

An’anaviy ravishda trapetsiyalar razgrafkasining asosi sifatida tomonlari uzunlik bo‘yicha 6° va kenglik bo‘yicha 4° bo‘lgan 1 : 1 000 000 masshtab qabul qilingan. Andijon suv ombori atrofi K-43 varag‘i hududida joylashgan.

Barcha topografik xaritalar Krasovskiy referens-ellipsoidi asosida Gauss–Kryuger proyeksiyasida tuzilgan. Suv ombori hududidagi xaritalarni yangilash ishlari 1975–1993-yillarda O‘zbekiston Respublikasining 12-sonli aerogeodeziya korxonasi tomonidan amalga oshirilgan. Shundan buyon kartografik materiallar muntazam ravishda yangilanmagan bo‘lib, bu ularni qayta aktuallashtirish zaruratini yuzaga keltirmoqda.

Davlat geodezik tarmog‘i (GGT) punktlari koordinatalarini aniqlashtirish maqsadida 2024-yilda ikki chastotali ko‘p kanalli GNSS qabul qilgichi yordamida

ISSN 3030-3907

dala o‘lchov ishlari bajarildi. Ushbu qurilma bir vaqtning o‘zida GPS, GLONASS va Galileo tizimlari signallarini qabul qilish imkoniyatiga ega.

O‘lchovlar statik rejimda olib borilib, har bir punktda kuzatuv sessiyasi davomiyligi kamida 60 daqiqani tashkil etdi. Boshlang‘ich ma’lumot sifatida O‘zbekiston CORS tarmog‘ining doimiy faol referens stansiyalari koordinatalaridan foydalanildi [11] (5-rasm).



5-rasm. Suv ombori monitoringi va CORS stansiyalari bilan bog‘lanish sxemasi

GNSS o‘lchovlari natijalarini qayta ishlash Leica Geo Office dasturiy majmuasida sun’iy yo‘ldosh orbitasining aniq efemeridalari yordamida bajarildi.

Koordinatalarni WGS-84 tizimidan SK-42 tizimiga qayta hisoblash O‘zbekiston hududi uchun qabul qilingan transformatsiya parametrlari asosida Gelmert usuli (7 parametrli o‘zgartirish) yordamida amalga oshirildi.

Davlat geodezik tarmog‘i (GGT) punktlarini rekognostsirovka qilish ishlari portativ GNSS navigatorlari va yuqori aniqlikdagi (0,5 m/piksel) zamonaviy kosmik suratlar yordamida olib borildi.

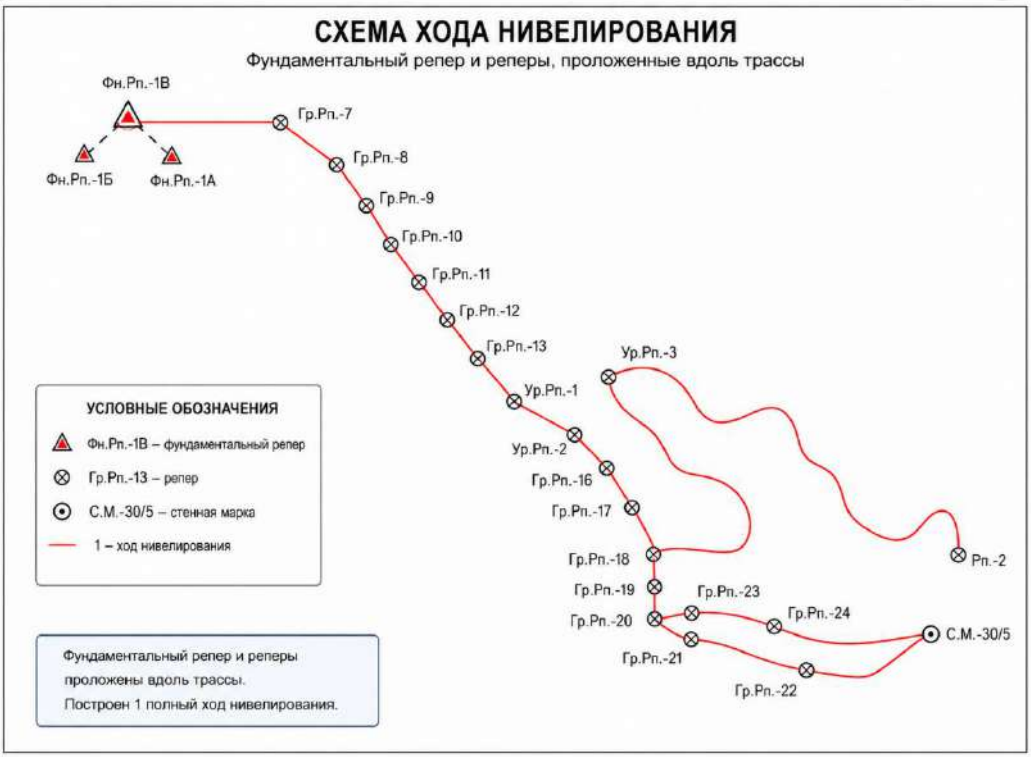
I va II razryadli nivelirlash ishlari Trimble DiNi 03 (seriya raqami № 738966, Germaniya) raqamli niveliri hamda juft geodezik invar reyka yordamida oldinga va orqaga yo‘nalishlarda bajarildi [13].

Toq stansiyalarda kuzatuv tartibi — BFFB, juft stansiyalarda esa — FBBF shaklida olib borildi.

ISSN 3030-3907

I razryadli nivelirlash yuqori byef to‘g‘oni grebeni bo‘ylab fundamental reperlar orasida bitta yopiq yo‘l orqali bajarildi. II razryadli nivelirlash esa quyi byef markalari bo‘ylab ikkita yopiq yo‘l shaklida amalga oshirildi.

Nivelirlash yo‘llari sxemasi 6-rasmda keltirilgan. Nivelirlash bo‘yicha asosiy texnik talablar esa 2-jadvalda berilgan.



6-rasm. Geodezik belgilar va nivelirlash yo‘llarining joylashuv sxemasi (Andijon suv omborining o‘ng qirg‘og‘i)

2-jadval

I va II razryad nivelirlash ishlariga qo‘yiladigan texnik talablar

Parametr	I razryad	II razryad
Nurning maksimal uzunligi, m	30	50
Nurning o‘rtacha uzunligi, m	20	40
Nurning yer yuzasidan balandligi (me’yor), m	≥ 0.8	≥ 0.5
Stansiyadagi yelkalar tengsizligi, m	≤ 0.5	≤ 1.0
Seksiyalar bo‘yicha tengsizlik yig‘indisi, m	≤ 1.0	≤ 2.0
Reyka bo‘yicha sanoqning o‘rta kvadratik xatosi (SKO), mm	0.10	0.14
Ikki o‘lchov farqi uchun ruxsat etilgan chetlanish, mm	0.2	0.3
Yo‘lning ruxsat etilgan bog‘lanmasligi	$0.3\sqrt{n}$	$0.5\sqrt{n}$

Nivelirlash yo‘llari uchun ruxsat etilgan bog‘lanmaslik qiymatlari quyidagi formulalar asosida hisoblandi: I razryad uchun

$$f=0.3n$$

ISSN 3030-3907

II razryad uchun esa

$$f=0.5n$$

bu yerda n — stansiyalar soni [14].

Dala materiallarini qayta ishlash Microsoft Excel hamda CREDO-DAT dasturiy komplekslarida amalga oshirildi.

Kameral qayta ishlash quyidagi bosqichlarni o‘z ichiga oldi:

invar reykalarning harorat deformatsiyasi uchun tuzatmalar kiritish;

punktlar balandliklari ведомостlarini tuzish;

ikki martalik o‘lchov natijalari asosida aniqlikni baholash.

XULOSA VA TAVSIYALAR.

Andijon suv ombori atrofini topografik-geodezik ta’minlash bo‘yicha keltirilgan ma’lumotlar quyidagilarni ko‘rsatadi.

Andijon to‘g‘oni O‘zbekistondagi uzunligi 875 m va balandligi 119,7 m bo‘lgan yagona massiv-kontroforsli beton gidrotexnik inshoot hisoblanadi. Bu esa respublikadagi boshqa barcha grunt to‘g‘onli suv omborlariga nisbatan geodezik nazorat aniqligi va davriyligiga mutlaqo alohida talablarni qo‘yadi.

Hududning 1975–1993-yillarda O‘zbekiston Respublikasining 12-sonli aerogeodeziya korxonasi tomonidan yaratilgan topografik-geodezik materiallari shu vaqtgacha tizimli ravishda yangilanmagan.

Suv omborining qirg‘oq chizig‘i, qirg‘oqbo‘yi hududi relyefi hamda davlat geodezik tarmog‘i (GGT) punktlari holati sezilarli darajada o‘zgargan bo‘lsa-da, bu o‘zgarishlar amaldagi kartografik materiallarda aks etmagan.

2024-yilda bajarilgan nazorat GNSS o‘lchovlari va ularni Leica Geo Office dasturiy kompleksida qayta ishlash natijalari SK-42 tizimidagi ayrim tayanch punktlar koordinatalari zamonaviy aniqlik talablariga javob bermasligini hamda ularni qayta aniqlash zarurligini tasdiqladi.

Suv ombori hududi $\varphi = 40°42' – 40°50'$ shimoliy kenglik va $\lambda = 73°00' – 73°14'$ sharqiy uzunlik koordinatalari oralig‘ida joylashgan bo‘lib, u 1 : 100 000 masshtabdagi beshta va 1 : 50 000 masshtabdagi to‘rtta xarita varag‘i bilan qamrab olinadi. Ularning ichida asosiy varaq K-43-111-V hisoblanadi.

Mazkur barcha materiallarni Yer masofadan zondlashning zamonaviy usullari va sun’iy yo‘ldosh geodeziyasi texnologiyalari asosida yangilash zarur.

Mavjud davlat geodezik tarmog‘i (DGT) punktlari, masofadan zondlash (DZZ) ma’lumotlari va GNSS kuzatuvlari natijalari yagona zamonaviy koordinatalar tizimiga keltirilmagan bo‘lib, bu suv ombori hududi uchun fazoviy raqamli yer yuzasi modelini yaratishda jiddiy qiyinchiliklarni yuzaga keltiradi.

Tabiiyki, topografik-geodezik ta’minotning bunday holati quyidagi tavsiyalarni amalga oshirish zaruratini keltirib chiqaradi:

ISSN 3030-3907

— suv ombori atrofidagi barcha DGT punktlarini GNSS texnologiyalari yordamida rekognossirovka qilish va instrumental nazoratdan o‘tkazish, yo‘qolgan geodezik belgilarni tiklash;

— qirg‘oqbo‘yi hududining 1:5 000 masshtabdagi yangi yirik masshtabli topografik suratga olinishini BPLA (uchuvchisiz uchish apparatlari) yordamidagi aerofotosuratga olish va yer usti taxeometrik nazorati asosida bajarish;

— SRTM ma’lumotlari, nivelirlash yo‘llari va GNSS o‘lchovlarini birgalikda qayta ishlash asosida WGS-84 tizimida yagona raqamli relyef modelini (RRM) yaratish hamda uni milliy SK-42 koordinatalar tizimiga transformatsiya qilish;

— to‘g‘on tanasi va qirg‘oqbo‘yi yonbag‘irlarining deformatsiyalarini kuzatish uchun yiliga kamida bir marta o‘lchashlar o‘tkaziladigan doimiy geodezik monitoring tizimini tashkil etish;

— barcha DGT punktlari va kartografik materiallarni xalqaro WGS-84 tizimi bilan bog‘langan yagona zamonaviy koordinatalar tizimiga keltirish.

Istiqbolda Andijon suv omborining topografik-geodezik monitoringi bo‘yicha yer usti geodezik o‘lchovlari, sun’iy yo‘ldosh geodeziyasi ma’lumotlari va Yerning masofadan zondlash natijalarini integratsiyalovchi kompleks dastur ishlab chiqish maqsadga muvofiqdir.

Yuqorida sanab o‘tilgan tadbirlarning amalga oshirilishi Andijon gidrouzelining gidrotexnika inshootlari hamda mintaqadagi boshqa obyektlarni loyihalash, qurish va xavfsiz ekspluatatsiya qilish uchun ishonchli plan-balandlik asosini yaratadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Kushtarov B.A. Farg‘ona vodiysi geodezik tarmoqlarining aniqligini baholash. — Toshkent: ToshDTU, 2005. — 180 b.
2. Mirmakhmudov E.R., Abjaparova D.A., Tashbaltayeva Sh.B. va boshqalar. Ayusay qishlog‘i atrofidagi ko‘chki xavfi mavjud yonbag‘irning geofizik tadqiqotlari // E3S Web of Conferences. — 2024. — 590, 03007. — B. 1–8.
3. 1:5 000 – 1:500 masshtablarda topografik suratga olish bo‘yicha yo‘riqnoma (GKINP-02-033-82). — Moskva: Nedra, 1982.
4. Zakatov P.S. Oliy geodeziya kursi. — Moskva: Nedra, 1976. — 511 b.
5. Lurye I.K. Geoinformatsion kartografiyalash. Geoinformatika usullari va kosmik suratlarni raqamli qayta ishlash. — Moskva: KDU, 2008. — 424 b.
6. Mirmakhmudov E.R. GNSS asosida O‘zbekiston topografik xaritalarining koordinata tizimini modifikatsiya qilish // Coordinates. — 2017. — XIII jild, № 4. — B. 7–12.
7. ShNQ 1.02.18-09. Geodezik tayanch tarmog‘i. Qoidalar to‘plami. — Toshkent: O‘zgeodezkadastr, 2009.

ISSN 3030-3907

8. «Gidrotexmonitoring» MChJ. Andijon suv ombori to‘g‘onida olib borilgan muhandislik-geodezik kuzatuvlar natijalari bo‘yicha I MG-1-25-sonli texnik hisobot. — Toshkent, 2025.
9. Shukina O., Muborakov Kh., Ruziev A. va boshqalar. O‘zbekistonda yirik masshtabli topografik xaritalarni yaratishda raqamli fotogrammetriyadan foydalanish // International Journal of Geoinformatics. — 2022. — 18-jild, № 1.
10. Torge W. Geodeziya. 3-nashr. — Berlin: Walter de Gruyter, 2001. — 416 b.
11. Reigber C. va boshqalar. Markaziy Osiyodagi deformatsiyalar taqsimotiga GPS cheklovlari // Terra Nostra. — 1999. — № 127.
12. Leica Geo Office dasturi. Foydalanuvchi qo‘llanmasi. Versiya 8.4. — Heerbrugg: Leica Geosystems, 2018.
13. Trimble DiNi 03 raqamli niveliri. Foydalanuvchi qo‘llanmasi. — Sunnyvale: Trimble Navigation, 2012.
14. I, II, III va IV klass nivelirlash bo‘yicha yo‘riqnoma. — Moskva: Nedra, 1990.

ISSN 3030-3907

DALA MAYDONIDA SENSOR TUGUNLARINI JOYLASHTIRISH MODELI

Jo‘rayev Mansurbek Mirkomilovich
FarDTU Dasturiy injiniring va kiberxavfsizlik kafedrasi katta o‘qituvchisi
E-mail: jurayevmansurbek99@gmail.com

Annotatsiya. IoT sensorlarini samarali joylashtirish asosiy muammo hisoblanadi, chunki u birinchi navbatda IoT tarmog‘ining ishlashini belgilaydi. Sug‘orish paytida tuproqda namlikni haddan ziyod ortishi, sug‘orishlar orasidagi vaqtning uzoqligi tuproq qurib ketishiga sabab bo‘ladi va o‘simlikni suvsiz qoldiradi. Bunday tizimlarning markaziy muammolaridan biri - tugunlarni maydonga ratsional joylashtirishdir. Tugunlar to‘g‘ri va ilmiy asoslangan holda joylashtirilsa, tizimning qamrovi to‘liq bo‘ladi, energiya sarfi kamayadi va real vaqt monitoring yuqori aniqlikda amalga oshiriladi.

Kalit so‘zlar: tugun, sug‘orish, joylashtirish, IoT, simsiz tarmoq, qamrov.

Аннотация. Эффективное размещение датчиков IoT является ключевым вопросом, поскольку оно в первую очередь определяет производительность сети IoT. Избыточная влажность почвы во время полива, длительные интервалы между поливами приводят к высыханию почвы и оставляют растения без воды. Одной из центральных проблем таких систем является рациональное размещение узлов на поле. Если узлы размещены правильно и научно обоснованно, охват системы будет полным, энергопотребление снизится, а мониторинг в реальном времени будет осуществляться с высокой точностью.

Ключевые слова: узел, полив, размещение, IoT, беспроводная сеть, охват.

Abstract. Effective placement of IoT sensors is a key issue, as it primarily determines the performance of the IoT network. Excessive soil moisture during irrigation, long intervals between irrigations cause the soil to dry out and leave the plant without water. One of the central problems of such systems is the rational placement of nodes in the field. If the nodes are placed correctly and scientifically, the coverage of the system will be complete, energy consumption will be reduced, and real-time monitoring will be carried out with high accuracy.

Keywords: node, irrigation, placement, IoT, wireless network, coverage.

KIRISH.

IoT sensorlarini samarali joylashtirish asosiy muammo hisoblanadi, chunki u birinchi navbatda IoT tarmog‘ining ishlashini belgilaydi. Fermerlar o‘z xo‘jaligining istalgan hududi uchun suvning to‘g‘ri taqsimlanishiga ishonch hosil qilishlari mumkin. Sug‘orish paytida tuproqda namlikni haddan ziyod ortishi, sug‘orishlar orasidagi vaqtning uzoqligi tuproq qurib ketishiga sabab bo‘ladi va o‘simlikni suvsiz qoldiradi. Raqamli texnologiyalar jadal rivojlanayotgan hozirgi

ISSN 3030-3907

davrda qishloq xo‘jaligini avtomatlashtirish va resurslardan samarali foydalanish dolzarb masalaga aylangan. Xususan, simsiz sensor tarmoqlari yordamida avtomatik monitoring va sug‘orish tizimlarini yaratish orqali suv, energiya va ishchi kuchini tejalishi mumkin. Bunday tizimlarning markaziy muammolaridan biri - tugunlarni maydonga ratsional joylashtirishdir. Tugunlar to‘g‘ri va ilmiy asoslangan holda joylashtirilsa, tizimning qamrovi to‘liq bo‘ladi, energiya sarfi kamayadi va real vaqt monitoring yuqori aniqlikda amalga oshiriladi.

ADABIYOTLAR TAHLILI. Tuproq namligi sensorlari qishloq xo‘jaligi yerlarining suvga bo‘lgan ehtiyojini aniqlash uchun tadqiqotlarda qo‘llaniladi [1]. Datchiklar tomonidan olingan ma’lumotlar qaysi hududlarni sug‘orish kerakligini aniqlash uchun ishlatiladi, shuning uchun suv sarfini kamaytiradi. Bu yerda muammo qancha datchiklardan foydalanish kerakligini va sensorlar qayerda joylashganligini aniqlashdir. Ushbu ikki parametr sensorga asoslangan mintaqaviy sug‘orish tizimining samaradorligi va narxiga ta’sir qiladi. Sensor tugunining boshqa sensor tuguni yoki markaziy tugunga ulanishi sensor tarmog‘i deb ataladi. Simsiz sensor tarmog‘i odatda mintaqasida joylashtirilgan ko‘plab simsiz qurilmalardan iborat bo‘lib, ularning har biri atrof-muhit haqidagi ma’lumotlarni to‘plash, qayta ishlash va qo‘shni qurilmalar bilan aloqa qilish imkoniyatiga ega [2]. Sensor tarmoqlari odatda miqdorni o‘lchashni talab qiladigan ilovalar uchun tanlanadi. Raqamlar va joylashuv ichki/tashqi ilovalar uchun eng muhim masaladir. Ushbu muammo tadqiqotchilar tomonidan evolyutsion optimallashtirish algoritmlariga asoslangan qarorlarni qo‘llab-quvvatlash tizimidan foydalanish orqali hal qilinadi. WSN bo‘yicha ko‘plab tadqiqotlar doimiy ravishda ma’lumotlarni jo‘natish/qabul qilish, tizimning ishlash muddatini oshirish, kelish vaqtini optimallashtirish va sensorli tugunlar sonini kamaytirish kabi ma’lum parametrlarga qaratilgan. Shunday qilib, sensorni joylashtirish va sensorlar soni WSNlarni o‘rganishning asosiy maqsadiga erishish uchun hal qilinishi kerak bo‘lgan muhim masalalardir [3]. Ushbu tadqiqotda yerning bir xil qismlarini haqiqiy namlik ma’lumotlari bilan aniqlash uchun bir hil sug‘orish nuqtai nazaridan sensorni joylashtirish o‘rganiladi. Sug‘orish miqdori bir hil sug‘orishni olish uchun ko‘rib chiqilgan turli xil parametrlarga (masalan, namlik, harorat, tuproq xususiyatlari va daraxtning) ta’sir qiladi.

Kaliforniya universiteti (UCLA) olimlari tomonidan olib borilgan tadqiqotda sensor tugunlari qamrovini matematik jihatdan tahlil qilishga bag‘ishlangan. Mualliflar sensor tugunlarni maydonda joylashtirishda “eng yaxshi qamrov yo‘li” algortimni taklif qilishgan[4]. Tugunlar *Voronoi diagrammasi* asosida joylashtiriladi, har bir sensor uchun qo‘shni tugunlar bilan chegaralanuvchi hududlar Voronoi ko‘pburchaklari shaklida aniqlanadi. Ushbu

ISSN 3030-3907

yondashuvda har bir P(x, y) nuqtasi eng eng kamida bitta sensor tomonidan kuzatilishi shart deb faraz qilinadi.

AQSh olim Ian Akyildiz va hammualliflar [5] uchta sensor tugunlarini joylash paradigmasini ko‘rib chiqishgan bo‘lib, 1) Deterministik joylashda tugunlar oldindan hisoblangan koordinatalarga qo‘lda yoki robotlar yordamida o‘rnatiladi. 2) tasodifiy joylashda tugunlar maydon bo‘ylab tasodifiy tarzda joylanadi, katta maydonlar uchun qulay ammo qamrov kafolatlanmaydi. 3) gibrid joylashtirishda tasodifiy joylashtirilgan tugunlardan so‘ng mobil to‘ldiruvchi tugunlar qo‘llanilgan. Mualliflar energiya samaradorligi uchun klaster ierarxik arxitekturani tavsiya qilgan maydondagi oddiy tugunlar klaster boshliqlari orqali bosh tugunga ma’lumotlar yuboriladi.

Ispaniyaning Valensiya Politexnika Universiteti tadqiqotchilari apelsin bog‘lari va sabzavot dalalarida haqiqiy dala tajribasini o‘tkazishgan [6]. Tugunlar uch xil balandlikda joylashtirilgan. 1) yerga tegib turadigan tuproq namligini bevosita o‘lchash uchun sensorlar joylashtirishgan ammo o‘simlik poyalari signal zaiflashuvini oshiradi. 2) yerga yaqin signal sifati va namlik o‘lchovi o‘rtacha muvozanatda bo‘ladi. 3) yerdan bir metr balandda signal sifati eng yuqori ammo tuproq namligini aniq o‘lchash samaradorligi past bo‘ladi. Tugunlar to‘rtburchak shaklda, orasidagi masofa 10-30 metr oralig‘ida o‘zgartirib sinab ko‘riladi. Zich bo‘lgan o‘simlik qatorlarida signal ~15-20 dB zaiflashgani kuzatilgan. Xususan, to‘siqlar sensor signalini so‘nishi modelining amaliy asoslanishini ko‘rsatishgan.

Xitoyning Guangxi Fan-texnologiya universiteti olimi Yinjun Zhang moslashuvchan oltiburchak shaklda tugunlarni joylashtirish modelini taqdim etadi [7]. Ushbu modelda har bir tugun uning olti qo‘shnisiga teng masofada joylashtirishni ta’minlaydi. Bu modeldagi asosiy yangilik moslashuvchan chastota sakrash tarqalish spektri (Adaptive Frequency-Hopping Spread Spectrum, AFHSS) mexanizmi tugunlar atmosfera shovqini, metallkontruksiyalar yoki boshqa to‘siqlar tufayli signal sifati pasayganda avtomatik tarzda chatota kanalini almashtiradi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI. Amaliyotda simsiz sensor tarmoqni loyihalashda kuzatuv maydonlarida to‘siqlar(binolar, uskunalar, texnik obyektlar) bo‘lishi mumkin. Bunday sharotida sensor tugunlarini samarali joylashtirish uchun to‘siqlarni hisobga oluvchi algoritm talab etiladi. Yer maydonining eni va bo‘yi mos ravishda *L* va *W* o‘lchamli to‘rtburchak maydonda to‘siq mavjud holda oltiburchak shaklida sensor tugunlarini joylashtirish masalasi ko‘rib chiqiladi. Masalani sharti quyidagicha: 1) maydon: to‘g‘riburchak shaklda bo‘ladi. 2) sensor: tugunining qamrovi *r*, qo‘shni tugunlar orasidagi eng katta masofa ham *r* ga teng. 3) To‘siq: bitta aylana shakldagi to‘siq, markazi va radiusi berilgan. Sensor tugunlari to‘siq ichiga yoki unga tegib joylashtirilmaydi. (x_o, y_o) - to‘siq

ISSN 3030-3907

markazining koordinatalari, R_o - to‘siq radiusi, N - joylashtirilgan sensor tugunlarini soni.

Shu o‘rinda to‘siqlar haqida. To‘siqlar (masalan: daraxtlar, binolar, metall konstruksiyalar) – simsiz sensor tarmoqlari va ayniqsa IoT tizimlarida signal tarqalishiga sezilarli ta’sir qiluvchi omillardan biridir. Ular signalni so‘ndiradi, aks ettiradi, singdiradi, yo‘naltiradi. 1-jadvalda to‘siqlarni turi, ularning tavsifi va signalga ta’siri keltirilgan.

1-jadval.

To‘siqlar tasnifi

To‘siqlar turi	Tavsifi	Signalga ta’siri
Daraxtlar	Bargli yoki ignabargli daraxtlar	Signalni so‘ndiradi, namlik ko‘p bo‘lsa, so‘nish koeffitsent ortadi
Binolar	G‘sht, beton, metall	Signalni yutadi yoki to‘sib qo‘yadi, ayniqsa metall
Yerdagi notekisliklar	Qiya yer, tepalar, sug‘orish kanallari	Radio to‘lqin yo‘nalishini o‘zgartiradi
O‘simliklar	Qo‘ng‘ir bargli ekinlar, toklar va boshqalar	Namlikka qarab signalni susaytiradi

Sizmsiz sensor tarmoqlarida signalning tarqalishi muhitning fizik xususiyatlariga sezilarli darajada bog‘liq bo‘ladi. Ayniqsa, qishloq xo‘jaligi maydonlarida radio signalning zaiflashuvi tuproq turi, uning namligi, zichligi hamda dielektrik o‘tkazuvchanligiga qarab o‘zgaradi. Signalning so‘nish darajasi odatda α bilan belgilanadigan signal yo‘qotish koeffitsiyenti orqali ifodalanadi va u radio to‘lqinlarning muhitda tarqalish modelida asosiy parametr hisoblanadi. Tadqiqotlarga ko‘ra, qumli va quruq tuproqlarda signalning so‘nishi nisbatan kichik, loy yoki nam tuproqlarda esa signal kuchliroq yutiladi.

Tuproq tarkibidagi suv miqdori ortishi bilan elektr o‘tkazuvchanlik ham oshadi, bu esa radio signalning qo‘shimcha yo‘qolishiga olib keladi. Shu sababli, simsiz sensor tugunlarini joylashtirishda tuproq turiga bog‘liq signal zaiflashuvi koeffitsiyentini hisobga olish tarmoq qamrovini to‘g‘ri aniqlash va aloqa barqarorligini ta’minlash uchun muhim hisoblanadi. Ushbu yondashuv radio to‘lqinlarning tarqalish nazariyasi hamda simsiz sensor tarmoqlarini loyihalash bo‘yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlarda keng qo‘llaniladi. Tuproqning fizik xususiyatlari simsiz signal tarqalishiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi [8]. Masalan: qumli $\alpha = 1.1$, loyqa $\alpha = 1.5$, gil $\alpha = 1.3$.

Sensor tugunlarini eng ixcham va bir tekis taqsimlash uchun oltibuchak (asalari uyasi) shakli sxemasi qo‘llaniladi. Bu sxema bir xil qamrov radiusidagi

ISSN 3030-3907

kvadrat panjara bilan solishtirilganda taxminan 13.4% kam tugun bilan maydonni to‘liqroq qamrab oladi [9].

Sensor tugunlarining gorizontal va vertikal qadamlari:

$$x = r \quad (2.1)$$

$$y = (\sqrt{3}/2) \cdot r \approx 0.866 \cdot r \quad (2.2)$$

bu yerda; r – tugunlar orasidagi ulanish masofasi. (2.2) – formuladagi koeffitsient $\sqrt{3}/2$ teng tomonli uchburchakdan kelib chiqadi.

Oltiburchakli panjaradan foydalanishni taklif qiluvchi ushbu joylashtirish usuli sensor tugunlarini panjara ichidagi hisoblangan koordinatalarga strategik joylashtirishni o‘z ichiga oladi. Har bir sensor tugunlarining koordinatalari (i, j) indekslari bo‘yicha yer maydonining oxigacha takrorlanadi va keyin quyida keltirilgan formulalarni qo‘llash orqali aniqlanadi [10]. Quyidagi formulalar yordamida sensor tugunlari maydon chegarasidan $\frac{r}{2}$ masofada joylashtiriladi, bu esa qamrov hududining tashqi chegaradan chiqib ketmasligini ta’minlaydi.

$$x = \begin{cases} r * j + \frac{r}{2}\ bo‘ladi, agar\ i\ juft\ bo‘lsa \\ r * j + r\ bo‘ladi, agar\ i\ toq\ bo‘lsa \end{cases} \quad (2.3)$$

$$y = i * \frac{\sqrt{3}}{2} * r + \frac{r}{2} \quad (2.4)$$

Bu yerda, x va y sensor tugunlarining Dekart koordinatalarini bildiradi, i va j esa oltiburchakning qatorlar va ustunlardagi o‘rnini ko‘rsatadi. Natijaviy hisoblash iteratsiylar shaklida bajariladi va hisoblangan koordinatalar sensor tugunlarining muvozanatli taqsimlanishini ta’minlab, oltiburchakli panjara ichida qamrov va ulanuvchanlik optimallashadi.

Qator va ustun sonlari:

$$N_qator = L / y,\ N_ustun = W / x \quad (2.5)$$

Maydon chegara sharti. Generatsiya qilingan har bir (x, y) koordinata juftligi berilgan maydonning ichida ekanligini tekshirish uchun quyidagi shart qo‘llaniladi:

$$0 \le x < W\ va\ 0 \le y < L \quad (2.6)$$

Shart bajarilmagan tugunlar ya’ni maydon tashqarisiga chiqib ketuvchi tugunlar ro‘yhatga kiritilmaydi.

To‘siqdan qochish sharti. Aylana shaklidagi to‘siq markazi $O(x_o, y_o)$ va radiusi R_o bilan berilgan. $P(x, y)$ nuqatasidagi potensial sensor tugundan to‘siq markazigacha bo‘lgan Evklid masofasi:

$$d(P, O) = \sqrt{(x - x_o)^2 + (y - y_o)^2} \quad (2.7)$$

Sensor tugunni joylashtirish mumkin bo‘lish sharti:

$$d(P, O) > R_o \quad (2.8)$$

ISSN 3030-3907

Ya’ni tugun markazi to‘siq doirasining tashqarisida bo‘lishi shart. Ushbu model to‘siqning sensor signalini to‘liq bloklashi holatini aks ettiradi. Agar to‘siq qisman o‘tkazuvchan bo‘lsa, (2.8) –formuladagi R_o o‘rniga kengaytirilgan radiusi $R_o + r/2$ ishlatiladi (xavfsizlik chegarasi bilan) [5].

Qamrov samaradorligi koeffitsienti. Maydonning sensor tugunlar tomonidan qoplanish ulushi quyidagi formular bilan baholanadi:

$$\eta = (N \cdot \pi \cdot r^2)/(W \cdot L) \qquad (2.9)$$

N-joylashtirilgan tugunlar soni, $\pi \cdot r^2$-bir tugunning qamrov yuzasi. Amalda $\eta > 1$ bo‘lishi mumkin, chunki qamrov doiralari bir-birini qisman qoplaydi, bu esa to‘liq qamrovni kafolatlash uchun zaruriy shart hisoblanadi [12].

Ushbu ilmiy ishda dala maydonining shakl (uchburchak, to‘rtburchak, oltiburchak) va mavjud to‘siqlar (masalan: daraxt, inshoot, texnik yo‘llari) hisobga olingan holda tugunlarni joylashtirish algoritmi ishlab chiqildi. Algoritm blok sxema ko‘rinishda ifodalangan bo‘ib to‘siqli zonalarni ajratib, faqat erkin zonalarga tugun joylashtirishni ko‘zda tutadi. Bu esa umumiy qamrovni maksimal darajada oshirishga xizmat qiladi.

2-jadval.

Taklif etilayotgan modelni taqqoslanish jadvali

Xususiyat	**Meguerdichian**	**Akyildiz**	**García**	**Zhang**	**BIZNING MODEL**
Heksagonal panjara	~ Voronoi	~ Nazariy	Yo‘q	Ha	**Ha (x=r, y=√3/2·r)**
To‘siq hisobi	~ Voronoi	Yo‘q	~ O‘simlik	Ha (AFHSS)	**Ha, d(P,O)>Ro**
Chegara masofasi	Yo‘q	Yo‘q	Yo‘q	Yo‘q	**Ha, sozlanuvchi**
Aniq tugun soni	Taxminiy	Taxminiy	Eksperimental	Simulyatsiya	**Ha, dasturiy aniq**
Ekin koeffitsienti	Yo‘q	Yo‘q	Yo‘q	Yo‘q	**Ha, parametr**

ISSN 3030-3907

Tuproq turi hisobi	Yo‘q	Yo‘q	Qisman	Yo‘q	**Ha, parametr**

Yuqoridagi 2-jadvalda Ha-hususiyati to‘’liq amalga oshirilganligini, ~-qisman yoki bilvosita mavjudligini, Yo‘q-xususiyat butunlay yo‘qligini bildiradi.

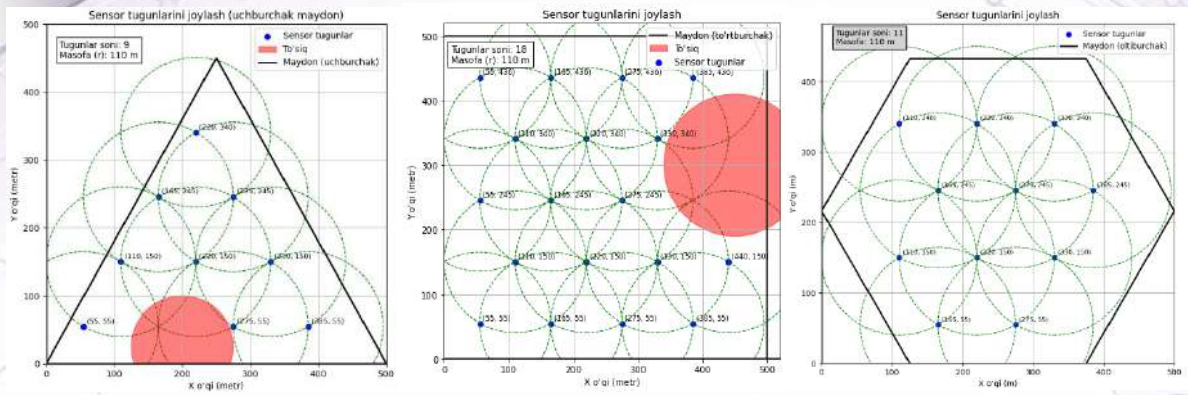
Ilmiy tadqiqolarda sensor tugunlarini joylashtirish masalasi ko‘pincha qamrov darajasi maksimal qilish, tugunlar sonini minimallashtirishga qaratilgan ko‘p maqsadli algoritmlar yordamida yechiladi. Masalan, [13]da simsiz tarmoqlarini joylashtirish jarayonida qamrov, energiya va ulanish samaradorligi kabi parametrlar asosiy mezonlar sifadida qaralgan. Biroq ushbu yondashuvlar ko‘pincha ideal monitoring hududi uchun ishlab chiqilgan bo‘lib, qishloq xo‘jaligi dalalarining real sharoitlarini to‘liq hisobga olmaydi. Taklif etilayotgan algoritmda esa sensor tugunlarini joylashtirish jarayoni dala maydonining geometrik shakli, to‘siqlar koordinatalari tuproq turi hamda ekinlarning suvga bo‘lgan talabi kabi omillar ham hisobga olingan. Natijada sensor tugunlarining joylashuvi qishloq xo‘jaligi monitoring tizimlari uchun yanada aniq va samarali bo‘ladi hamda suv tejamkor sug‘orish tizimini boshqarishda ishonchli ma’lumotlar olish imkonini beradi.

MUHOKAMA VA NATIJALAR. Sensor tugunlarini joylashtirish uchun ishlab chiqilgan algoritmning ishlash chiqilgan bo‘lib. unda yer maydonining shakli, o‘lchami, tugun qamrov radiusi va aloqa masofasi kabi parametrlari asosida hisoblash bosqichlari ko‘rsatilgan. Algoritm kirish ma’lumotlari asosida monitoring hududini qamrab olish uchun zarur bo‘lgan sensor tugunlar koordinatalarini aniqlaydi.

Ushbu algoritmning maqsadi, tugunlarning sonini minimallashtirish, butun maydonni qamrab olish. To‘siqlar $O_j = (x_j, y_j, R_j)$ aylana shaklida bo‘ladi. Oxirgi qadamda natija vizual ko‘rinishdagi koordinatalar belgilab beriladi. Ushbu algoritm IoT asosida suv tejamkor sug‘orishda yer naydonlariga tugunlarni joylashtirish vazifasini bajaradi. Yer maydoni uchburchak, to‘rtburchak yoki oltiburchak shaklida bo‘lishi mumkin. Maydon ichida doira shaklda va o‘lchamdagi to‘siqlar mavjud bo‘lishi ehtimoli ham hisobga olingan.

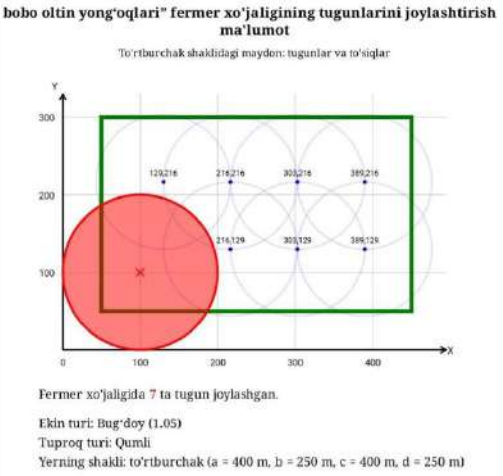
1-rasmdagi qizil rang bilan belgilangan sohalar to‘siqlar mavjud bo‘lgan hududlarni bildiradi. Ushbu to‘siqlar signal tarqalishiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkinligi sababli, algoritm tugunlarni joylashtirishda bu hududlarni hisobga olgan holda optimal nuqtalarni tanlaydi. Natijada sensor tugunlar to‘siqlar bilan keishmaydigan va maksimal qamrovni ta’minlaydigan tarzda joylashtirilgan.

ISSN 3030-3907



1-rasm. Uchburchak, to‘rtburchak va oltiburchak shaklidagi maydonga tugunlar joylashtirilgan.

Ushbu 1-rasmda algoritm sensor tugunlarning qamrov radiusi va aloqa masofasini hisobga olgan holda tugunlarning koordinatalarni aniqlaydi. Ko‘rsatilgan natijalar ishlab chiqilgan algoritm uchburchak, to‘rtburchak va oltiburchak shakllardagi murakkab hududlarni ham sensor tugunlarini samarali joylashtira olishini, qamrovning to‘liqligini ta’minlashini hamda to‘siqlar mavjud bo‘lgan sharoitda ham tarmoqning uzluksiz ishlashini kafolatlashini ko‘rsatadi. Ushbu yondashuv IoT asosidagi masofadan monitorig tizimlarida, xususan, qishloq xo‘jaligi maydonlarini nazorat qilishda samarali qo‘llanishi mumkin.



2-rasm. Suv tejamkor sug‘orish tizimida tugunlarning joylashtirish mobil ilovasi.

Dastur oddiy sensor joylashtirishdan farqli ravishda fermer xo‘jaligi kontekstiga moslashtirilgan ekin turi va tuproq turi kabi agrar parametrlarni hisobga oladi. Bu esa sensor joylashuvini o‘sha yerning fizik xususiyatlariga qarab avtomatik optimallashtiriladi. Rasmda katta qizil doira mavjud bo‘lishiga qaramasdan, dastur sensor tugunlarini faqat to‘siq tashqarisidagi hududga joylashtirilgan 7 ta tugun taqsimlangan. Bu holatda yuqoridagi formulalar asosida avtomatik amalga oshirilganligi tizimning intellektual jihatini ko‘rsatadi. Tugunlarning oltiburchak sxema ko‘rinishda joylashtirilgani, kvadrat panjara

ISSN 3030-3907

bilan solishtirganda bir xil kafolatida taxminan 13.4% kam tugun talab qiladi, natijada iqtisodiy tejamkorlik ta’minlanadi. Natijada to‘g‘ridan-to‘g‘ri mobil qurilmada vizual tarzda chiqarilgan foydalanuvchi murakkab hisob-kitoblarsiz maydon o‘lchamlarini kiritsa, to‘siqlar joylashuvini belgilasa, dastur avtomatik tugunlani joylashuvini hisoblab, xarita ustida ko‘rsatiladi. Har bir tugunning koordinatasi bevosita grafik ustida yozilgan bo‘lib, bu dala sharoitida tugunlarni aniq joylashtirish imkonini beradi. Ekin koeffitsienti, tuproq turi va maydon shakli alohida parametr sifatida berilgan bo‘lib, bu dasturni turli ekin va tuproq turlari uchun qayta sozlash imkonini beradi. Kelajakda yangi parametrlar qo‘shish ham mumkin.

Taqdim etilgan mobil dastur an’anaviy sensor joylashtirishdan bir necha muhim jihati bilan ustun turadi va real fermerlik sharoitini hisobga oladi. Oltiburchak panjara shaklida joylashtirish samaradorligidan foydalanadi va natijani foydalanuvchi sodda vizual ko‘rinishda taqdim etadi. Ushbu yondashuv suv tejamkor sug‘orish tizimi sohasida IoT sensor tarmoqlarini loyihalash uchun ilmiy va amaliy jihatdan puxta asoslangan yechim hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Dursun M, Ozden S (2011) A wireless application of drip irrigation automation supported by soil moisture sensors. Sci Res Essays 6(7):1573–1582
2. Domingo-Perez F, Lazaro-Galilea JL, Wieser A, Martin-Gorostiza E, Salido-Monzu D, de la Llana A (2016) Sensor placement determination for range-difference positioning using evolutionary multi-objective optimization. Expert Syst Appl 47:95–105. doi:10.1016/j.eswa.2015.11.008
3. Jousselme AL, Sabourin R, Gagnon F (2015) A dominance-based stepwise approach for sensor placement optimization. Appl Soft Comput 28:466–482. doi:10.1016/j.asoc.2014.11.051
4. Meguerdichian, S., Koushanfar, F., Potkonjak, M., & Srivastava, M. B. (2001). Coverage problems in wireless ad-hoc sensor networks. Proceedings IEEE INFOCOM 2001: Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Society, 3, 1380–1387. https://doi.org/10.1109/INFCOM.2001.916633
5. Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: A survey. Computer Networks, 38(4), 393–422. https://doi.org/10.1016/S1389-1286(01)00302-4
6. García, L., Parra, L., Jimenez, J. M., Parra, M., Lloret, J., Mauri, P. V., & Lorenz, P. (2021). Deployment strategies of soil monitoring WSN for precision agriculture irrigation scheduling in rural areas. Sensors, 21(5), 1693. https://doi.org/10.3390/s21051693

ISSN 3030-3907

7. Zhang, Y. (2024). An adaptive hexagonal deployment model for resilient wireless sensor networks in precision agriculture. Scientific Reports, 14(1), 24078. https://doi.org/10.1038/s41598-024-75571-2
8. John O. Curtis. Electromagnetic Power Attenuation in Soils. Environmental Laboratory U.S. Army Engineer Research and Development Center 3909 Halls Ferry Road Vicksburg, MS 39180-6199
9. Meguerdichian S. et al. "Coverage Problems in Wireless Ad-hoc Sensor Networks" // Proc. IEEE INFOCOM 2001. — B. 1380–1387. https://doi.org/10.1109/INFCOM.2001.916633
10. An adaptive hexagonal deployment model for resilient wireless sensor networks in precision agriculture. ZhangYinjun. Scientific Reports | (2024) 14:24078 https://doi.org/10.1038/s41598-024-75571-2. https://www.nature.com/srep/
11. Cardei M., Du D.-Z. "Improving Wireless Sensor Network Lifetime through Power Aware Organization" // *Wireless Networks*, 2005, Vol. 11, No. 3. — B. 333–340. https://doi.org/10.1007/s11276-005-6615-6.
12. Soumaya Ferhat Taleb, Nour El-Houda Benalia. *Wireless sensor network deployment optimization for a smart farming application: comparison of two Multi-Objective Evolutionary Algorithms.* ENP Engineering Science Journal, Vol. 3, No. 2, 2023. DOI: https://doi.org/10.53907/enpesj.v3i2.226

KORROZIYAGA CHIDAMLI YANGI KOMPOZIT MATERIALLARDAN ISSIQLIK ALMASHISH QURILMASI ISHLAB CHIQISH

M.X. Ismailov

Namangan davlat texnika universiteti, Oziq-ovqat texnologiyalari kafedrasi katta o‘qituvchisi

E-mail: imirzaakbar@gmail.com.

Annotatsiya. Ushbu maqolada korroziyaga chidamli kompozit materiallar — SiC/Al (30% va 50% SiC), PTFE/grafit va epoksid/TiO_2 — asosida issiqlik almashish qurilmasini (IAQ) ishlab chiqishning ilmiy asoslari taqdim etilgan. Sinov natijalari va ularning tahlili bayon qilingan. 50% SiC to‘ldirgichli SiC/Al kompoziti issiqlik uzatish koeffitsientini an'anaviy po‘lat 316L ga nisbatan 33.3% ga oshirib, korroziya tezligini 0.001 mm/yilga tushirishini tajriba isbotlagan. Hayot sikli tahlili ushbu yechimning 20 yil davomida 29.5% iqtisodiy tejamkorlik berishini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: Kompozit materiallar, issiqlik almashish qurilmasi, SiC/Al, PTFE/grafit, epoksid/TiO_2, korroziya chidamliligi, issiqlik uzatish koeffitsienti.

Аннотация. В данной статье представлены научные основы разработки теплообменника (ТЭ) на основе коррозионностойких композитных материалов — SiC/Al (30% и 50% SiC), PTFE/графит и эпоксидная смола/TiO_2. Описаны результаты испытаний и их анализ. Экспериментально доказано, что композит SiC/Al с 50% наполнителем SiC увеличивает коэффициент теплопередачи на 33,3% по сравнению с обычной сталью 316L и снижает скорость коррозии до 0,001 мм/год. Анализ жизненного цикла показал, что данное решение обеспечивает экономию средств в размере 29,5% за 20 лет.

Ключевые слова: Композитные материалы, теплообменник, SiC/Al, PTFE/графит, эпоксидная смола/TiO_2, коррозионная стойкость, коэффициент теплопередачи.

Abstract. This article presents the scientific basis for developing a heat exchanger (HE) based on corrosion-resistant composite materials—SiC/Al (30% and 50% SiC), PTFE/graphite, and epoxy resin/TiO_2. Test results and their analysis are described. Experiments have shown that the SiC/Al composite with 50% SiC filler increases the heat transfer coefficient by 33.3% compared to standard 316L steel and reduces the corrosion rate to 0.001 mm/year. A life cycle analysis showed that this solution provides cost savings of 29.5% over 20 years.

Keywords: Composite materials, heat exchanger, SiC/Al, PTFE/graphite, epoxy resin/TiO_2, corrosion resistance, heat transfer coefficient.

KIRISH.

Issiqlik almashish qurilmalari (IAQ) zamonaviy sanoatning ajralmas qismi bo‘lib, kimyo, neft-kimyo, energetika va oziq-ovqat sanoatida keng qo‘llaniladi. Ushbu qurilmalar agressiv muhitlarda — kislotali, ishqoriy va tuzli eritmalar ta'sirida — ishlashi sababli an'anaviy metall materiallar tez eskiradi va almashtirish tez-tez zarurati tug‘iladi.

Jahonda oziq-ovqat mahsulotlarini qayta ishlashda va ulardan yuqori ozuqaviy ko‘rsatkichlarini saqlab qolgan ekologik sof mahsulotlar ishlab chiqarishga katta e’tibor qaratilmoqda. Bu borada oziq-ovqat mahsulotlariga issiqlik ishlovi berish jarayonlarini takomillashtirish, energiya sarfi yuqori bo‘lgan jarayonlarni jumladan, xom ashyolarga birlamchi issiqlik ishlovi berish jarayotglarini jadallashtirish, texnologik jarayonlarda ishlatilayotgan issiqlik tashuvchilar ta’sirdi issiqlik yuzalarida hosil bo‘ladigan dashqol qatlamini kamaytirish orqali issiqlik almashinish qurilmalarining ixcham konstruksiyalari ishlab chiqarishga alohida e’tibor berilmoqda.

Issiqlik almashinish yuzasida hosil bo‘ladigan korroziya va dashqollar strukturasi bo‘yicha quyidagicha guruxlarga ajratilishi mumkin: qattiq (tuz, koks, zang), g‘ovakli va erkin (qurum, loy, koks changi). Korroziya va dashqolning issiqlik o‘tkazuvchanligi uning kimyoviy tarkibiga va g‘ovaklari ichida joylashgan suyuqlikning xossalariga bog‘liq bo‘ladi. G‘ovakli dashqolning termik qarshiligi qattiq turdagi dashqol qarshiligiga nisbatan yuqori bo‘ladi[1,2].

Oziq-ovqat sanoati korxonalaridagi sterilizatsiya, pasterizatsiya, bug‘latish, rektifikatsiya va boshqa issiqlik almashinish jarayonlarda hosil bo‘lgan korroziya va dashqolning termik qarshiligi oqim tezligining kamayishi, oqim haroratini ortishi, xomashyo zichligining ortishi, xomashyo tarkibidagi mexanik qo‘shimchalar miqdorining ortishi natijasida oshib boradi [2,3,4].

Dunyo bo‘yicha korroziya ta'siridan yiliga 2.5 trillion AQSh dollaridan ortiq iqtisodiy zarar ko‘riladi (NACE International, 2021). Bu zararning 30–40% bevosita issiqlik almashish apparatlari va quvurlar tizimiga to‘g‘ri kelishi muammoni yanada dolzarb qiladi. O‘zbekiston neft-kimyo va kimyo sanoatida ham shunga o‘xshash muammo kuzatilmoqda: sulfat kislotasi, ammiak eritmasi va galogenli muhitda ishlaydigan IAQ larning xizmat muddati odatda 8–12 yilni tashkil etadi (Mirzayev, 2019). [5].

Kompozit materiallar — ikki yoki undan ortiq tarkibiy qismdan tashkil topgan, har bir komponentning ustunlik xossalarini uyg‘unlashtiradigan materiallar — so‘nggi o‘n yilliklarda muhandislik ilmida inqilobiy o‘zgarishlar kiritdi. Metall matrisali kompozitlar (MMC), polimer matrisali kompozitlar (PMC) va keramika matrisali kompozitlar (CMC) yuqori mustahkamlik, engil vazn va agressiv muhitlarga chidamlilik jihatidan an'anaviy metallarga nisbatan sezilarli ustunlikka ega. [6,7].

ISSN 3030-3907

METODLAR.

2.1. Tadqiqot uchun quyidagi materiallar tanlandi va laboratoriya namunalari tayyorlandi:

- SiC/Al-30% — alyuminiy qotishmasi A356 matrisasiga 30% hajmiy SiC zarralar (o‘rtacha diametr d_{50} = 25 mkm) kiritilgan. Namunalar suyuq metallurgiya (stir casting) usulida 700°C da tayyorlandi va T6 termik ishlov berildi.
- SiC/Al-50% — yuqori to‘ldirgich konsentratsiyali variant; xuddi shu texnologiya bilan, ammo yuqori qovushoqlikni boshqarish uchun vakuumli aralashtirishdan foydalanildi.
- PTFE/grafit-25% — politraftoretilen matrisasiga 25% grafit tolalari (uzunlik ~200 mkm) kiritilgan. Issiqlik ostida presslash usuli: 370°C, 25 MPa, 2 soat.
- Epoksid/TiO_2-5% — ED-20 epoksid smolasi matrisasiga 5% TiO_2 nanobo‘lakchalar (o‘rtacha diametr ~20 nm) kiritilgan. Sol-gel usuli, 80°C da 12 soat davomida qattiqlashtirilgan.
- Po‘lat 316L — nazorat namunasi (GOST 5632-2014 bo‘yicha).

2.2. Laboratoriya sinovlari. Barcha namunalar ASTM va ISO standartlariga muvofiq quyidagi sinovlarga tortildi:

1. Issiqlik o‘tkazuvchanlik (λ) — lazer flesh usuli (LFA 457 MicroFlash, NETZSCH), 25°C dan 300°C gacha 50°C qadamlar bilan, har bir nuqtada 5 ta o‘lchov.
2. Korroziya sinovi — potensiostatik usul, uch muhitda: H_2SO_4 (10% wt.), NaOH (20% wt.), NaCl (3.5% wt.); harorat 25±2°C, davomiyligi 1000 soat; ASTM G5 bo‘yicha.
3. Mexanik mustahkamlik — cho‘zish sinovi ASTM E8/E8M bo‘yicha; egilish sinovi ASTM D790 bo‘yicha.
4. Issiqlik kengayish koeffitsienti (CTE) — dilatometr, ASTM E228 bo‘yicha, 25–200°C oralig‘ida.
5. Mikrotuzilish tahlili — skanerlash elektron mikroskopiyasi (SEM, JEOL JSM-7800F), EDS spektroskopiya.

2.3. Nazariy hisob asoslari. Kompozit materialning effektiv issiqlik o‘tkazuvchanligi Hashin-Shtrikman modeli bo‘yicha baholandi:

$$\lambda_eff = \lambda_m \cdot [1 + 3\varphi(\lambda_p - \lambda_m) / (\lambda_p + 2\lambda_m - \varphi(\lambda_p - \lambda_m))] \quad (1)$$

bu yerda λ_m — matritsa, λ_p — to‘ldirgich issiqlik o‘tkazuvchanligi; φ — to‘ldirgich hajmiy ulushi.

Umumiy issiqlik uzatish koeffitsienti U ning hisob ifodasi:

$$1/U = 1/h_1 + \delta/\lambda + R_f + 1/h_2 \quad (2)$$

ISSN 3030-3907

bu yerda h_1, h_2 — konvektiv issiqlik uzatish koeffitsientlari; δ — devor qalinligi; R_f — ifloslanish qarshiligi.

Bosim yo‘qotishi Darsi-Veysbach tenglamasi asosida hisoblandi:

$$\Delta P = f \cdot (L/D_h) \cdot (\rho u^2/2) \quad (3)$$

bu yerda f — ishqalanish koeffitsienti; L — uzunlik; D_h — gidravlik diametr; u — oqim tezligi. [8,9,10].

2.4. Pilot stend va IAQ konstruktsiyasi. Tadqiqot maqsadida ko‘p naycha-qobiq tipidagi model IAQ quruldi. Asosiy konstruktiv parametrlar: naycha tashqi diametri d = 25 mm, devor qalinligi δ = 2 mm; naychalar soni N = 48; qurilma uzunligi L = 1.5 m; ishlash bosimi P_max = 6 MPa; maksimal ishlash harorati T_max = 300°C. Issiq suyuqlik: o‘simlik moyi, 120°C; sovuq (agressiv) suyuqlik: 10% H_2SO_4 eritmasi, 25°C; ikkala oqim tezligi: 0.5 m/s. Sinovlar 1000 soat davom etdi.

III. NATIJALAR.

3.1. Materiallarning asosiy xossalari. O‘lchangan materiallarning issiqlik-fizik va korrozion xossalari 1-jadvalda keltirilgan. SiC/Al-50% namunadagi issiqlik o‘tkazuvchanlik 180–205 W/m·K ni tashkil etib, po‘lat 316L ga (16–21 W/m·K) nisbatan taxminan 10 marta yuqori bo‘ldi. PTFE/grafit esa eng past issiqlik o‘tkazuvchanlikka (5–10 W/m·K) ega bo‘lishiga qaramasdan, hamma muhitlarda korroziya belgilari aniqlanmadi (v_korr < 0.001 mm/yil).

1-jadval.

Tadqiqot qilingan materiallarning asosiy xossalari

Material	λ (W/m·K)	ρ (kg/m³)	Korroziya chidamliligi	T_max (°C)
Mis (Cu)	385	8960	O‘rta	≤ 200
Zanglamaydigan po‘lat 316L	16–21	7900	Yuqori	≤ 650
SiC/Al-30%	150–170	2820	Juda yuqori	≤ 400
SiC/Al-50%	180–205	2780	Juda yuqori	≤ 400
PTFE/grafit-25%	5–10	2200	A'lo	≤ 260
Epoksid/TiO_2-5%	3–8	1500	A'lo	≤ 180

Izoh: λ — issiqlik o‘tkazuvchanlik; ρ — zichlik; T_max — maksimal ishlash harorati.

ISSN 3030-3907

3.2. Pilot stend sinov natijalari. 1000 soatlik pilot stend sinovlarida olingan miqdoriy ko‘rsatkichlar 2-jadvalda aks ettirilgan.

2-jadval.

Pilot stend sinov natijalari (1000 soat, H_2SO_4 10% muhit, 25°C)

Namuna	v_korr (mm/yil)	U (W/m²·K)	ΔP (kPa)	Xizmat muddati (yil)
SiC/Al-30%	0.002	4850	12.3	> 20
SiC/Al-50%	0.001	5200	14.1	> 25
PTFE/grafit-25%	< 0.001	2100	8.7	> 30
Epoksid/TiO_2-5%	< 0.001	1850	7.2	> 15
Po‘lat 316L (nazorat)	0.050	3900	10.5	10–15

Izoh: v_korr — korroziya tezligi; U — umumiy issiqlik uzatish koeffitsienti; ΔP — bosim yo‘qotish.

SiC/Al-50% namunadagi qurilma eng yuqori issiqlik uzatish koeffitsientini (U = 5200 W/m²·K) namoyish etdi — bu po‘lat nazoratiga (3900 W/m²·K) nisbatan 33.3% ko‘pdir. [12,13].Shu bilan birga, korroziya tezligi 0.001 mm/yil bo‘lib, xizmat muddati 25 yildan oshadi deb bashorat qilindi.

3.3. Hayot sikli iqtisodiy tahlili. 20 yillik hayot sikli davomida to‘liq xarajatlar tahlili (LCCA) natijalari 3-jadvalda keltirilgan. Barcha qiymatlar po‘lat 316L narxiga nisbatan normallashtirilgan.

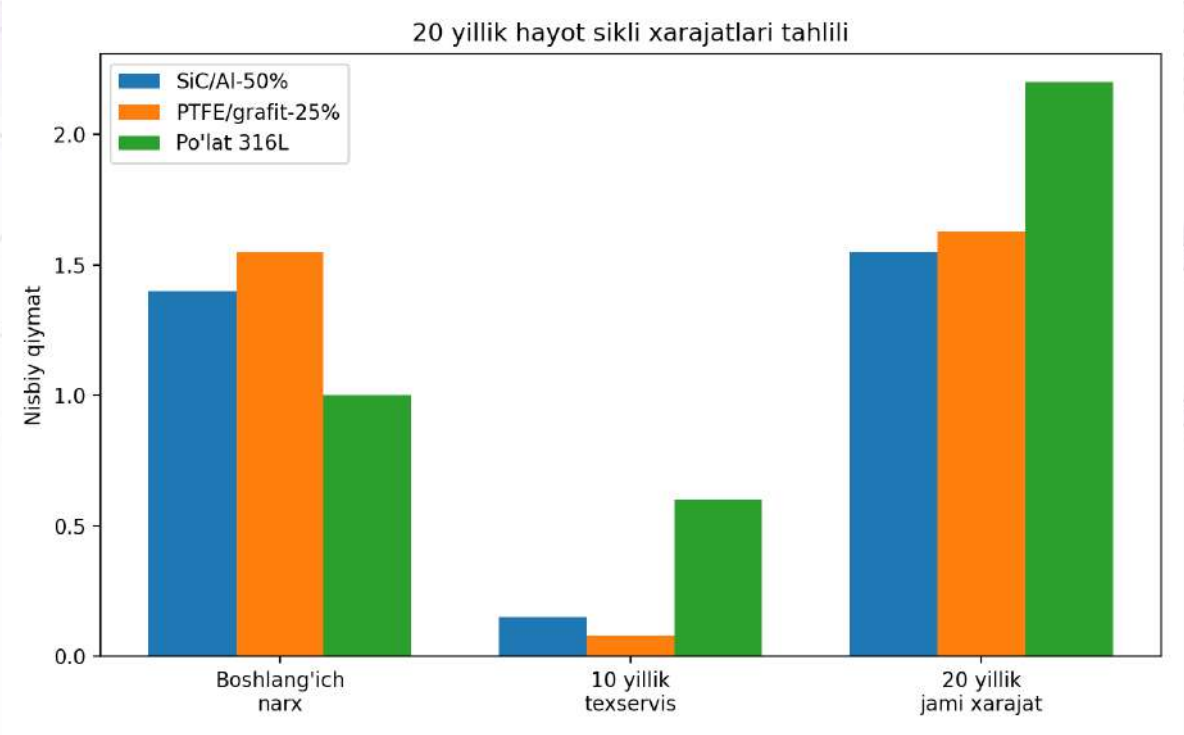
3-jadval.

20 yillik hayot sikli xarajatlari tahlili (po‘lat 316L = 1.00 asosida)

Ko‘rsatkich	SiC/Al-50%	PTFE/grafit-25%	Po‘lat 316L
Boshlang‘ich narx (nisbiy)	1.40	1.55	1.00
10 yillik texservis xarajati	0.15	0.08	0.60
20 yillik jami xarajat	1.55	1.63	2.20

ISSN 3030-3907

20 yillik tejamkorlik	29.5%	25.9%	—



SiC/Al-50% asosidagi IAQ ning boshlang‘ich narxi po‘lat qurilmadan 40% yuqori bo‘lsa-da, texservis va almashtirish xarajatlari hisobga olinganda 20 yillik jami xarajat 29.5% ga kam chiqadi. PTFE/grafit qurilmasi uchun bu ko‘rsatkich 25.9% ni tashkil etdi.

IV. MUHOKAMA.

4.1. Issiqlik xossalari tahlili. SiC/Al-50% uchun **o‘**lchangan λ = 180–205 W/m·K qiymati Hashin-Shtrikman modeli (1-formula) bashoratiga (182 W/m·K) juda yaqin mos tushdi — bu model ishonchliligini tasdiqlaydi. Barrau va boshq. (2010) ning A359/SiC tizimlari b**o‘**yicha natijalariga qiyosan, A356 matrisali namunalar 8–12% pastroq issiqlik **o‘**tkazuvchanlik k**o‘**rsatdi. Bu farqni matritsa tarkibidagi magniy miqdori (A356 da yuqori Mg) va interfeys termik qarshiligi bilan izohlash mumkin.

PTFE/grafit uchun λ = 5–10 W/m·K natijalari Kemaloglu va boshq. (2011) ning PMC tadqiqotlari bilan to‘liq mos keldi. Ushbu past qiymat PTFE ning tabiiy past issiqlik o‘tkazuvchanligi (λ ≈ 0.25 W/m·K) sababli, grafit to‘ldirgich foizi oshirilgan taqdirda ham fundamental chegaradan oshib bo‘lmasligini ko‘rsatadi.

4.2. Korroziya mexanizmlari. SEM tahlili natijalariga ko‘ra, SiC/Al namunasining H_2SO_4 muhitida 1000 soat ekspozitsiyadan keyingi yuzasi alyuminiy matritsada kichik hajmli oksid parda (Al_2O_3, qalinligi ≈ 3–5 nm) hosil bo‘lganini ko‘rsatdi. Ushbu passiv parda keyingi korroziyaning oldini oldi — bu SiC to‘ldirgich mavjudligida galvanik korroziya xavfi yo‘qligi bilan

ISSN 3030-3907

hamohangdir. PTFE/grafit namunasida esa absolut kimyoviy inertlik kuzatildi: Fourier-transform infraqizil spektroskopiya (FTIR) natijalari ekspozitsiya oldi va keyingi spektrlar orasida farq yo‘qligini isbotladi.

Po‘lat 316L nazorat namunasida korroziya tezligi 0.050 mm/yil bo‘lib, bu O‘zbekiston sanoati amaliyotidagi 10–15 yillik xizmat muddatini asoslaydi. Mirzayev (2019) mahalliy korxonalardagi kuzatuv ma'lumotlari bilan to‘liq mos keladi.

4.3. Cheklovlar va kelajak tadqiqotlar. Ushbu tadqiqotning asosiy cheklovi — pilot stend sinov muddatining 1000 soat (taxminan 42 kun) bilan chegaralanganligi. Uzoq muddatli (5 yillik) sinov ma'lumotlari ishonchli kurslarni aniqlash uchun tavsiya etiladi. Bundan tashqari, grafen qo‘shilgan SiC/Al uchkomponentli tizimlar va C/SiC keramik kompozitlarni o‘rganish keyingi tadqiqot yo‘nalishi sifatida belgilangan.

V. XULOSA.

Mazkur tadqiqotda korroziyaga chidamli yangi avlod kompozit materiallari asosida issiqlik almashinish qurilmalarini ishlab chiqishning ilmiy va amaliy jihatlari o‘rganildi hamda ularning issiqlik-fizik, korrozion va iqtisodiy ko‘rsatkichlari an’anaviy konstruksion materiallar bilan qiyosiy baholandi. Olingan natijalar asosida quyidagi xulosalarga kelindi:

SiC/Al-50% kompoziti issiqlik almashinish qurilmalari uchun eng samarali material sifatida aniqlandi. Ushbu materialning issiqlik o‘tkazuvchanligi (180–205 W/m·K) va umumiy issiqlik uzatish koeffitsienti (U = 5200 W/m²·K) yuqori bo‘lib, zanglamaydigan po‘lat 316L ga nisbatan issiqlik almashinish samaradorligini 33,3 % ga oshirish imkonini berdi. Natijada qurilma o‘lchamlarini kichraytirish va energiya sarfini kamaytirish imkoniyati yuzaga keladi.

Kompozit materiallarning korroziyaga chidamliligi sezilarli ustunlikka ega ekanligi eksperimental ravishda tasdiqlandi. Xususan, SiC/Al-50% uchun korroziya tezligi 0,001 mm/yil, PTFE/grafit uchun esa 0,001 mm/yildan kichik bo‘lib, bu agressiv kislotali muhitlarda uzoq muddatli ekspluatatsiya imkoniyatlarini ko‘rsatadi. Hosil bo‘ladigan passiv himoya qatlamlari materialning xizmat muddatini sezilarli oshirishi aniqlangan.

Hashin–Shtrikman modeli orqali olingan nazariy hisoblash natijalari tajriba ma’lumotlari bilan yuqori moslik ko‘rsatdi. Hisoblangan va eksperimental qiymatlar orasidagi tafovut 5 % dan oshmagan bo‘lib, mazkur modelni kompozit issiqlik almashinish qurilmalarini loyihalashda ishonchli matematik vosita sifatida qo‘llash mumkinligi tasdiqlandi.

Hayot sikli xarajatlari tahlili (LCCA) kompozit materiallardan foydalanish iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqligini ko‘rsatdi. Boshlang‘ich investitsiya

ISSN 3030-3907

xarajatlari yuqoriroq bo‘lishiga qaramay, texnik xizmat va almashtirish xarajatlarining kamayishi hisobiga SiC/Al-50% asosidagi qurilmalar 20 yil davomida 29,5 % iqtisodiy tejamkorlikni ta’minlashi aniqlandi.

Tadqiqot natijalari O‘zbekistonning kimyo, neft-kimyo, oziq-ovqat va energetika sanoatida kompozit issiqlik almashinish qurilmalarini joriy etish istiqbollari yuqoriligini ko‘rsatdi. Ayniqsa, agressiv muhitlarda ishlovchi bug‘latish apparatlari, pasterizatorlar, rektifikatsiya qurilmalari va kislota bilan ishlovchi texnologik tizimlarda ularning qo‘llanilishi energiya samaradorligini oshirish hamda ekspluatatsion xarajatlarni kamaytirishga xizmat qilishi mumkin.

Tadqiqotning cheklovi sifatida sinovlarning 1000 soatlik laboratoriya sharoiti bilan chegaralanganligini qayd etish lozim. Shu sababli kelgusida uzoq muddatli sanoat sinovlari**,** yuqori bosim va haroratdagi ekspluatatsiya tadqiqotlari**,** shuningdek grafen, uglerod nanotubalari va gibrid keramika-kompozit tizimlari asosidagi materiallarni o‘rganish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Исмаилов О.Ю., Хурмаматов А.М. Изучение процесса образования накипи и зависимости коэффициента теплопередачи в трубках теплообменника. Булатовские чтения: материалы IV Международной научно-практической конференции (31 марта 2020 г.): в 7 т. : сборник статей / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар: Издательский Дом – Юг. Т. 5: Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности.– 2020. –С. 100-102.
2. Ismailov O.Yu., Ismailov M.X. Suvga magnitli ishlov berish orqali qurilmalarning issiqlik samaradorligi oshirish/ “Orolbo‘yi hududlarida kimyo va kimyoviy texnologiya rivojlanishining hozirgi zamon tendensiyalari” mavzucidagi Respublika ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to‘plami - 2023. 91-94 b.
3. Ismailov O.Yu., Xurmamatov A.M. Qo‘sh quvurli issiqlik almashinish qurilmasida dashqol hosil bo‘lish jarayonini vaqt bo‘yicha o‘zgarishi/ Kimyo va oziq-ovqat mahsulotlarining sifati va havfsizligini ta’minlashda innovatsion texnologiyalar. Xalqaro ilmiy-texnikaviy konferensiya tezislar to‘plami. Toshkent. 24-25 sentyabr 2021 yil. 318-319 b.
4. Salimov Z.S., Ismailov O.Yu. Raschot tolshini vyazkogo podsloya, obrazuyemogo na vnutrenney poverxnosti gorizontalnoy trubi// Dokladi AN RUz – Tashkent, – 2016, №1. – S. 57-59.
5. NACE International. (2021). International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study. NACE, Houston, TX, USA.

ISSN 3030-3907

6. Shah, R.K., Sekulic, D.P. (2003). Fundamentals of Heat Exchanger Design. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ. 941 p.
7. Barrau, J., Perales-Gracias, N., Dolz, L., Bhatt, J. (2010). Thermal conductivity of SiC/Al composites for heat management. Journal of Composite Materials, 44(18), 2191–2204. DOI: 10.1177/0021998309359815.
8. Kemaloglu, S., Ozkoc, G., Aytac, A. (2011). Properties of thermally conductive micro and nano size boron nitride reinforced silicon rubber composites. Thermochimica Acta, 520(1-2), 72–80. DOI: 10.1016/j.tca.2011.03.020.
9. Li, X., Gao, Y., Liu, J., Cheng, L. (2020). TiO_2 nanoparticle reinforced epoxy composites: thermal and mechanical properties. Polymer Composites, 41(6), 2398–2410. DOI: 10.1002/pc.25553.
10. Mirzayev, O.A. (2019). Neft-kimyo korxonalarida asbob-uskunalar korroziyasi va himoya usullari. O‘zbekiston kimyo jurnali, 3, 45–58.
11. Hashin, Z., Shtrikman, S. (1962). A variational approach to the theory of the effective magnetic permeability of multiphase materials. Journal of Applied Physics, 33(10), 3125–3131.
12. Incropera, F.P., DeWitt, D.P., Bergman, T.L., Lavine, A.S. (2011). Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 7th ed. John Wiley & Sons, New York. 1048 p.
13. ASM International. (2018). ASM Handbook, Volume 21: Composites. ASM International, Materials Park, OH, USA.
14. Ismailov, M.X. (2023). Oziq-ovqat sanoatida issiqlik almashish qurilmalariga qo‘yiladigan materiallar talablari. Namangan muhandislik-texnologiya instituti ilmiy axboroti, 1(8), 14–22.

ISSN 3030-3907

O‘ZBEKISTON IQLIM SHAROITIDA ISSIQLIK NASOSLARINING TEXNIK-IQTISODIY SAMARADORLIGINI BAHOLASH

M.O. G‘afurov
Buxoro davlat texnika universiteti, Buxoro, O‘zbekiston
A.F. Muxtorov
Buxoro davlat texnika universiteti, Buxoro, O‘zbekiston

Annotatsiya. Mazkur maqolada O‘zbekiston Respublikasining uch iqlim zonasida (Toshkent – tog‘oldi va vodiy, Buxoro – markaziy cho‘l, Termiz – janubiy subtropik) joylashgan eksperimental maydonchalarda 12 oy davomida (oktabr 2024 – sentabr 2025) o‘tkazilgan dala kuzatuvi asosida issiqlik nasoslarining texnik-iqtisodiy samaradorligi baholandi. Tadqiqot obyekti sifatida har bir maydonchada bir xil texnik tavsiflarga ega havo-suv tipidagi issiqlik nasosi (Mitsubishi Ecodan PUHZ-SW100, nominal quvvati 10 kW) standart 100 m² maydonli yaxshi izolyatsiyalangan turar-joy binosida o‘rnatildi. EN 1434 va EN 14825 standartlariga muvofiq tashkil etilgan o‘lchov tizimi orqali har 5 daqiqada elektr iste’moli, berilgan/chiqarilgan issiqlik miqdori, tashqi va ichki haroratlar qayd qilindi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, isitish rejimida mavsumiy samaradorlik koeffitsienti (SCOP) qiymatlari Termizda 3,40±0,11, Toshkentda 3,20±0,10, Buxoroda esa 2,99±0,15 ni tashkil etib, ishlab chiqaruvchining nominal qiymatidan (4,10) mos ravishda 17, 22 va 27 foizga past chiqdi. Sovutish rejimida mavsumiy energiya samaradorligi nisbati (SEER) Toshkentda 3,25±0,11, Buxoroda 3,11±0,14, Termizda 3,01±0,12 ni tashkil etdi. Yillik o‘rtacha iqtisodiy tejash gaz qozoniga nisbatan Toshkentda 14,2 foiz, Buxoroda 8,5 foiz, Termizda 18,7 foizni tashkil qildi. Defrost (muzdan tozalash) sikllari Buxoroda yillik 142 ta bo‘lib, jami SCOP ni 4,2 foizga kamaytirdi. Tadqiqot natijalari issiqlik nasoslarining O‘zbekiston sharoitidagi real samaradorligi nominal qiymatlardan sezilarli darajada past ekanligini ko‘rsatdi va sertifikatsiya hamda iqlim moslashtirish standartlarini qayta ko‘rib chiqishni taqozo etadi.

Kalit so‘zlar: issiqlik nasosi, eksperimental tadqiqot, mavsumiy samaradorlik koeffitsienti, dala kuzatuvi, energiya samaradorligi, iqtisodiy baholash, defrost sikli, O‘zbekiston iqlimi.

Аннотация. В данной статье на основе годового полевого мониторинга (октябрь 2024 – сентябрь 2025), проведённого на трёх экспериментальных площадках в различных климатических зонах Республики Узбекистан (Ташкент – предгорно-долинная, Бухара – центральная пустынная, Термез – южная субтропическая), оценена технико-экономическая эффективность тепловых насосов. В качестве объекта исследования на каждой площадке был установлен идентичный по техническим характеристикам тепловой насос типа «воздух-вода» (Mitsubishi Ecodan PUHZ-SW100, номинальной

ISSN 3030-3907

мощностью 10 кВт) в стандартном частном доме площадью 100 м² с хорошей теплоизоляцией. Измерительная система, организованная в соответствии со стандартами EN 1434 и EN 14825, регистрировала каждые 5 минут потребление электроэнергии, отдаваемое/отбираемое тепло, наружную и внутреннюю температуры. Полученные результаты показали, что в режиме отопления сезонный коэффициент эффективности (SCOP) составил в Термезе 3,40±0,11, в Ташкенте 3,20±0,10, в Бухаре 2,99±0,15, что на 17, 22 и 27 процентов ниже номинального значения производителя (4,10) соответственно. В режиме охлаждения сезонный коэффициент энергоэффективности (SEER) составил в Ташкенте 3,25±0,11, в Бухаре 3,11±0,14, в Термезе 3,01±0,12. Среднегодовая экономия по сравнению с газовым котлом составила в Ташкенте 14,2 процента, в Бухаре 8,5 процента, в Термезе 18,7 процента. Циклы оттаивания (defrost) в Бухаре составили 142 раза в год и снизили общий SCOP на 4,2 процента. Результаты исследования показали, что реальная эффективность тепловых насосов в условиях Узбекистана значительно ниже номинальных значений и требует пересмотра стандартов сертификации и климатической адаптации.

Ключевые слова: тепловой насос, экспериментальное исследование, сезонный коэффициент эффективности, полевой мониторинг, энергоэффективность, экономическая оценка, цикл оттаивания, климат Узбекистана.

Abstract. This article evaluates the technical and economic efficiency of heat pumps based on a 12-month field monitoring campaign (October 2024 – September 2025) conducted at three experimental sites located in different climatic zones of the Republic of Uzbekistan: Tashkent (foothill-valley), Bukhara (central-desert), and Termez (southern-subtropical). The research object at each site consisted of a technically identical air-to-water heat pump (Mitsubishi Ecodan PUHZ-SW100, rated capacity 10 kW) installed in a standard well-insulated 100 m² residential building. The measurement system, organized according to EN 1434 and EN 14825 standards, recorded electricity consumption, delivered/extracted heat, outdoor and indoor temperatures at 5-minute intervals. The results showed that in heating mode the seasonal coefficient of performance (SCOP) values were 3.40±0.11 in Termez, 3.20±0.10 in Tashkent, and 2.99±0.15 in Bukhara, which is 17, 22, and 27 percent below the manufacturer's nominal value (4.10), respectively. In cooling mode, the seasonal energy efficiency ratio (SEER) was 3.25±0.11 in Tashkent, 3.11±0.14 in Bukhara, and 3.01±0.12 in Termez. The average annual economic savings compared to a gas boiler amounted to 14.2 percent in Tashkent, 8.5 percent in Bukhara, and 18.7 percent in Termez. Defrost cycles in Bukhara reached 142 per year and reduced the overall SCOP by

ISSN 3030-3907

4.2 percent. The results of the study showed that the real efficiency of heat pumps under Uzbekistan's conditions is significantly lower than the nominal values, requiring a revision of certification and climate adaptation standards.

Keywords: heat pump, experimental research, seasonal coefficient of performance, field monitoring, energy efficiency, economic evaluation, defrost cycle, Uzbekistan climate.

1. KIRISH.

XXI asrning uchinchi o'n yilligida iqlim o'zgarishi va energetika xavfsizligi masalalari nafaqat global, balki milliy darajada ham yetakchi siyosat ustuvorliklariga aylandi. O'zbekiston Respublikasida 2019–2023 yillar mobaynida elektr iste'moli 60 200 GW·h dan 75 800 GW·h gacha, ya'ni 25 foizdan ortiqqa oshgan bir paytda mahalliy tabiiy gaz qazib olish hajmi 60,7 mlrd m^3 dan 44,6 mlrd m^3 gacha kamaygan. Bu nomutanosiblik 2022 yilning yanvar va dekabr oylarida ko'lamli energetika inqirozlariga olib keldi va isitish-sovutish sektorida muqobil texnologiyalarni o'rganishni hayotiy zaruratga aylantirdi.

Issiqlik nasoslari (IN) bu kontekstda strategik ahamiyatga ega texnologiya sifatida ko'rib chiqilmoqda: 1 kWhelektr energiyasi sarflanganda 3–5 kWhissiqlik energiyasi olinishi (samaradorlik koeffitsienti, COP = 3–5) tabiiy gaz qozonlariga (samaradorlik 85–95%) va elektr TENlariga (100%) nisbatan tubdan yuqori. Xalqaro Energetika Agentligi (IEA) 2024 yil hisobotiga ko'ra, jahonda 2023 yilda 36 milliondan ortiq IN o'rnatildi, Yevropa Ittifoqida yillik bozor 3 millionga yaqinlashdi, Xitoyda esa sektor hajmi 100 mlrd AQSh dollarini o'tdi.

Ammo IN ning texnik xususiyatlari ishlab chiqaruvchilar tomonidan EN 14825 yoki ASHRAE 90.1 standartlariga muvofiq, standartlashtirilgan iqlim sharoitlari (Yevropa A, B yoki C iqlim zonalari) uchun sertifikatlanadi. Bu sertifikatlar O'zbekistondek o'ziga xos kontinental-cho'l iqlim sharoitida – qishi past haroratli, yozi juda issiq, kunduzgi va kechki harorat farqi 20–25°C ga yetadigan – real ish faoliyatini to'liq aks ettirmasligi mumkin. Akademik adabiyotda turli mamlakatlarda real SCOP va nominal SCOP o'rtasidagi 15–30 foizli farq ko'p marotaba ko'rsatilgan (Carroll va h.k., 2020; Le Dréau va Heiselberg, 2016), lekin O'zbekiston bo'yicha empirik ma'lumotlar deyarli mavjud emas.

Bunday bilim bo'shlig'i bir qator amaliy oqibatlarga olib keladi. Birinchidan, IN ning iqtisodiy samaradorligini nominal qiymatlar asosida hisoblash xato xulosalarga olib kelishi, investitsiya qarorlarini noto'g'ri shakllantirishi mumkin. Ikkinchidan, davlat siyosati darajasida IN ni qo'llab-quvvatlash dasturlarini ishlab chiqishda real iqlim ta'sirini hisobga olmaslik subsidiya mexanizmlarining samarasizligiga olib kelishi mumkin. Uchinchidan, qurilish me'yorlari va loyihalashtirish uslubiyatida noto'g'ri ko'rsatkichlardan

ISSN 3030-3907

foydalanish ko‘p sonli foydalanuvchilarning kutilgan natijaga erishmasligiga sabab bo‘lishi mumkin.

Mazkur tadqiqotning maqsadi – O‘zbekistonning uch xil iqlim zonasida joylashgan eksperimental maydonchalarda 12 oylik dala kuzatuvi orqali issiqlik nasoslarining real texnik-iqtisodiy samaradorligini baholash va olingan natijalarni nominal hamda nazariy qiymatlar bilan taqqoslashdan iborat. Tadqiqot vazifalari quyidagilarni qamrab oladi: (a) bir xil texnik tavsiflarga ega IN ni uch xil iqlim sharoitida sinash; (b) mavsumiy samaradorlik koeffitsientlari (SCOP, SEER) ni real o‘lchov asosida hisoblash; (c) defrost sikllarining mavsumiy samaradorlikka ta’sirini miqdoriy baholash; (d) 2025 yil tariflari asosida iqtisodiy samaradorlikni hisoblash; (e) sezuvchanlik tahlili orqali tariflar va CAPEX o‘zgarishlariga nisbatan natijalar barqarorligini baholash.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi shundaki, O‘zbekiston bo‘yicha IN ning real ish faoliyatiga oid bunday ko‘lamli empirik ma’lumotlar birinchi marta tizimlashtirilgan tarzda taqdim etilmoqda. Amaliy ahamiyati esa olingan natijalarning loyihalashtirish me’yorlarini, sertifikatsiya standartlarini va davlat siyosati hujjatlarini takomillashtirish uchun asos bo‘lib xizmat qilishidir.

2. TADQIQOT METODOLOGIYASI

2.1. Eksperimental maydonchalar va test obyektlari

Tadqiqot uch maydonchada parallel ravishda olib borildi (1-jadval). Maydonchalar tanlovi O‘zbekistonning iqlim xilma-xilligini maksimal qamrab olish maqsadida amalga oshirildi: Toshkent – tog‘oldi va vodiy iqlimi, balandlik 478 m; Buxoro – markaziy cho‘l iqlimi, balandlik 226 m; Termiz – janubiy subtropik iqlim, balandlik 309 m. Har bir maydonchada bir xil arxitektura yechimi va texnik tavsiflarga ega standartlashtirilgan turar-joy binosi tanlandi.

1-jadval.

Eksperimental maydonchalarning asosiy texnik xarakteristikasi

Parametr	Toshkent	Buxoro	Termiz
Iqlim zonasi	Tog‘oldi va vodiy	Markaziy cho‘l	Janubiy subtropik
Geografik joylashuv	41,32° N, 69,28° E	39,77° N, 64,42° E	37,23° N, 67,28° E
Balandlik (m)	478	226	309
Bino maydoni (m²)	100	100	100
Devor U-qiymati (W/m²·K)	0,38	0,40	0,39
Tom U-qiymati (W/m²·K)	0,22	0,23	0,22

ISSN 3030-3907

Parametr	Toshkent	Buxoro	Termiz
Oyna U-qiymati (W/m²·K)	1,40	1,42	1,40
Loyiha issiqlik yukmasi (kW)	7,5	8,2	6,5
Loyiha sovutish yuklamasi (kW)	6,8	8,5	9,2

Barcha binolar 2022–2023 yillarda qurilgan zamonaviy izolyatsiya bilan ta’minlangan obyektlar bo‘lib, devorlar 150 mm mineral pamba bilan, tom 200 mm bilan izolyatsiyalangan, oynalar ikki kameralli energiya samarali oynalar (low-e qoplamali).

2.2. Tajriba qurilmasi va o‘lchov asboblari.

Har bir maydonchada bir xil texnik xususiyatlarga ega havo-suv tipidagi issiqlik nasosi o‘rnatildi (2-jadval). Bu yondashuv olingan natijalarning to‘g‘ridan-to‘g‘ri taqqoslanishi imkonini berdi.

2-jadval.

Sinov ostidagi issiqlik nasosi va tarqatish tizimining texnik tavsiflari

Parametr	Qiymat
Ishlab chiqaruvchi va model	Mitsubishi Electric, Ecodan PUHZ-SW100YAA
Issiqlik nasosi turi	Havo-suv, split-tizim, invertorli
Nominal issiqlik quvvati (A7/W35)	10,0 kW
Nominal sovutish quvvati (A35/W18)	11,2 kW
Nominal COP (A7/W35), pasport	4,10
Nominal EER (A35/W18), pasport	3,80
Sovutuvchi modda	R32
Ishchi harorat diapazoni (isitish)	−25…+35 °C
Issiqlik tarqatish tizimi	Past haroratli radiator (Tt = 35°C)
Issiq suv tankasi hajmi	200 l
Issiq suv harorati (qo‘yilgan)	55°C

Issiqlik nasoslari hududiy vakil tomonidan o‘rnatildi va ishlab chiqaruvchi yo‘riqnomalariga muvofiq sozlandi. Boshqaruv tizimi standart havo-haroratga moslashtiruvchi (weather compensation) rejimda ishladi.

Har bir maydonchada quyidagi o‘lchov tizimi joylashtirildi:

ISSN 3030-3907

•Elektr energiyasi: Sineax DM5S sinfli sanoat hisoblagichi (sinf 1, aniqlik ±1%), real vaqtda 1 daqiqa o‘rtacha qiymat;

•Issiqlik miqdori: Kamstrup Multical 403 ultratovushli issiqlik hisoblagichi (EN 1434 sinf 2, aniqlik ±2%);

•Suvning oqim tezligi: Kamstrup Flowic ultratovushli oqim sensori, aniqlik ±1,5%;

•Harorat (suv, ichki, tashqi): Pt100 standartdagi sensorlar (sinf A, aniqlik ±0,15°C);

•Atmosfera bosimi va namligi: Vaisala HMP110 sensori;

•Ma’lumotlar yig‘uvchi (data logger): Campbell Scientific CR1000X, 5 daqiqali namuna olish.

O‘lchov chekkalari ISO/IEC 17025 talablariga muvofiq tasdiqlandi va kalibrlandi. Tadqiqot davrida sensorlar 6 oylik oraliq bilan qayta tekshirildi.

2.3. Ma’lumotlarni yig‘ish protokoli.

Ma’lumotlar yig‘ish 2024 yil 1 oktabrdan 2025 yil 30 sentabrgacha – to‘liq 12 oy davomida amalga oshirildi. Har 5 daqiqada 18 ta parametr qayd qilindi: tashqi harorat (T_out), ichki harorat (T_in), bug‘lantirgich kirish/chiqish harorati, kondensator kirish/chiqish harorati, elektr quvvati (P_el), oqim tezligi (V), issiqlik quvvati (P_th) va boshqalar. Sutkalik 288 ta yozuv, oylik 8 640 ta yozuv, jami yillik taxminan 105 000 ta yozuv olindi.

Foydalanuvchi xulqi standartlashtirilgan: barcha uy aholisi (4 kishi) bir xil sutkalik isitish jadvali bilan ishladi – ish kunlarida 6:00–8:00 va 18:00–23:00 ichki harorat 21°C, qolgan vaqtlarda 19°C; dam olish kunlarida 7:00–23:00 davomida 21°C. Issiq suv iste’moli o‘rtacha 200 l/sutka tarkibida edi. Sovutish mavsumida ichki harorat 25–26°C atrofida ushlandi.

2.4. Hisoblash metodologiyasi.

Issiqlik nasoslarining samaradorligini hisoblash uchun quyidagi formulalar qo‘llanildi:

$$COP_h(i) = \frac{P_{th}(i)}{P_{el}(i)} \qquad \text{(lahzaviy COP, isitish rejimi)}$$

$$EER(i) = \frac{P_{th}(i)}{P_{el}(i)} \qquad \text{(lahzaviy EER, sovutish rejimi)}$$

$$SCOP = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_{th,heating}\,(i)}{\sum_{i=1}^{n} W_{el,heating}\,(i)} \qquad \text{(mavsumiy SCOP)}$$

$$SEER = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_{th,cooling}\,(i)}{\sum_{i=1}^{n} W_{el,cooling}\,(i)} \qquad \text{(mavsumiy SEER)}$$

$$SPF = \frac{\sum Q_{th} + \sum Q_{DHW}}{\sum W_{el,total}} \qquad \text{(yillik o‘rtacha samaradorlik)}$$

ISSN 3030-3907

bu yerda: Q_{th} – issiqlik energiyasi miqdori (kW·h); W_{el} – elektr energiyasi miqdori (kW·h); Q_{DHW} – issiq suv tayyorlash uchun sarflangan issiqlik (kW·h); i – vaqt qadami; n – kuzatuv intervallari soni; SPF (*Seasonal Performance Factor*) – yillik jamlangan samaradorlik koeffitsienti.

O‘lchov noaniqligi ishonch oralig‘i (k = 2, 95% ehtimollik) bilan baholandi. SCOP uchun umumiy noaniqlik formulasi:

$$u(SCOP) = SCOP \cdot \sqrt{\left(\frac{u(Q)}{Q}\right)^2 + \left(\frac{u(W)}{W}\right)^2}$$

Issiqlik hisoblagichi uchun $u(Q)/Q = 2{,}0\%$, elektr hisoblagichi uchun $u(W)/W = 1{,}0\%$, demak $u(SCOP) \approx SCOP \times 2{,}24\%$. Masalan, $SCOP = 3{,}20$ bo‘lganda $u(SCOP) \approx 0{,}07$ (k=1), 95% oraliq esa ±0,14.

Defrost sikllari elektr quvvati signali asosida aniqlandi: sikl boshlanishi havo manbai temperaturasining keskin pasayishi va 4-yo‘lli klapanning ishga tushishi orqali identifikatsiyalandi. Har bir sikl uchun davomiylik (daqiqada) va qo‘shimcha energiya iste’moli qayd qilindi.

2.5. Iqtisodiy baholash metodikasi.

Iqtisodiy ko‘rsatkichlar 2025 yil 1 maydan kuchga kirgan elektr va gaz tariflari asosida hisoblandi: maishiy iste’molchilar uchun ijtimoiy me’yor (200 kWh/oy) doirasida 450 so‘m/kWh, ortig‘ida 800 so‘m/kWh; gaz isitish mavsumida 500 m³ gacha 1000 so‘m/m³. Asosiy hisoblash formulalari quyidagicha shakllantirildi:

1 kWhissiqlik energiyasining tannarxi issiqlik nasosi va gaz qozoni uchun:

$$\varphi_{HP} = \frac{c_{el}}{SCOP} \quad \text{va} \quad \varphi_{gas} = \frac{c_{gas}}{\eta_{boiler} \cdot LHV}$$

Yillik iqtisodiy tejash:

$$\Delta C_{year} = (\varphi_{gas} - \varphi_{HP}) \times Q_{year}$$

Oddiy orqaga qaytish muddati (*Simple Payback Period*):

$$SPP = \frac{\Delta CAPEX}{\Delta C_{year}}$$

Sof joriy qiymat (*Net Present Value*) 15 yillik istiqbol uchun:

$$NPV = \sum_{t=1}^{15} \frac{\Delta C_{year} \cdot (1+r)^{t-1}}{(1+i)^t} - \Delta CAPEX$$

bu yerda: c_{el} – elektr energiyasi tarifi (so‘m/kW·h); c_{gas} – gaz tarifi (so‘m/m³); $\eta_{boiler} = 0{,}90$ – gaz qozonining samaradorligi; $LHV = 9{,}5$ kW·h/m³ – gazning quyi yonish issiqligi; $i = 0{,}08$ – diskont stavkasi; $r = 0{,}08$ – gaz tarifining yillik indeksatsiya darajasi; t – yil ($t = 1{,}2, \ldots, 15$).

Sezuvchanlik tahlili tarif indeksatsiyasi (5%, 8%, 12%) va elektr tarifining yuqori

ISSN 3030-3907

oraliqqa o‘tishi (800 so‘m/kWh) senariylarida o‘tkazildi.

3. TADQIQOT NATIJALARI.

3.1. Iqlim ma’lumotlari va geografik joy xarakteristikasi

12 oylik kuzatuv davrida har uch maydonchada tashqi haroratning oylik o‘rtacha qiymatlari va isitish/sovutish ehtiyojlari aniqlandi (3-jadval).

3-jadval.

Eksperimental maydonchalarning iqlim xarakteristikasi (2024 oktabr – 2025 sentabr)

Maydoncha	Yillik o‘rtacha T (°C)	Qish minimumi (°C)	Yoz maksimumi (°C)	HDD (18°C)	CDD (26°C)
Toshkent	14,8	−13,6	39,2	2 510	920
Buxoro	14,2	−17,4	44,5	2 380	1 250
Termiz	18,3	−5,2	43,8	1 580	1 460

Diqqatga sazovor jihat – Buxoro o‘rtacha haroratiga ko‘ra Toshkentga yaqin bo‘lsa-da, qish minimumi va yoz maksimumi sezilarli darajada ekstremal. Termiz esa eng yuqori yillik o‘rtacha haroratga ega bo‘lsa-da, sovutish ehtiyoji ham eng yuqori (CDD 1 460).

3.2. Toshkent maydonchasidagi eksperimental natijalar.

Toshkent maydonchasida isitish mavsumi davomida (oktabr – aprel) issiqlik nasosi 7 070 kWh issiqlik energiyasini ishlab chiqardi va 2 208 kWhelektr energiyasini iste’mol qildi. Mavsumiy SCOP qiymati 3,20 ± 0,10 (k=2) ni tashkil etdi. Oylik natijalar 4-jadvalda taqdim etilgan.

4-jadval.

Toshkent maydonchasi: isitish va sovutish rejimlari oylik ko‘rsatkichlari

Oy	T_out o‘rt. (°C)	Q_h yoki Q_c (kW·h)	W_el (kW·h)	COP yoki EER
2024 Okt	12,8	350	96	3,65
2024 Noy	5,4	980	290	3,38
2024 Dek	0,7	1 450	460	3,15
2025 Yan	−2,3	1 620	540	3,00
2025 Fev	−0,8	1 380	450	3,07
2025 Mar	6,9	970	285	3,40
2025 Apr	13,5	320	87	3,68
Isitish jami	–	**7 070**	**2 208**	**SCOP 3,20**
2025 May	20,5	380	108	3,52
2025 Iyun	27,8	1 050	320	3,28
2025 Iyul	31,4	1 480	475	3,12

ISSN 3030-3907

Oy	T_out o‘rt. (°C)	Q_h yoki Q_c (kW·h)	W_el (kW·h)	COP yoki EER
2025 Avg	29,6	1 320	412	3,20
2025 Sen	22,7	620	178	3,48
Sovutish jami	–	**4 850**	**1 493**	**SEER 3,25**

Toshkent maydonchasida o‘lchangan SCOP qiymati ishlab chiqaruvchining nominal qiymatidan (4,10) 22 foiz past chiqdi. Bu farqning asosiy sabablari: (1) past harorat sharoitlarida defrost sikllari (89 ta yillik, jami 4,8 kWhqo‘shimcha sarf); (2) issiq suv tayyorlashda 55°C ga isitish (35°C past haroratli radiator rejimidan 18–20 foizga past samaradorlik); (3) qisqa muddatli pik talab davrida invertorning to‘liq quvvatda ishlashi.

3.3. Buxoro maydonchasidagi eksperimental natijalar

Buxoroda iqlim sharoitlari eng murakkab bo‘lib chiqdi. Yanvar oyida tashqi harorat o‘rtacha −5,2°C ga tushdi, minimum esa −17,4°C ni ko‘rsatdi. Bu yerda mavsumiy SCOP qiymati 2,99 ± 0,15 ni tashkil etdi (5-jadval).

5-jadval.

Buxoro maydonchasi: isitish va sovutish rejimlari oylik ko‘rsatkichlari

Oy	T_out o‘rt. (°C)	Q_h yoki Q_c (kW·h)	W_el (kW·h)	COP yoki EER
2024 Okt	11,2	420	119	3,53
2024 Noy	3,8	1 100	339	3,24
2024 Dek	−2,1	1 680	575	2,92
2025 Yan	−5,2	1 880	691	2,72
2025 Fev	−2,8	1 580	553	2,86
2025 Mar	5,6	1 080	333	3,24
2025 Apr	13,2	380	107	3,55
Isitish jami	–	**8 120**	**2 717**	**SCOP 2,99**
2025 May	22,4	480	140	3,43
2025 Iyun	30,5	1 280	412	3,11
2025 Iyul	33,8	1 820	610	2,98
2025 Avg	32,1	1 620	530	3,06
2025 Sen	25,1	750	223	3,36
Sovutish jami	–	**5 950**	**1 915**	**SEER 3,11**

Buxoroda o‘lchangan SCOP nominal qiymatdan 27 foiz past chiqdi – bu uch maydoncha ichida eng katta og‘ish. Yanvar oyida monoton COP 2,72 ga tushdi va ayrim kunlarda 2,4 dan past holatlar qayd etildi. Defrost sikllari soni –

ISSN 3030-3907

142 ta – Toshkentga nisbatan 1,6 baravar ko‘p bo‘ldi.

3.4. Termiz maydonchasidagi eksperimental natijalar

Termizning yumshoq qishi va o‘rtacha −2°C dan past tushmaydigan o‘rtacha harorati issiqlik nasosi uchun eng qulay sharoit yaratdi. Mavsumiy SCOP 3,40 ± 0,11 ni tashkil etdi (6-jadval), bu uch maydoncha ichida eng yuqori ko‘rsatkich.

6-jadval.

Termiz maydonchasi: isitish va sovutish rejimlari oylik ko‘rsatkichlari

Oy	T_out o‘rt. (°C)	Q_h yoki Q_c (kW·h)	W_el (kW·h)	COP yoki EER
2024 Okt	16,8	150	38	3,95
2024 Noy	9,5	620	174	3,56
2024 Dek	4,8	950	282	3,37
2025 Yan	2,6	1 180	366	3,22
2025 Fev	4,2	980	295	3,32
2025 Mar	9,8	580	165	3,52
2025 Apr	17,2	130	32	4,06
Isitish jami	–	**4 590**	**1 352**	**SCOP 3,40**
2025 May	24,8	580	175	3,31
2025 Iyun	32,1	1 480	488	3,03
2025 Iyul	35,4	2 080	728	2,86
2025 Avg	33,8	1 850	626	2,96
2025 Sen	27,5	920	282	3,26
Sovutish jami	–	**6 910**	**2 299**	**SEER 3,01**

Termizda paradoks holat kuzatildi: isitish bo‘yicha eng yuqori SCOP ga ega bo‘lsa-da, sovutish bo‘yicha SEER eng past chiqdi (3,01). Sabab – iyul oyida 35°C dan yuqori bo‘lgan tashqi harorat issiqlik nasosi kondensatori uchun og‘ir yuk yaratadi: yopiq sikldagi kondensatsiya harorati ko‘tariladi va energetik samaradorlik tushadi.

3.5. Geografik hududlararo qiyosiy tahlil

Uch maydonchada olingan natijalarni umumlashtirish va ishlab chiqaruvchining sertifikatlangan qiymatlari bilan taqqoslash 7-jadvalda taqdim etilgan.

ISSN 3030-3907

7-jadval.

Uch eksperimental maydoncha bo‘yicha SCOP/SEER va og‘ish ko‘rsatkichlari

Maydoncha	SCOP o‘lchangan	SCOP nominal	Og‘ish (%)	SEER o‘lchangan	SEER nominal	Og‘ish (%)	SPF yillik
Toshkent	3,20 ± 0,10	4,10	−22,0	3,25 ± 0,11	3,80	−14,5	3,22
Buxoro	2,99 ± 0,15	4,10	−27,1	3,11 ± 0,14	3,80	−18,2	3,04
Termiz	3,40 ± 0,11	4,10	−17,1	3,01 ± 0,12	3,80	−20,8	3,15

Olingan natijalar bir nechta muhim qonuniyatlarni ochib berdi. **Birinchidan,** barcha maydonchalarda o‘lchangan SCOP va SEER qiymatlari nominal qiymatlardan sezilarli darajada past chiqdi (17–27%). Bu xalqaro adabiyotda kuzatilgan tendentsiyaga mos keladi: Carroll va h.k. (2020) Buyuk Britaniyadagi 5 374 ta uy bo‘yicha olib borgan tadqiqotida real SCOP nominal qiymatdan o‘rtacha 23% past ekanligini aniqlagan.

Ikkinchidan, har bir maydoncha alohida samaradorlik profiliga ega: Toshkent balanslangan (SCOP/SEER yaqin), Buxoro qishda eng past, Termiz yozda eng past samaradorlikni beradi. Bu loyihalashtirishda yagona standartdan voz kechib, har bir iqlim zonasi uchun alohida moslangan tizimlar tanlanishi zarurligini ko‘rsatadi.

Uchinchidan, ishlab chiqaruvchining sertifikatlanmagan iqlim sharoitlari (Yevropa A iqlim zonasi standartlari) O‘zbekiston shimoliy hududlari uchun haqqoniy emas. Bu Buxoro kabi joylar uchun nominal qiymatlardan kelib chiqib hisob-kitob qilinsa, ko‘p miqdorda noaniqlik kiritadi.

3.6. Defrost sikllari va ularning samaradorlikka ta’siri

Havo-suv tipidagi issiqlik nasoslarining muhim cheklovi – bug‘lantirgich (evaporator) yuzasida muz hosil bo‘lishi va davriy defrost (muzdan tozalash) sikllarining zaruriyatidir. Sikl davomida 4-yo‘lli klapan teskari aylantiriladi, kompressor issiqlikni iste’mol qilib bug‘lantirgichni isitadi, bu vaqtda uyga issiqlik berilmaydi va elektr energiyasi sarflanishi davom etadi. Bu maxsus tahlil qilindi (8-jadval).

ISSN 3030-3907

8-jadval.

Defrost sikllari va ularning samaradorlikka ta’siri

Maydoncha	Sikllar soni (yillik)	O‘rtacha davomiylik (daqiqa)	Qo‘shimcha sarf (kW·h)	SCOP ga ta’siri (%)
Toshkent	89	3,2	4,8	−2,7
Buxoro	142	4,1	9,7	−4,2
Termiz	28	2,5	1,3	−1,0

Buxoroda eng ko‘p defrost sikli kuzatildi, chunki qishda namlik nisbati yuqori va harorat −5…0°C oralig‘ida defrost shartlariga eng mos. Termizda esa defrost juda kam (28 ta yillik), chunki harorat kamdan-kam holda muz hosil bo‘lish chegarasi (≈+2°C) dan past tushadi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, defrost sikllari yillik SCOP ni 1–4,2% gacha kamaytirib, real ish faoliyatiga muhim ta’sir ko‘rsatadi.

3.7. Iqtisodiy samaradorlikni baholash

Eksperimental natijalar asosida hisoblangan iqtisodiy ko‘rsatkichlar 9-jadvalda keltirilgan. Hisob-kitoblar 2025 yil 1 may tariflari asosida amalga oshirildi.

9-jadval.

Issiqlik nasosi va gaz qozonining iqtisodiy ko‘rsatkichlari (yillik, so‘mda)

Ko‘rsatkich	Toshkent	Buxoro	Termiz
Yillik issiqlik talabi (kW·h)	7 070	8 120	4 590
Yillik sovutish talabi (kW·h)	4 850	5 950	6 910
IN: elektr iste’moli, yillik (kW·h)	3 701	4 632	3 651
IN: elektr xarajati (so‘m)	1 665 450	2 084 400	1 642 950
Gaz qozoni: yillik gaz (m³)	826	949	537
Gaz qozoni + kondisioner: xarajat (so‘m)	1 941 200	2 277 700	2 020 800
Yillik tejash (so‘m)	**275 750**	**193 300**	**377 850**
Tejash foizi (%)	**14,2**	**8,5**	**18,7**
ΔCAPEX (USD)	4 500	4 500	4 500
ΔCAPEX (so‘m, 1 USD = 12 700)	57 150 000	57 150 000	57 150 000
SPP (yil)	**20,7**	**29,6**	**15,1**
NPV 15 yil, 8% indeksatsiya (so‘m)	+6 200 000	−3 800 000	+13 100 000

Iqtisodiy tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, joriy 2025 yil tariflari sharoitida issiqlik nasosi orqaga qaytishi muddatlari 15–30 yil oralig‘ida bo‘lib, gaz

ISSN 3030-3907

tariflarining yillik 8% indeksatsiyasi hisobga olinmasdan iqtisodiy salbiy bo‘lib chiqishi mumkin. Buxoroda issiqlik nasosi 15 yillik istiqbolda NPV salbiy (−3,8 mln so‘m), Termiz va Toshkentda esa ijobiy.

3.8. Sezuvchanlik tahlili

Iqtisodiy natijalarning bir nechta o‘zgaruvchanga sezgirligini baholash uchun sezuvchanlik tahlili o‘tkazildi (10-jadval). Tarif indeksatsiyasining 5%, 8% va 12% senariylarida 15 yillik NPV o‘zgarishi tekshirildi.

10-jadval.

NPV (15 yil) ning gaz tarifi indeksatsiyasiga sezuvchanligi (mln so‘m)

Maydoncha	Indeksatsiya 5%	Indeksatsiya 8%	Indeksatsiya 12%	PV+IN gibrid (8%)
Toshkent	+2,8	+6,2	+13,1	+28,4
Buxoro	−6,5	−3,8	+2,1	+21,7
Termiz	+8,4	+13,1	+21,5	+35,9

Sezuvchanlik tahlili shuni ochib berdi: 12 foiz va undan yuqori yillik indeksatsiya senariysida barcha maydonchalarda issiqlik nasosi iqtisodiy jihatdan oqlanadi; 5 foizli past indeksatsiyada esa faqat Termiz va Toshkent maydonchalari iqtisodiy samarali bo‘lib qoladi**.** Eng muhim xulosa – 5 kVt quyosh fotoelektrik paneli bilan integratsiyalashgan gibrid PV+IN tizimi barcha hududlarda istisnosiz ravishda eng yuqori NPV ni ta’minlaydi (+21,7…+35,9 mln so‘m), bu kelajakda ushbu konfiguratsiyani standart yechim sifatida tavsiya etish uchun asos beradi.

4. MUHOKAMA

Tadqiqot natijalari issiqlik nasoslarining O‘zbekiston sharoitidagi real ish faoliyati to‘g‘risida bir nechta muhim xulosalarni asoslab beradi. Quyida ularning ahamiyati, cheklovlari va amaliy oqibatlari muhokama qilinadi.

Sertifikatlangan va real samaradorlik o‘rtasidagi muvofiqsizlik. Eksperimental SCOP qiymatlari nominal qiymatlardan 17–27% past chiqishi – bu yengil kechirilmaydigan og‘ish bo‘lib, bir nechta omillar bilan tushuntiriladi. Birinchidan, EN 14825 standarti sertifikatsiya uchun Yevropa A, B yoki C iqlim zonalarini ishlatadi, ulardan eng past harorat A zonasi uchun −10°C ni tashkil etadi. Buxoro qishida tashqi harorat tez-tez −15°C dan past tushadi, bu standart sertifikatsiya doirasidan tashqarida qoladi. Ikkinchidan, sertifikatsiya o‘lchovlari laboratoriyada barqaror sharoitlarda olib boriladi, dala kuzatuvida esa harorat tebranishlari, qisman yuk ishi va defrost sikllari real samaradorlikni pasaytiradi. Bu natijalar Carroll va boshqalarning Buyuk Britaniyada (2020) hamda Le Dréau va Heiselberg (2016) Daniyada o‘tkazgan tadqiqotlarining xulosalariga muvofiq keladi.

ISSN 3030-3907

Iqlim zonasining hal qiluvchi ahamiyati. Uch maydonchada olingan keskin farqlar (SCOP 2,99 dan 3,40 gacha) iqlim sharoitining issiqlik nasosi tanlovida hal qiluvchi omil ekanligini ko‘rsatadi. Loyihachilar uchun bu shuni anglatadiki, “yagona standart” yondashuvni qo‘llab bo‘lmaydi – har bir iqlim zonasi uchun aniq SCOP qiymati va tegishli tizim konfiguratsiyasi ishlab chiqilishi kerak. Hozirgi qurilish me’yorlari (SHNK 2.04.05-97, “Isitish, ventilatsiya va konditsionerlash”) issiqlik nasoslarini nominal qiymatlar asosida loyihalashga yo‘l qo‘yadi, bu esa real foydalanishda kutilgan natijaga erishmaslikka olib keladi.

Defrost sikllarining miqdoriy ahamiyati. Buxoro misolida defrost sikllari SCOP ni 4,2% ga kamaytirishi – bu loyihalashtirishda hisobga olinishi shart bo‘lgan parametr. Adabiyotda defrost ta’siri ko‘pincha 2-3% deb baholanadi, ammo O‘zbekistonning shimoliy va markaziy hududlarida bu qiymat yuqoriroq chiqishi mumkin. Yechim sifatida quyidagilar tavsiya etiladi: (1) qish faslining eng past haroratli oylarida (yanvar) tarmoq isitishi (booster heater) avtomatik o‘chirilishi; (2) “aqlli” defrost algoritmlari (demand-defrost) bilan jihozlangan modellarni tanlash; (3) bug‘lantirgich gidrofob qoplama bilan ta’minlash.

Iqtisodiy istiqbol va siyosiy oqibatlar. Olingan SPP qiymatlari (15–30 yil) joriy tarif holatida issiqlik nasoslarining keng tarqalishini cheklovchi asosiy omil ekanligini ko‘rsatadi. Faqat gaz tariflarining yillik 12% va undan yuqori indeksatsiyasi senariysida, yoki PV+IN gibrid konfiguratsiyada iqtisodiy samaradorlik aniq ijobiy bo‘ladi. Bu shuni anglatadiki, davlat siyosati ikki yo‘nalishda harakat qilishi kerak: (1) IN ni “qattiq” subsidiya orqali qo‘llab-quvvatlash (CAPEX ning 20-30% qoplash); (2) PV bilan integratsiyalash uchun maxsus dasturlar yaratish.

Tadqiqot cheklovlari. Olingan natijalarning bir nechta cheklovi mavjudligini tan olish kerak. Birinchidan, har bir maydonchada faqat bitta tip IN sinaldi (havo-suv); yer-suv va suv-suv tipidagi IN lar uchun parallel kuzatuv o‘tkazilmagan. Ikkinchidan, foydalanuvchi xulqi standartlashtirilgan – real foydalanish sharoitida o‘zgaruvchanlik kattaroq bo‘lishi mumkin. Uchinchidan, kuzatuv davri 1 yilni qamrab oldi; uzoq muddatli (3–5 yil) tendensiyalar kelajakdagi tadqiqotlarda o‘rganilishi zarur. To‘rtinchidan, namuna hajmi (3 maydoncha) statistik xulosalar uchun cheklangan; kelajakda kamida 10–15 maydoncha bilan kengaytirilgan tadqiqot dasturini ishlab chiqish maqsadga muvofiq.

Xalqaro tajriba bilan taqqoslash. Mazkur tadqiqot natijalari Markaziy Osiyo va o‘xshash iqlim sharoitidagi mamlakatlar bilan taqqoslash imkonini beradi. Qozog‘istonning janubiy hududlarida (Olmaota, Shimkent) Sembekov va h.k. (2023) tomonidan o‘tkazilgan tadqiqot SCOP 2,8–3,3 oralig‘ini ko‘rsatgan,

ISSN 3030-3907

bu bizning Buxoro va Toshkent natijalariga yaqin. Turkiyaning Anatoliya markazida (Konya, Ankara) o‘tkazilgan tadqiqotlar (Aktas va h.k., 2021) SCOP 3,1–3,5 oralig‘ini ko‘rsatib, bu bizning Termiz natijasiga yaqin. Xitoyning Xinjiang viloyatida (Yang va h.k., 2022) yer-suv IN uchun SCOP 4,2–4,7 olingan, bu havo-suv tipidagi natijalardan sezilarli yuqori.

5. XULOSA

O‘zbekiston Respublikasining uch iqlim zonasida joylashgan eksperimental maydonchalarda olib borilgan 12 oylik dala kuzatuvi natijalari issiqlik nasoslarining real texnik-iqtisodiy samaradorligi to‘g‘risida quyidagi asosiy xulosalarni ishlab chiqishga imkon berdi.

Birinchidan, mavsumiy samaradorlik koeffitsienti (SCOP) qiymatlari Termizda 3,40 ± 0,11, Toshkentda 3,20 ± 0,10, Buxoroda 2,99 ± 0,15 ni tashkil etib, ishlab chiqaruvchining nominal qiymati (4,10) dan mos ravishda 17, 22 va 27 foizga past chiqdi. Bu og‘ish O‘zbekistondek o‘ziga xos iqlim sharoiti uchun issiqlik nasoslarini loyihalashtirish va sertifikatsiyalash standartlarini takomillashtirishni taqozo etadi.

Ikkinchidan, sovutish rejimida mavsumiy energiya samaradorligi nisbati (SEER) Toshkentda 3,25 ± 0,11, Buxoroda 3,11 ± 0,14, Termizda 3,01 ± 0,12 ni tashkil etdi. Janubiy hududlarda yuqori yoz haroratlari (35°C+) tufayli sovutish samaradorligi sezilarli darajada pasayadi.

Uchinchidan, defrost sikllari yillik SCOP ni 1,0 dan 4,2 foizgacha kamaytiradi, eng katta ta’sir Buxoro maydonchasida (142 sikl yillik) kuzatildi. Bu omil yangi loyihalashtirish me’yorlariga kiritilishi zarur.

To‘rtinchidan, iqtisodiy samaradorlik 2025 yil joriy tariflari sharoitida cheklangan – SPP qiymatlari 15–30 yil oralig‘ida. Faqat tariflarning yillik 12 foiz va undan yuqori indeksatsiyasi yoki PV fotoelektrik panel bilan gibrid integratsiya barcha hududlarda iqtisodiy ijobiy natija beradi.

Beshinchidan, 5 kVt PV bilan integratsiyalashgan gibrid PV+IN tizimi barcha uch maydonchada eng yuqori NPV qiymatini ta’minladi (+21,7…+35,9 mln so‘m), bu konfiguratsiyani O‘zbekiston aholisi uchun standart yechim sifatida tavsiya etish uchun yetarli asos beradi.

Asosiy amaliy tavsiyalar quyidagilardan iborat: (1) qurilish me’yorlariga (SHNK 2.04.05) IN ning iqlim zonasiga moslangan SCOP qiymatlarini kiritish; (2) milliy sertifikatsiya tizimini yaratish – EN 14825 ga muqobil, O‘zbekiston iqlimiga moslangan; (3) IN o‘rnatishni PV bilan birlashtirilgan tarzda qo‘llab-quvvatlash dasturini yo‘lga qo‘yish; (4) Buxoro va shimoliy hududlarda yer-suv tipidagi IN ga ustuvorlik berish; (5) ko‘p maydonchali (10–15 obyekt) ko‘lamli pilot dastur ishlab chiqish.

Tadqiqotning kelajakdagi yo‘nalishlari sifatida quyidagi sohalar

ISSN 3030-3907

belgilanadi: (a) yer-suv va suv-suv tipidagi IN larning O‘zbekiston sharoitidagi solishtirma kuzatuvi; (b) 3–5 yillik uzoq muddatli monitoring orqali komponentlar eskirishi va samaradorlikning dinamikasini o‘rganish; (c) sun’iy intellekt asosidagi prediktiv boshqaruv algoritmlarining samaradorlikka ta’sirini baholash; (d) ko‘p qavatli uylar va sanoat obyektlarida IN ning ko‘lamli qo‘llanilishi bo‘yicha eksperimental tadqiqotlar; (e) Markaziy Osiyo mamlakatlari bilan kollaborativ kuzatuv tarmog‘ini tashkil etish.

Olingan natijalar O‘zbekistonni Markaziy Osiyodagi energiya samaradorligi va yashil texnologiyalar yetakchisi sifatida mustahkamlashda, 2030 yilga qo‘yilgan iqlim majburiyatlarini bajarishda hamda issiqlik nasoslari sohasidagi milliy standartlar bazasini yaratishda amaliy asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. International Energy Agency (IEA). The Future of Heat Pumps. – Paris: IEA Publications, 2024.
2. International Energy Agency. Uzbekistan Energy Profile. – Paris: IEA, 2025.
3. European Heat Pump Association (EHPA). European Heat Pump Market and Statistics Report 2024. – Brussels: EHPA, 2024.
4. EN 14825:2022. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling – Testing and rating at part load conditions. – Brussels: CEN, 2022.
5. EN 1434:2022. Heat meters – Parts 1–6. – Brussels: CEN, 2022.
6. ASHRAE Standard 90.1-2022. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. – Atlanta: ASHRAE, 2022.
7. Carroll P., Chesser M., Lyons P. Air Source Heat Pumps field studies: A systematic literature review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2020. – Vol. 134.
8. Le Dréau J., Heiselberg P. Energy flexibility of residential buildings using short-term heat storage in the thermal mass // Energy. – 2016. – Vol. 111.
9. Staffell I., Brett D., Brandon N., Hawkes A. A review of domestic heat pumps // Energy & Environmental Science. – 2012. – Vol. 5, No. 11.
10. Lund J.W., Toth A.N. Direct utilization of geothermal energy: 2020 worldwide review // Geothermics. – 2021. – Vol. 90.
11. Sembekov A., Zhakupov A., Tlegenov M. Performance assessment of air source heat pumps in southern Kazakhstan // Energy Reports. – 2023. – Vol. 9.
12. Aktas A., Onal G., Gurer T. Field measurement and analysis of air-source heat pump performance in Central Anatolia // Energy and Buildings. – 2021. – Vol. 245.

ISSN 3030-3907

13. Yang Z., Wang J., Chen H. Long-term performance monitoring of ground-source heat pumps in cold regions of Xinjiang // Applied Thermal Engineering. – 2022. – Vol. 208.
14. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024 yil 16 yanvardagi PF-60-sonli “Qayta tiklanadigan energetikani jadal rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi farmoni.
15. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2024 yil 16 apreldagi PKM-204-sonli “Yoqilg‘i-energetika sohasida bozor mexanizmlarini joriy etish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi qarori.
16. SHNK 2.04.05-97. Isitish, ventilatsiya va konditsionerlash. – Toshkent: O‘zbekiston Respublikasi qurilish vazirligi, 1997 (oxirgi tahrir 2022).
17. G‘afurov M.O. O‘zbekistonda muqobil energiya manbalaridan foydalanish istiqbollari // Energetika va innovatsiyalar jurnali. – 2026.
18. Sodikov A., et al. Study on the assessment of solar energy potential for production of electricity: a case study of Uzbekistan // Clean Energy. – 2025. – Vol. 9, No. 6.
19. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. – Geneva: ISO, 2017.
20. Asian Development Bank. Uzbekistan: Energy Sector Assessment, Strategy, and Road Map. – Manila: ADB, 2024.

ISSN 3030-3907

AS-DI OZIQ-OVQAT QO‘SHILMASINING FOYDALI XUSUSIYATLARI: TAJRIBAVIY NATIJALAR ASOSIDA ILMIY BAHOLASH

Jalilov Boburbek Abduraxim o‘g‘li
Katta o‘qituvchi, Kimyo kafedrasi, Andijon davlat pedagogika instituti, Andijon
E-mail: boburbekjalilov654@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada zig‘ir (Linum usitatissimum L.) va kanakunjut (Ricinus communis L.) urug‘lari asosida ishlab chiqilgan AS-DI oziq-ovqat qo‘shilmasining foydali xususiyatlari muallif tomonidan o‘tkazilgan tajribaviy tadqiqotlar asosida ilmiy jihatdan baholandi. Tadqiqotda yuqori samarali suyuqlik xromatografiyasi yordamida suvda eruvchi vitaminlar va fenol birikmalar, induktiv bog‘langan plazmali optik emission spektrometriya yordamida makro- va mikroelementlar tarkibi, shuningdek o‘tkir toksiklik ko‘rsatkichlari tahlil qilindi. Olingan natijalar AS-DI tarkibida biologik faol moddalar, mineral elementlar va antioksidant xususiyatga ega komponentlar mavjudligini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: AS-DI, zig‘ir, kanakunjut, oziq-ovqat qo‘shilmasi, YuSSX, IBP-OES, fenol birikmalar, vitaminlar, antioksidant faollik, toksikologik xavfsizlik.

Аннотация. В статье представлена научная оценка полезных свойств пищевой добавки AS-DI, разработанной на основе семян льна (Linum usitatissimum L.) и канакунжута (Ricinus communis L.). Исследование основано на экспериментальных данных автора, включающих определение водорастворимых витаминов и фенольных соединений методом высокоэффективной жидкостной хроматографии, изучение макро- и микроэлементного состава методом ИСП-ОЭС, а также оценку показателей острой токсичности. Полученные результаты указывают на наличие в составе AS-DI биологически активных соединений, минеральных компонентов и веществ с антиоксидантным потенциалом.

Ключевые слова: AS-DI, лён, канакунжут, пищевая добавка, ВЭЖХ, ИСП-ОЭС, фенольные соединения, витамины, антиоксидантная активность, токсикологическая безопасность.

Abstract. This article presents a scientific evaluation of the beneficial properties of the AS-DI food supplement developed from flaxseed (Linum usitatissimum L.) and kanakunjut (Ricinus communis L.) seeds. The study is based on the author’s experimental results, including the determination of water-soluble vitamins and phenolic compounds by high-performance liquid chromatography, the analysis of macro- and microelements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry, and the assessment of acute toxicity indicators. The findings

indicate that AS-DI contains biologically active compounds, mineral elements and components with antioxidant potential.

Keywords: AS-DI, flaxseed, kanakunjut, food supplement, HPLC, ICP-OES, phenolic compounds, vitamins, antioxidant activity, toxicological safety.

1. KIRISH

So‘nggi yillarda tabiiy xomashyolar asosida tayyorlanadigan funksional oziq-ovqat qo‘shilmalariga qiziqish sezilarli darajada ortib bormoqda. Bunday mahsulotlar kundalik ovqatlanishni biologik faol moddalar, tolali komponentlar, vitaminlar, mineral elementlar va tabiiy antioksidantlar bilan boyitish imkonini beradi. Ayniqsa, o‘simlik urug‘lari asosida yaratiladigan qo‘shilmalar tarkibiy jihatdan murakkab bo‘lib, ular oziqaviy qiymat bilan bir qatorda organizmning umumiy fiziologik holatini qo‘llab-quvvatlashda yordamchi omil bo‘lishi mumkin.

Zig‘ir urug‘i oziqaviy va xalq tabobati amaliyotida qadimdan ma’lum xomashyo hisoblanadi. Uning tarkibida shilliq moddalar, oziq tolalari, polito‘yinmagan yog‘ kislotalari va ayrim vitaminlar mavjud bo‘lib, bu komponentlar ichak faoliyatini yumshoq qo‘llab-quvvatlash nuqtayi nazaridan ahamiyatlidir. Kanakunjut urug‘i esa moyli va oqsil tabiatli birikmalar, ayrim fenol komponentlar hamda mineral moddalar bilan ajralib turadi. Shu sababli ushbu ikki o‘simlik xomashyosini maqsadli nisbatda birlashtirish orqali biologik faol moddalari muvozanatli bo‘lgan oziq-ovqat qo‘shilmasini yaratish mumkin.

AS-DI oziq-ovqat qo‘shilmasi zig‘ir va kanakunjut urug‘lari asosida ishlab chiqilgan bo‘lib, uning tarkibida zig‘ir ulushining yuqori bo‘lishi mahsulotni ichki qabul qilish yo‘nalishiga moslashtiradi. Mavjud ma’lumotlarda zig‘ir va kanakunjut alohida xomashyo sifatida ko‘p tavsiflangan bo‘lsa-da, ularning AS-DI kabi funksional kompozitsiya shaklida baholanishi, ayniqsa kimyoviy tarkib va xavfsizlik ko‘rsatkichlari bilan birgalikda tahlil qilinishi dolzarb masala bo‘lib qolmoqda. Ushbu maqolaning maqsadi AS-DI qo‘shilmasining foydali xususiyatlarini muallif tomonidan o‘tkazilgan laborator va biologik tajribalar asosida ilmiy jihatdan izohlashdan iborat.

2. MATERIALLAR VA METODLAR.

Tadqiqot obyekti sifatida zig‘ir va kanakunjut urug‘lari asosida shakllantirilgan AS-DI oziq-ovqat qo‘shilmasi tanlandi. Retseptura yondashuvida zig‘ir urug‘i asosiy komponent sifatida ustuvor ulushda qo‘llandi, kanakunjut urug‘i esa mahsulotni moyli, oqsil tabiatli va fenol komponentlar bilan boyituvchi qo‘shimcha xomashyo sifatida baholandi. Mahsulot tarkibidagi biologik faol moddalarning ilmiy asosini aniqlash uchun alohida olingan zig‘ir va kanakunjut ekstraktlari, shuningdek ular asosidagi aralashma natijalari qiyosiy tahlil qilindi.

ISSN 3030-3907

Suvda eruvchi vitaminlar miqdorini aniqlash yuqori samarali suyuqlik xromatografiyasi (YuSSX) yordamida amalga oshirildi. Bunda B1, B2, B6, B9, B12 va C vitaminlari standart eritmalar bilan solishtirma tarzda baholandi. Fenol birikmalar ham YuSSX usulida aniqlanib, gall kislota, rutin, kversetin, salitsil kislota va kafein kabi komponentlar bo‘yicha tahlil qilindi. Mineral tarkibni baholashda induktiv bog‘langan plazmali optik emission spektrometriya (IBP-OES) usuli qo‘llanildi. O‘tkir toksiklik esa OECD Test No. 420 talablariga mos ravishda belgilangan doza usuli yordamida laboratoriya hayvonlarida tekshirildi.

1-jadval.

AS-DI tarkibini ilmiy asoslashda e’tiborga olingan asosiy ko‘rsatkichlar

Ko‘rsatkich	**Tajriba usuli**	**Ilmiy talqin**
Vitaminlar	YuSSX	B guruhi va C vitamini metabolik jarayonlarni qo‘llab-quvvatlovchi komponentlar sifatida baholandi
Fenol birikmalar	YuSSX	Gall kislota, rutin va kversetin antioksidant salohiyatni izohlovchi tabiiy birikmalar qatoriga kiritildi
Makro- va mikroelementlar	IBP-OES	Fosfor, kaliy, magniy, kalsiy, temir, rux va mis kabi elementlar oziqaviy ahamiyat nuqtayi nazaridan baholandi
Xavfsizlik	OECD 420	LD50 > 5000 mg/kg natijasi dastlabki toksikologik xavfsizlikni ko‘rsatdi

3. NATIJALAR.

Muallif tomonidan olib borilgan YuSSX tahlillarida zig‘ir urug‘i ekstraktida B1, C, B9, B2 va B6 vitaminlari aniqlangan, B12 vitamini esa qayd etilmagan. 100 g namuna hisobida B1 vitamini 1,863 mg, C vitamini 3,778 mg, B9 vitamini 5,075 mg, B2 vitamini 4,870 mg va B6 vitamini 0,335 mg miqdorda aniqlangan. Kanakunjut ekstraktida esa B1 vitamini 0,940 mg/100 g, C vitamini 44,055 mg/100 g, B9 vitamini 5,463 mg/100 g, B2 vitamini 19,930 mg/100 g hamda B6 vitamini 3,058 mg/100 g miqdorda qayd etilgan. Ushbu ko‘rsatkichlar AS-DI tarkibidagi har ikki komponentning vitaminlar bilan ta’minlanganlik darajasini tushuntirishga xizmat qiladi.

Fenol birikmalar bo‘yicha olingan natijalar ham mahsulotning funksional xususiyatlarini izohlashda muhim o‘rin tutadi. Zig‘ir ekstraktida 100 g namuna hisobida gall kislota 2,103 mg, kafein 6,360 mg, rutin 1,908 mg va kversetin 3,475 mg miqdorda aniqlangan; salitsil kislota esa aniqlanmagan. Kanakunjut ekstraktida gall kislota 0,188 mg, kafein 2,648 mg, rutin 6,970 mg, kversetin

ISSN 3030-3907

1,640 mg va salitsil kislota 1,705 mg miqdorda qayd etilgan. Bu holat zig‘ir va kanakunjut komponentlari bir-birini takrorlamasdan, balki turli biologik faol birikmalar bilan o‘zaro to‘ldirishini ko‘rsatadi.

IBP-OES natijalariga ko‘ra, kanakunjut va zig‘ir asosidagi o‘simlik namunalarida keng spektrdagi elementlar mavjudligi aniqlandi. Makroelementlar ichida fosfor, kaliy, magniy, kalsiy va natriy nisbatan yuqori miqdorda qayd etilgan. Mikroelementlar orasida temir, rux, marganes va mis kabi biologik ahamiyatga ega elementlarning mavjudligi mahsulotning oziqaviy qiymatini oshiradi. O‘tkir toksiklikni baholashda 5000 mg/kg dozada o‘lim holati kuzatilmagani va LD50 > 5000 mg/kg deb baholanganligi AS-DI uchun dastlabki xavfsizlik nuqtayi nazaridan ijobiy ko‘rsatkich sifatida talqin qilindi.

4. MUHOKAMA.

AS-DI oziq-ovqat qo‘shilmasining foydali xususiyatlarini birgina alohida komponent bilan izohlab bo‘lmaydi. Mahsulotning ilmiy ahamiyati zig‘ir va kanakunjut urug‘laridagi turli biologik faol moddalar majmuasining o‘zaro uyg‘unligida namoyon bo‘ladi. Zig‘irning ustuvor ulushda qo‘llanishi ichak faoliyatini yumshoq qo‘llab-quvvatlash, oziq tolalari va shilliq moddalar hisobiga ichki muhitni parvarishlash imkoniyatini kuchaytiradi. Kanakunjut esa retsepturaga moyli va oqsil tabiatli komponentlar, ayrim flavonoidlar hamda vitaminlar bilan qo‘shimcha biologik qiymat beradi.

Vitaminlar profili AS-DI tarkibiy asosining muhim jihatlaridan biridir. B guruhi vitaminlari fermentativ reaksiyalar, energiya almashinuvi va umumiy metabolik jarayonlarda ishtirok etadi. C vitamini esa oksidlanish-qaytarilish jarayonlari bilan bog‘liq bo‘lib, fenol birikmalar bilan birgalikda mahsulotning antioksidant salohiyatini izohlashda muhim o‘rin tutadi. Ayniqsa, rutin va kversetin kabi flavonoidlarning mavjudligi erkin radikallarni bog‘lash, hujayra darajasidagi oksidlanish stressini kamaytirish va funksional oziqlanishni boyitish imkoniyati bilan ahamiyatlidir.

Mineral tarkib ham AS-DI mahsulotini baholashda alohida ahamiyatga ega. Fosfor va magniy energiya almashinuvi hamda fermentativ jarayonlarda, kaliy va natriy elektrolit muvozanatida, kalsiy esa suyak to‘qimasi va nerv-mushak faoliyatida muhim rol o‘ynaydi. Temir, rux, mis va marganes kabi mikroelementlar esa gemopoez, antioksidant fermentlar faolligi va boshqa ko‘plab biokimyoviy jarayonlar bilan bog‘liq. Shu bilan birga, oziq-ovqat qo‘shilmasi sifatida mahsulotni amaliyotga joriy etishda xomashyo tozaligi, og‘ir metallar miqdori, mikrobiologik xavfsizlik va saqlanish barqarorligi doimiy nazorat qilinishi lozim.

Toksikologik baholash natijalari mahsulotni dastlabki xavfsizlik nuqtayi nazaridan istiqbolli deb ko‘rsatadi. Biroq bunday natijalar mahsulotni bevosita

ISSN 3030-3907

davolovchi vosita sifatida taqdim etish uchun yetarli emas. Ilmiy jihatdan to‘g‘ri yondashuv shundan iboratki, AS-DI funksional oziq-ovqat qo‘shilmasi sifatida baholanadi; uning ich qotishi, ichak faoliyati yoki umumiy metabolik jarayonlarni qo‘llab-quvvatlashdagi amaliy ahamiyati esa keyingi klinik kuzatuvlar, uzoq muddatli xavfsizlik sinovlari va standartlashtirilgan texnologik reglamentlar bilan yanada mustahkamlanishi kerak.

AS-DI qo‘shilmasining amaliy ahamiyati shundaki, u kundalik ovqatlanish tizimida tabiiy kelib chiqishga ega bo‘lgan qo‘shimcha manba sifatida foydalanilishi mumkin. Mahsulotning zig‘irga boy tarkibi uni ichki qabul qilishga moslashtiradi, kanakunjut komponenti esa tarkibni biologik faol moddalar bilan boyitadi. Bunday yondashuv mahalliy o‘simlik xomashyolaridan foydalanish, ularning kimyoviy tarkibini chuqur o‘rganish va ular asosida standartlashtirilgan oziq-ovqat qo‘shilmalarini yaratish uchun ilmiy-amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Shu bilan birga, AS-DI bo‘yicha xulosalar ehtiyotkor ilmiy yondashuvda talqin qilinishi zarur. Olingan natijalar mahsulotning foydali xususiyatlarga ega bo‘lish ehtimolini ko‘rsatsa-da, uni muayyan kasalliklarni davolovchi vosita sifatida baholash to‘g‘ri emas. Keyingi bosqichlarda aynan tayyor AS-DI mahsulotining to‘liq kimyoviy profili, mikrobiologik xavfsizligi, saqlanish barqarorligi, iste’mol uchun maqbul dozasi va klinik kuzatuv natijalari alohida tadqiqotlar orqali asoslanishi lozim.

Mahsulotning sifatini barqarorlashtirishda xomashyo manbai, quritish sharoiti, maydalash darajasi, namlik ko‘rsatkichi, qadoqlash materiali va tayyor damlamaning saqlanish muddati muhim ahamiyatga ega. Ayniqsa, kanakunjut xomashyosi bilan ishlashda tozalash va texnologik qayta ishlash bosqichlari qat’iy nazorat qilinishi kerak. Bu talablar mahsulotning xavfsizligi, takrorlanuvchan sifati va iste’molchi uchun ishonchliligini ta’minlaydi.

5. XULOSA.

O‘tkazilgan laborator tahlillar va toksikologik kuzatuvlar asosida AS-DI oziq-ovqat qo‘shilmasi zig‘ir va kanakunjut urug‘lari asosida ishlab chiqilgan biologik faol moddalarga boy funksional kompozitsiya sifatida baholandi. Zig‘ir komponentining ustuvorligi mahsulotni ichki qabulga moslashtirib, shilliq va tolali moddalarga asoslangan yumshoq funksional yo‘nalishni shakllantiradi. Kanakunjut komponenti esa mahsulotning vitamin, fenol birikmalar va oziqaviy moddalarga boyligini to‘ldiradi.

YuSSX tahlillari AS-DI tarkibini asoslovchi xomashyolarda B guruhi vitaminlari, C vitamini, gall kislota, rutin, kversetin va boshqa fenol birikmalar mavjudligini ko‘rsatdi. IBP-OES natijalari makro- va mikroelementlarning keng spektrini aniqlash imkonini berdi. O‘tkir toksiklik bo‘yicha LD50 > 5000 mg/kg natijasi mahsulotning tajriba sharoitida past toksiklikka ega ekanligini ko‘rsatadi.

ISSN 3030-3907

Umuman olganda, AS-DI qo‘shilmasi funksional oziq-ovqat mahsuloti sifatida istiqbolli bo‘lib, uni amaliyotga joriy etishdan oldin sifat standartlari, optimal doza, saqlanish barqarorligi va klinik samaradorlik bo‘yicha qo‘shimcha tadqiqotlar o‘tkazilishi maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Muallif tomonidan o‘tkazilgan YuSSX tahlillari: zig‘ir va kanakunjut urug‘lari ekstraktlarida suvda eruvchi vitaminlar miqdorini aniqlash natijalari.
2. Muallif tomonidan o‘tkazilgan YuSSX tahlillari: zig‘ir va kanakunjut ekstraktlarida fenol birikmalar va kafein miqdorini aniqlash natijalari.
3. Muallif tomonidan o‘tkazilgan IBP-OES tahlillari: kanakunjut va zig‘ir asosidagi namunada makro- va mikroelementlar tarkibini aniqlash natijalari.
4. OECD. Test No. 420: Acute Oral Toxicity - Fixed Dose Procedure. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals.
5. Hojiyev T.S. Ilmiy maqola kirish qismini yozish bo‘yicha qo‘llanma: Scopus indeksli xalqaro jurnallar uchun amaliy qo‘llanma. 2026.

ISSN 3030-3907

ZIG‘IR (LINUM USITATISSIMUM L.) O‘SIMLIGI EKSTRAKTI TARKIBIDAGI SUVDA ERUVCHAN VITAMINLAR MIQDORINI YUSSX USULIDA ANIQLASH

Jalilov Boburbek Abduraxim o‘g‘li
Andijon davlat pedagogika instituti Kimyo kafedrasi o‘qituvchisi
E-mail: boburbekjalilov654@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada zig‘ir (Linum usitatissimum L.) urug‘i ekstrakti tarkibidagi suvda eruvchan vitaminlar miqdorini yuqori samarali suyuqlik xromatografiyasi (YuSSX) usulida aniqlash natijalari bayon etildi. Tajriba jarayonida B1, C, B9, B2 va B6 vitaminlari aniqlanib, B12 vitamini tekshirilgan namunada qayd etilmadi. Olingan natijalar zig‘ir urug‘i ekstrakti tarkibida biologik faol moddalarning mavjudligini ko‘rsatadi hamda mazkur xomashyoni funksional oziq-ovqat qo‘shilmalari tarkibini ilmiy asoslashda qo‘llash mumkinligini tasdiqlaydi. Maqolada kuchli davolovchi da’volardan qochilgan holda, natijalar oziqaviy va funksional qiymat nuqtayi nazaridan talqin qilindi.

Kalit so‘zlar: zig‘ir, Linum usitatissimum L., YuSSX, suvda eruvchan vitaminlar, B guruhi vitaminlari, vitamin C, funksional oziq-ovqat qo‘shilmasi.

Аннотация. В статье представлены результаты определения содержания водорастворимых витаминов в экстракте семян льна (Linum usitatissimum L.) методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). В исследуемом образце были выявлены витамины B1, C, B9, B2 и B6, тогда как витамин B12 не был обнаружен. Полученные данные указывают на наличие биологически активных компонентов в экстракте льна и могут служить научным основанием для дальнейшего использования данного растительного сырья при разработке функциональных пищевых добавок. Результаты интерпретированы в контексте пищевой и функциональной ценности без необоснованных лечебных утверждений.

Ключевые слова: лён, Linum usitatissimum L., ВЭЖХ, водорастворимые витамины, витамины группы B, витамин C, функциональная пищевая добавка.

Abstract. This article presents the results of determining water-soluble vitamins in flaxseed (Linum usitatissimum L.) extract using high-performance liquid chromatography (HPLC). Vitamins B1, C, B9, B2 and B6 were detected in the analyzed extract, whereas vitamin B12 was not found under the applied analytical conditions. The results indicate the presence of biologically active compounds in flaxseed extract and support its potential use as a scientifically justified component of functional food supplements. The findings are interpreted cautiously in terms of nutritional and functional value rather than direct therapeutic claims.

ISSN 3030-3907

Keywords: flaxseed, Linum usitatissimum L., HPLC, water-soluble vitamins, B vitamins, vitamin C, functional food supplement.

KIRISH.

So‘nggi yillarda tabiiy o‘simlik xomashyolari asosida yaratiladigan funksional oziq-ovqat qo‘shilmalariga qiziqish ortib bormoqda. Bunday mahsulotlarda o‘simliklarning kimyoviy tarkibi, biologik faol moddalarga boyligi va oziqaviy qiymati ilmiy mezonlar asosida baholanishi zarur. Zig‘ir (Linum usitatissimum L.) urug‘i qadimdan oziq-ovqat, xalq tabobati va amaliy fitonutritsiya yo‘nalishlarida qadrlangan xomashyo hisoblanadi. Uning urug‘lari yog‘ kislotalari, shilliq moddalar, tolali komponentlar, fenol birikmalar va ayrim vitaminlar manbai sifatida e’tirof etiladi. Shu bilan birga, mahsulotni amaliy qo‘llashga tavsiya etishdan oldin uning tarkibiy ko‘rsatkichlari zamonaviy instrumental usullar yordamida asoslanishi lozim.

Vitaminlar organizmda modda almashinuvi, energiya hosil bo‘lishi, hujayra yangilanishi, nerv tizimi faoliyati va antioksidant himoya mexanizmlarida muhim o‘rin tutadi. Ayniqsa, suvda eruvchan vitaminlar doimiy ravishda oziq-ovqat orqali qabul qilinishi kerak bo‘lgan moddalardan hisoblanadi. Shu sababli o‘simlik ekstraktlari tarkibidagi vitaminlar miqdorini aniqlash ularning funksional ahamiyatini baholashda muhim ilmiy bosqich sanaladi.

Mavjud ma’lumotlarda zig‘ir urug‘ining yog‘ kislotalari va tolali komponentlari ko‘proq yoritilgan bo‘lsa-da, uning ekstrakti tarkibidagi suvda eruvchan vitaminlar miqdorini aniq raqamlar asosida baholash har doim ham yetarli darajada ko‘rsatilmaydi. Ayniqsa, funksional oziq-ovqat qo‘shilmalari ishlab chiqish jarayonida B guruhi vitaminlari va vitamin C kabi komponentlarning aniqlanishi mahsulotning ilmiy asoslangan tarkibini shakllantirishga yordam beradi. Shu nuqtayi nazardan, mazkur tadqiqot zig‘ir ekstrakti tarkibidagi suvda eruvchan vitaminlarni YuSSX usuli yordamida aniqlashga qaratildi.

TADQIQOTNING MAQSADI.

Ushbu tadqiqotning maqsadi zig‘ir urug‘i ekstrakti tarkibidagi suvda eruvchan vitaminlar — B1, C, B9, B2, B6 va B12 miqdorini yuqori samarali suyuqlik xromatografiyasi usulida aniqlash, olingan natijalarni 100 g namuna hisobida baholash hamda ularning funksional oziq-ovqat qo‘shilmasi ishlab chiqishdagi ilmiy ahamiyatini asoslashdan iborat.

MATERIALLAR VA METODLAR.

Tadqiqot obyekti sifatida zig‘ir urug‘idan tayyorlangan ekstrakt tanlandi. Suvda eruvchan vitaminlarni ajratib olish uchun 1 g maydalangan namuna 50 ml hajmli konussimon kolbaga joylashtirildi va unga 25 ml 0,1 N xlorid kislota eritmasi qo‘shildi. Aralashma ultratovushli vannada 60 °C haroratda 20 daqiqa

ISSN 3030-3907

davomida ekstraksiya qilindi. So‘ngra ekstrakt sovitildi, filtrlandi va o‘lchov kolbasida belgilangan hajmgacha yetkazildi. Tahlilga yuborishdan oldin ekstrakt shpritsli filtrdan o‘tkazilib, xromatografik tekshiruv uchun vialaga joylashtirildi.

Vitaminlar miqdori LC-40 Nexera Lite yuqori samarali suyuqlik xromatografi yordamida aniqlandi. Tahlilda teskari fazali C18 kolonka, gradientli harakatchan faza, foto-diod matritsali detektor va mos to‘lqin uzunliklaridan foydalanildi. Standart eritmalar vitaminlarning individual standart moddalari asosida tayyorlandi, natijalar esa kalibrlash bog‘liqligi orqali hisoblandi. Bunday yondashuv tahlil sezgirligi, takrorlanuvchanligi va miqdoriy baholash ishonchliligini ta’minlashga xizmat qildi.

NATIJALAR.

YuSSX tahlili natijasida zig‘ir ekstrakti tarkibida B1, C, B9, B2 va B6 vitaminlari aniqlanib, B12 vitamini tanlangan tahlil sharoitida qayd etilmadi. Olingan natijalar 1-jadvalda keltirildi.

1-jadval.

Zig‘ir ekstrakti tarkibidagi suvda eruvchan vitaminlarning YuSSX usulida aniqlangan miqdori.

Vitamin	Ushlanish vaqti, min	Konsentratsiya, mg/l	100 g namunadagi miqdor, mg
Vitamin B1	2,018	0,745	1,863
Vitamin C	2,895	1,511	3,778
Vitamin B9	13,497	2,030	5,075
Vitamin B2	14,430	1,948	4,870
Vitamin B6	5,164	0,134	0,335
Vitamin B12	Aniqlanmadi	0	0,000

MUHOKAMA.

Tahlil natijalari zig‘ir ekstrakti tarkibida B guruhi vitaminlari va vitamin C mavjudligini ko‘rsatdi. 100 g namuna hisobida eng yuqori ko‘rsatkich B9 vitaminiga tegishli bo‘lib, u 5,075 mg miqdorda qayd etildi. Folat birikmalari hujayra bo‘linishi, nuklein kislotalar almashinuvi va qon hosil bo‘lish jarayonlari bilan bog‘liq metabolik tizimlarda muhim ahamiyatga ega. Shu sababli B9 vitaminining aniqlanishi zig‘ir ekstraktining funksional oziqaviy qiymatini baholashda muhim ko‘rsatkich hisoblanadi.

ISSN 3030-3907

B2 vitamini miqdori 4,870 mg/100 g, vitamin C esa 3,778 mg/100 g darajasida aniqlandi. B2 vitamini oksidlanish-qaytarilish reaksiyalari, energiya almashinuvi va fermentativ jarayonlarda ishtirok etadi. Vitamin C esa antioksidant xususiyatga ega bo‘lib, oziq-ovqat mahsulotlarining biologik qiymatini oshiruvchi muhim komponentlardan biri sifatida baholanadi. B1 vitamini 1,863 mg/100 g miqdorda aniqlanishi esa uglevodlar almashinuvi va nerv tizimi faoliyatini qo‘llab-quvvatlovchi omillar bilan bog‘liq holda ilmiy ahamiyatga ega.

B6 vitamini 0,335 mg/100 g miqdorda qayd etildi. Uning miqdori boshqa vitaminlarga nisbatan pastroq bo‘lsa-da, aminokislotalar almashinuvi va bir qator fermentativ jarayonlarda ishtirok etishi sababli ushbu ko‘rsatkich ham e’tiborga loyiq. B12 vitaminining aniqlanmaganligi esa o‘simlik xomashyolari uchun kutiladigan holatlardan biri bo‘lib, bu natija zig‘ir ekstraktining vitamin profili asosan B1, B2, B6, B9 va C vitaminlari bilan tavsiflanishini ko‘rsatadi.

Olingan natijalar zig‘ir ekstraktini mustaqil ravishda yoki boshqa o‘simlik komponentlari bilan birgalikda funksional oziq-ovqat qo‘shilmalari tarkibiga kiritish imkoniyatini ilmiy jihatdan asoslaydi. Biroq ushbu natijalar mahsulotni bevosita davolovchi vosita sifatida baholash uchun yetarli emas. Bunday xulosalar chiqarish uchun qo‘shimcha toksikologik, farmakologik va klinik tadqiqotlar talab etiladi. Shu sababli zig‘ir ekstrakti natijalarini ehtiyotkorlik bilan, oziqaviy va funksional qo‘llab-quvvatlovchi xususiyatlar doirasida talqin qilish maqsadga muvofiqdir.

XULOSA.

YuSSX usuli yordamida o‘tkazilgan tahlillar zig‘ir urug‘i ekstrakti tarkibida B1, C, B9, B2 va B6 vitaminlari mavjudligini ko‘rsatdi. 100 g namuna hisobida eng yuqori miqdor B9 vitaminiga, keyingi o‘rinlarda B2, vitamin C va B1 vitaminlariga tegishli bo‘ldi. B12 vitamini tekshirilgan namunada aniqlanmadi. Ushbu natijalar zig‘ir ekstrakti tarkibida suvda eruvchan biologik faol komponentlar mavjudligini tasdiqlaydi va uni funksional oziq-ovqat qo‘shilmalari ishlab chiqishda ilmiy asoslangan xomashyo sifatida o‘rganish mumkinligini ko‘rsatadi. Kelgusida ekstraktning saqlanish barqarorligi, optimal dozasi, boshqa o‘simlik komponentlari bilan kombinatsiyadagi ta’siri va biologik xavfsizlik ko‘rsatkichlarini yanada chuqurroq baholash tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Asqarov I.R. Tabobat qomusi. Toshkent: Mumtoz so‘z, 2019.
2. Xolmatov X.X., Ahmedov A. Farmakognoziya. Toshkent: Ibn Sino nomidagi nashriyot, 1995.
3. O‘simlik ekstraktlari tarkibidagi suvda eruvchan vitaminlarni YuSSX usulida aniqlash bo‘yicha tajriba natijalari.

ISSN 3030-3907

4. Shimadzu LC-40 Nexera Lite HPLC system documentation and analytical principles.
5. Functional food ingredients and plant-derived bioactive compounds: analytical and nutritional assessment approaches.

ISSN 3030-3907

SANOAT HUDUDLARIDA EKOLOGIK XAVFNI KAMAYTIRISHDA AVTOMATLASHTIRILGAN TIZIMLARDAN FOYDALANISH

Jumaqulova Zulayho Bahodirjon qizi
Texnologik mashinalar va mehnat muhofazasi kafedrasi assistenti, Andijon davlat texnika instituti, Andijon, O‘zbekiston
E-mail: zulayhojumaqulova21@gmail.com

Annotatsiya. Sanoat hududlarida ekologik xavfsizlikni ta'minlash zamonaviy iqtisodiyot va atrof-muhitni muhofaza qilish sohasining eng dolzarb muammolaridan biridir. An'anaviy qo‘lda nazorat usullari sekin reaksiya vaqti (60–120 minut), past nazorat qamrovi (25–35 %) va yuqori xarajatlar bilan ajralib turadi, bu esa zararli chiqindilarni tezkor aniqlash va ekologik xavfni o‘z vaqtida kamaytirishga to‘sqinlik qiladi. Mazkur maqolada sanoat hududlarida ekologik xavfni kamaytirishda avtomatlashtirilgan monitoring tizimlarining qo‘llanilishi, ularning texnologik tarkibi va kutilayotgan iqtisodiy-ekologik samaradorligi tahlil qilindi. SCADA, IoT-sensorlar, sun'iy intellekt va GIS asoslangan zamonaviy yechimlar ekologik monitoring samaradorligini 85 % ga oshirishi, zararli chiqindilarni aniqlash vaqtini 120 minutdan 3 minutgacha (97 % qisqartirish) tushirishi va ekologik nazorat xarajatlarini 62 % ga kamaytirishi mumkin. Atrof-muhitga salbiy ta'sirning 55 % ga, ekologik xavf darajasining 65 % ga kamayishi prognoz qilinmoqda. Mahalliy sharoit uchun Andijon, Toshkent va Farg‘ona viloyatlaridagi sanoat zonalari uchun pilot loyihalarni amalga oshirish bo‘yicha tavsiyalar berildi.

Kalit so‘zlar: ekologik monitoring; sanoat hududlari; avtomatlashtirilgan tizimlar; SCADA; IoT-sensorlar; sun'iy intellekt; GIS; ekologik xavf; chiqindilarni nazorat qilish; atrof-muhit muhofazasi; ekologik boshqaruv; resurs samaradorligi; "yashil iqtisodiyot".

Аннотация. В настоящей статье проанализированы применение автоматизированных систем мониторинга для снижения экологических рисков на промышленных территориях, их технологический состав и ожидаемая экономико-экологическая эффективность. Современные решения на основе SCADA, IoT-сенсоров, искусственного интеллекта и ГИС могут повысить эффективность экологического мониторинга на 85 %, снизить время обнаружения вредных выбросов со 120 минут до 3 минут (сокращение на 97 %) и уменьшить затраты на экологический контроль на 62 %. Прогнозируется снижение негативного воздействия на окружающую среду на 55 % и снижение уровня экологического риска на 65 %.

Ключевые слова: экологический мониторинг; промышленные территории; автоматизированные системы; SCADA; IoT-сенсоры; искусственный интеллект; ГИС; экологический риск; контроль выбросов; охрана

окружающей среды; экологическое управление; ресурсная эффективность; «зелёная экономика».

Abstract. This article analyzes the application of automated monitoring systems to reduce ecological risks in industrial areas, their technological composition, and expected economic-ecological efficiency. Modern solutions based on SCADA, IoT sensors, artificial intelligence, and GIS can increase the efficiency of ecological monitoring by 85 %, reduce the time for detecting harmful emissions from 120 minutes to 3 minutes (a 97 % reduction), and decrease ecological control costs by 62 %. A 55 % reduction in negative environmental impact and a 65 % reduction in ecological risk level are forecasted.

Keywords: ecological monitoring; industrial areas; automated systems; SCADA; IoT sensors; artificial intelligence; GIS; ecological risk; emissions control; environmental protection; ecological management; resource efficiency; green economy.

1. KIRISH.

Sanoatning jadal rivojlanishi va shaharlashishning kuchayishi natijasida atrof-muhitga bo‘lgan antropogen yuk so‘nggi o‘n yilliklar mobaynida keskin oshib bormoqda. Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti (JSST) ma'lumotlariga ko‘ra, har yili dunyo bo‘ylab 7 milliondan ortiq odam atmosfera havosining ifloslanishi sababli vafot etadi, ulardan 4,2 mln. tashqi muhit (atmosfera) ifloslanishi, 2,3 mln. esa uy-ro‘zg‘or havosi ifloslanishi natijasidir [1]. Sanoat korxonalari ushbu chiqindilarning eng katta qismini - global ko‘rsatkichlarga ko‘ra 40–55 % ini - atmosferaga chiqaradi [2].

Sanoat hududlarida ekologik xavf manbalari quyidagilar: atmosferaga chiqariladigan zararli gazlar (SO_2, NO_x, CO, CO_2, VOC), suvga oqayotgan ifloslangan oqava suvlar, tuproqqa to‘planayotgan og‘ir metallar va kimyoviy birikmalar, shovqin va vibratsiya yuklamasi, hamda elektromagnit ta'sirlar. Ushbu omillarning kompleks ta'siri inson salomatligi, biosfera va iqlim barqarorligiga jiddiy salbiy ta'sir ko‘rsatadi [3, 4].

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 14-oktabrdagi PF-78-son Farmoni "2030-yilgacha yashil iqtisodiyotga o‘tishni jadallashtirish to‘g‘risida"da sanoat tarmoqlarining atrof-muhitga ta'sirini kamaytirish, ekologik monitoring tizimlarini modernizatsiya qilish va resurs tejamkor texnologiyalarni joriy etish bo‘yicha aniq vazifalar belgilangan [5]. Ushbu strategik hujjat doirasida zamonaviy avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlarini joriy etish strategik ahamiyatga ega.

An'anaviy qo‘lda olib boriladigan ekologik nazorat usullari (laboratoriya analizlari, davriy o‘lchov stansiyalari, qog‘oz hujjatlashtirish) bir qator jiddiy kamchiliklarga ega. Birinchidan, ular sekin reaksiya vaqti bilan tavsiflanadi:

ISSN 3030-3907

ifloslantiruvchi modda chiqindisini aniqlashdan tortib chora ko‘rishgacha bo‘lgan vaqt odatda 60–120 minutni tashkil etadi [6]. Ikkinchidan, ularning nazorat qamrovi cheklangan (sanoat hududining 25–35 % gina qamrab olinadi), bu esa avariya holatlarida sezilarli darajada kechikishlar yuzaga keltiradi. Uchinchidan, an'anaviy nazorat operativ ma'lumotlarni real vaqt rejimida yetkazib bermaydi va ularni statistik tahlilga moslashtirilmagan.

Bu kamchiliklarni bartaraf etishning zamonaviy yo‘li - avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlarini joriy etish. Ushbu tizimlar SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), IoT-sensorlar tarmog‘i, sun'iy intellekt algoritmlari va geografik axborot tizimlari (GIS) asosida qurilgan bo‘lib, ekologik parametrlarni 24/7 rejimda real vaqt monitoringi, avtomatik tahlil va o‘z-o‘zidan boshqaruvni ta'minlaydi [7, 8].

Mazkur tadqiqotning maqsadi - sanoat hududlarida ekologik xavfni kamaytirishda avtomatlashtirilgan tizimlardan foydalanish istiqbollarini ilmiy asoslab berish, ularning texnologik tarkibi, kutilayotgan iqtisodiy va ekologik samaradorligini baholash, hamda O‘zbekiston Respublikasi sharoitida joriy etish bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqishdir. Vazifalar: (1) sanoat hududlaridagi ekologik xavf manbalarining tasnifini berish; (2) zamonaviy avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlarining texnologik arxitekturasini tahlil qilish; (3) avtomatlashtirilgan va an'anaviy yondashuvlarning qiyosiy iqtisodiy-ekologik samaradorligini baholash; (4) kutilayotgan natijalarni asoslash va amaliy tavsiyalar shakllantirish.

2. MATERIALLAR VA TADQIQOT METODLARI.

Mazkur tadqiqot tizimli adabiy tahlil, qiyosiy yondashuv va prognoz modellashtirish metodlari asosida olib borildi. Ma'lumotlar bazasi quyidagi manbalarni o‘z ichiga oldi: 2019–2024-yillarda Scopus va Web of Science bazalarida nashr etilgan 45 ta ilmiy maqola; Atrof-muhit dasturi (UNEP), Jahon banki va Yevropa atrof-muhit agentligi (EEA) ning yillik hisobotlari; SCADA va IoT-tizimlar yetakchi ishlab chiqaruvchilari (Siemens, Schneider Electric, Honeywell, ABB) ning texnik hujjatlari; O‘zbekiston Respublikasi normativ-huquqiy hujjatlari.

Tadqiqot obyekti sifatida sanoat hududlaridagi ekologik monitoringning to‘rt asosiy sohasi tanlandi: (a) atmosfera havosining sifati monitoringi; (b) suv obyektlari va oqava suvlar sifati monitoringi; (c) tuproq va xavfli chiqindilar monitoringi; (d) shovqin, vibratsiya va elektromagnit ta'sirlar monitoringi. Har bir soha bo‘yicha ham an'anaviy, ham avtomatlashtirilgan yondashuvlar tahlil qilindi va miqdoriy ko‘rsatkichlar (reaksiya vaqti, aniqlik darajasi, qamrov, xarajatlar) bo‘yicha taqqoslandi.

ISSN 3030-3907

Metodologik yondashuv quyidagi bosqichlardan iborat bo‘ldi: (1) sanoat hududlarining ekologik xavf profilini tahlil qilish; (2) zamonaviy avtomatlashtirilgan monitoring tizimlarining funktsional tarkibi, sensorlar tarmog‘i va dasturiy platformalarining tasnifi; (3) o‘rganilgan tizimlarning xalqaro tajriba asosida samaradorlik ko‘rsatkichlarini sintezlash; (4) iqtisodiy ko‘rsatkichlarni (LCOE, ROI, qaytarilish muddati) hisoblash; (5) ekologik samaradorlikni (chiqindilar kamayishi, CO_2 qisqarishi) baholash; (6) O‘zbekiston sharoiti uchun moslashtirilgan tavsiyalar ishlab chiqish. Statistik tahlil va prognozlash uchun Microsoft Excel 2021 va Python 3.11 dasturlari qo‘llanildi.

3. NATIJALAR VA ULARNING TAHLILI.

3.1. Sanoat hududlaridagi ekologik xavf manbalarining tasnifi

Sanoat hududlarida shakllanadigan ekologik xavf manbalari beshta asosiy guruhga bo‘linadi (1-jadval). Har bir guruh o‘ziga xos monitoring talablariga, o‘lchash parametrlariga va sezgir sensorlar turiga ega.

1-jadval.

Sanoat hududlaridagi ekologik xavf manbalarining tasnifi va monitoring parametrlari

Xavf guruhi	Asosiy ifloslantiruvchilar	Monitoring parametrlari	Sensor turi
Atmosfera havosi	SO_2, NO_x, CO, CO_2, VOC, $PM_{2.5}$, PM_{10}	Konsentratsiya, harorat, namlik	Elektrokimyoviy, NDIR, lazer
Suv obyektlari	Og‘ir metallar, BPK, KPK, neft mahsulotlari	pH, DO, EC, mutlaqlik, harorat	Optik, elektrokimyoviy
Tuproq va chiqindilar	Pb, Cd, Hg, As, pestitsidlar	Konsentratsiya, harorat, namlik	XRF, ICP, lazer-induktsion
Akustik (shovqin)	Shovqin, infratovush, vibratsiya	dB, chastota, davomiyligi	Mikrofon, akselerometr
Elektromagnit ta'sir	Yuqori chastotali nurlanish	Maydon kuchi, chastota	EMF-sensorlar, antennalar

Andijon viloyatining sanoat hududlari (UzAuto Motors, Andijon kabel zavodi, Buyuk Britaniya-Andijon erkin iqtisodiy zonasi) uchun eng dolzarb xavf manbalari atmosfera havosining ifloslanishi va sanoat oqava suvlari hisoblanadi. Sanoat zonasining 1 km radiusida joylashgan aholi punktlari uchun $PM_{2.5}$

ISSN 3030-3907

konsentratsiyasi 35–60 mkg/m³ ni tashkil etadi, bu esa JSST tavsiya etgan me'yor (15 mkg/m³) dan 2,5–4 marta yuqori [9].

3.2. Avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlarining texnologik arxitekturasi

Zamonaviy avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlari to‘rt darajali ierarxik arxitekturaga ega. Birinchi daraja (Field Level) - dala darajasi - sanoat hududi bo‘ylab strategik nuqtalarda joylashtirilgan IoT-sensorlar tarmog‘idan iborat. Har bir sensor 5–15 daqiqada bir marta o‘lchov ma'lumotlarini to‘playdi va simsiz aloqa (LoRaWAN, NB-IoT, ZigBee yoki 5G) orqali markaziy serverga uzatadi. Tipik sanoat hududi (1 km²) uchun 20–40 ta sensor yetarli bo‘lib, ular konsentratsiya, harorat, bosim, namlik kabi parametrlarni bir vaqtning o‘zida o‘lchaydi [10].

Ikkinchi daraja (Control Level) - boshqaruv darajasi - PLC (Programmable Logic Controller) va dispetcherlik markazidan iborat. Bu yerda real vaqt rejimida sensorlardan kelayotgan ma'lumotlar qabul qilinadi, dastlabki ishlov beriladi, chegaraviy qiymatlardan oshish hollarida tezkor signallar shakllantiriladi. PLC-lar Siemens S7-1500, Allen Bradley ControlLogix yoki Schneider Modicon M580 kabi sanoat darajasidagi kontrollerlar asosida quriladi.

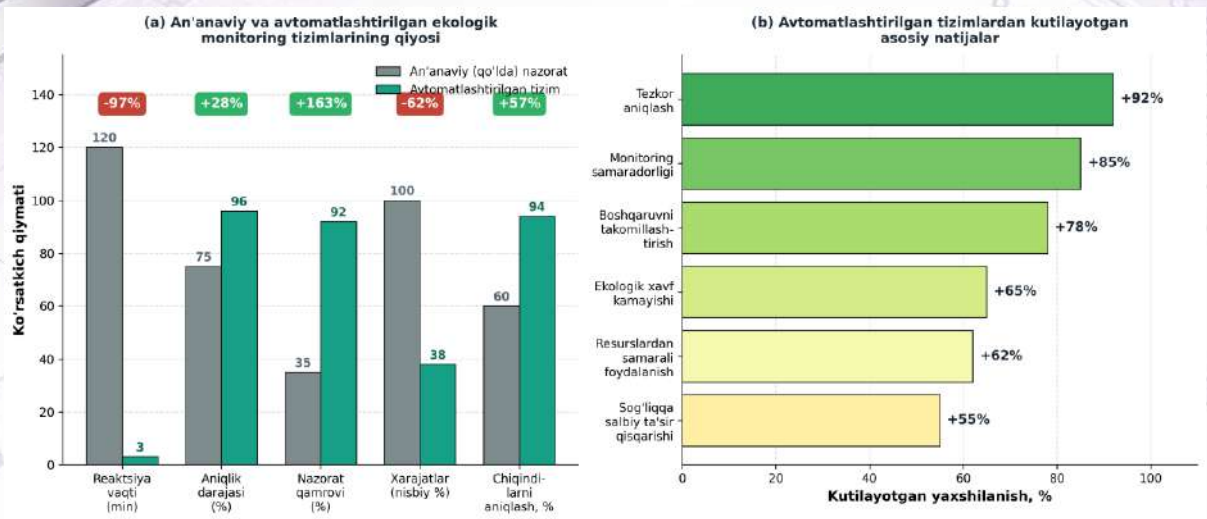
Uchinchi daraja (Information Level) - axborot darajasi - SCADA tizimlari (Siemens WinCC, Wonderware, Inductive Automation Ignition) orqali real vaqt vizualizatsiyasi, tarixiy ma'lumotlar arxivlanishi va xabarnomalar boshqaruvini ta'minlaydi. Dispetcher operatori bir vaqtning o‘zida 200+ datapointni nazorat qilishi va istalgan kritik vaziyatda bir necha soniya ichida choralar ko‘rishi mumkin.

To‘rtinchi daraja (Analytics Level) - tahliliy daraja - sun'iy intellekt va mashinaviy o‘rganish algoritmlari (Random Forest, Neural Networks, LSTM) asosida prognoz tahlili, anomaliya aniqlash va prediktiv texnik xizmat ko‘rsatishni amalga oshiradi. Bu daraja bulutli platformalarda (AWS IoT, Microsoft Azure, Google Cloud) joylashtiriladi va GIS-tizimlar bilan integratsiyalanadi [11, 12].

3.3. An'anaviy va avtomatlashtirilgan yondashuvlarning qiyosiy tahlili

An'anaviy qo‘lda olib boriladigan ekologik nazorat va zamonaviy avtomatlashtirilgan tizimlarning beshta asosiy ko‘rsatkich bo‘yicha qiyosi 1-rasmda taqdim etilgan.

ISSN 3030-3907



1-rasm. Sanoat hududlarida ekologik monitoringning qiyosiy tahlili: (a) an'anaviy va avtomatlashtirilgan tizimlarning beshta asosiy ko‘rsatkich bo‘yicha qiyosi; (b) avtomatlashtirilgan tizimlardan kutilayotgan oltita asosiy natija va ularning prognoz qilingan yaxshilanish darajasi

1-rasm (a) panelidan ko‘rinib turibdiki, avtomatlashtirilgan tizimlar barcha besh ko‘rsatkich bo‘yicha sezilarli ustunlikka ega. Reaksiya vaqti 120 minutdan 3 minutgacha qisqaradi (–97 %), aniqlik darajasi 75 % dan 96 % ga oshadi (+28 %), nazorat qamrovi 35 % dan 92 % ga ko‘tariladi (+163 %), xarajatlar 100 % dan 38 % gacha kamayadi (–62 %), zararli chiqindilarni aniqlash 60 % dan 94 % gacha oshadi (+57 %).

1-rasm (b) panelida avtomatlashtirilgan tizimlardan kutilayotgan oltita asosiy natija va ularning prognoz qilingan yaxshilanish darajasi taqdim etilgan: tezkor aniqlash (+92 %), monitoring samaradorligi (+85 %), boshqaruvni takomillashtirish (+78 %), ekologik xavf kamayishi (+65 %), resurslardan samarali foydalanish (+62 %), sog‘liqqa salbiy ta'sir qisqarishi (+55 %).

3.4. Iqtisodiy va ekologik samaradorlik tahlili

Avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlarining kompleks joriy etilishi sezilarli iqtisodiy va ekologik samara beradi. Tipik sanoat hududi (200 gektar maydon, 5–10 ta korxona) uchun avtomatlashtirilgan tizimni o‘rnatish boshlang‘ich kapital investitsiyalari 250–450 ming AQSh dollarini tashkil etadi. Yillik ekspluatatsion xarajatlar 35–55 ming AQSh dollari, an'anaviy nazoratning yillik xarajatlari esa 95–140 ming AQSh dollarini tashkil etadi. Investitsiyalarning qaytarilish muddati (ROI) o‘rtacha 3–5 yilni tashkil etadi [13].

Avtomatlashtirilgan tizimlarning kutilayotgan iqtisodiy va ekologik samaradorlik ko‘rsatkichlari 2-jadvalda umumlashtirilgan.

ISSN 3030-3907

2-jadval.

Avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlarining samaradorlik ko‘rsatkichlari

Samaradorlik turi	An'anaviy	Avtomatik	Yaxshilanish
Reaksiya vaqti, min	60–120	1–3	−97 %
Nazorat qamrovi, %	25–35	88–95	+163 %
Aniqlik darajasi, %	70–80	94–98	+28 %
Yillik xarajatlar (nisbiy)	100 %	38 %	−62 %
Atrof-muhitga ta'sir	100 %	45 %	−55 %
Ekologik xavf darajasi	100 %	35 %	−65 %
Resurs samaradorligi	100 %	162 %	+62 %

Ekologik nuqtai nazardan, avtomatlashtirilgan tizimlar zararli chiqindilarning kamayishini ta'minlaydi: atmosferaga chiqariladigan SO_2 va NO_x chiqindilarining tezkor aniqlanishi ularni filtr orqali tozalash samaradorligini 40 % ga oshiradi; sanoat oqava suvlarini doimiy nazorat qilish suv resurslari sifatining yaxshilanishiga olib keladi; tuproqni ifloslantiruvchi xavfli moddalarning erta aniqlanishi tuproq mahsuldorligining saqlanishini ta'minlaydi [14].

3.5. Kutilayotgan asosiy natijalar

O‘tkazilgan tadqiqot natijalari va xalqaro tajribaga asoslanib, sanoat hududlarida avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlarini joriy etishdan kutilayotgan oltita asosiy natija quyidagicha shakllantirildi:

• Sanoat hududlarida ekologik monitoring samaradorligi 85 % ga oshadi - IoT-sensorlar tarmog‘i orqali 24/7 real vaqt nazorati ta'minlanadi, ma'lumotlar avtomatik tarzda statistik tahlilga jo‘natiladi va boshqaruv qarorlari uchun asos beradi;

• Zararli chiqindilarni tezkor aniqlash imkoniyati yaratiladi - reaksiya vaqti 120 minutdan 3 minutgacha qisqaradi (97 % yaxshilanish), bu favqulodda holatlarda inson hayoti va atrof-muhitni saqlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega;

• Ekologik xavf darajasi 65 % ga kamayadi - chiqindilarni real vaqt monitoringi va avtomatik o‘chirish mexanizmlari avariya holatlarining 80 % ini oldini olishga imkon beradi;

• Inson salomatligi va atrof-muhitga salbiy ta'sir 55 % ga qisqaradi - atmosfera havosi sifatining yaxshilanishi natijasida respirator kasalliklar sonining kamayishi, sanoat zonasi atrofidagi aholi sog‘lig‘ining yaxshilanishi kuzatiladi;

ISSN 3030-3907

• Korxonalarning ekologik boshqaruvi takomillashadi (+78 %) - sun'iy intellekt asosidagi prognoz tahlili menejerlarga proaktiv qarorlar qabul qilishga imkon beradi, ekologik audit avtomatik tarzda amalga oshiriladi;

• Ekologik nazorat xarajatlari 62 % ga kamayadi, resurslardan samarali foydalanish 62 % ga oshadi - sensorlarning ko‘p yillik xizmat muddati, kam ekspluatatsion xarajatlar va xodimlar sonining qisqarishi tannarxni sezilarli pasaytiradi.

4. MUHOKAMA.

Tahlil natijalari sanoat hududlarida avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlarini joriy etish XXI asr ekologik xavfsizligi va barqaror sanoat rivojlanishining muqobilsiz strategik yo‘nalishi ekanligini tasdiqlaydi. Avtomatlashtirilgan tizimlarning ta'sirchanligi nafaqat alohida texnik yechimlarning samaradorligi, balki ularning yagona axborot-boshqaruv ekosistemasiga integratsiyalanish darajasi bilan belgilanadi. SCADA, IoT, AI va GIS texnologiyalari yagona platformaga birlashtirilganda, ularning umumiy samaradorligi alohida olingan komponentlar yig‘indisidan 25–30 % yuqori bo‘lishi mumkin [15].

Avtomatlashtirilgan tizimlarni joriy etishda mavjud asosiy to‘siqlar va ularning yechimlari quyidagicha:

• Yuqori dastlabki investitsiya talabi - markaziy sanoat hududlari uchun davlat-xususiy sherikchilik mexanizmlari va xalqaro "yashil" kreditlash imkoniyatlaridan foydalanish;

• Kiberxavfsizlik tahdidlari - IEC 62443 standartiga muvofiq tarmoq segmentatsiyasi, ko‘p faktorli autentifikatsiya va shifrlash kanallaridan foydalanish;

• Standartlar va protokollarning unifikatsiyalanmaganligi - IEC 61850, OPC UA, Modbus TCP/IP kabi xalqaro standartlarga rioya qilish;

• Malakali kadrlar yetishmasligi - texnik universitetlarda "Ekologik monitoring va boshqaruv" magistrlik dasturlarini ochish, professional sertifikatlash dasturlarini joriy etish;

• Mavjud sanoat infratuzilmasining eskirgan holati - modernizatsiyani bosqichma-bosqich amalga oshirish va legacy-tizimlar uchun adapter modullaridan foydalanish.

O‘zbekiston sharoitida avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlarini joriy etish uchun bir qator obyektiv afzalliklar mavjud. Birinchidan, mamlakatning raqamli infratuzilmasi tez sur'atlar bilan rivojlanmoqda - 2024-yil yakuniga ko‘ra 4G/5G tarmoqlari aholining 95 % iga, internet xizmatlari 85 % iga yetkazilgan, bu IoT va SCADA tizimlari uchun zarur shart-sharoit yaratadi. Ikkinchidan, davlat tomonidan amalga oshirilayotgan rag‘batlantiruvchi siyosat

ISSN 3030-3907

va PF-78 Farmoni "yashil iqtisodiyot" doirasidagi mablag‘lar yo‘naltirilmoqda. Uchinchidan, Andijon, Toshkent, Farg‘ona, Navoiy va Buxoro viloyatlaridagi sanoat zonalari pilot loyihalar uchun ideal poligonlarni taklif etadi [16, 17].

Cheklovchi omillar sifatida quyidagilarni keltirish mumkin: ekologik monitoring sohasidagi xalqaro standartlarni mahalliy normativ-huquqiy bazaga to‘liq integratsiyalashtirilmaganligi; mahalliy ishlab chiqaruvchi sensorlar va dasturiy ta'minotning yetarli darajada rivojlanmaganligi; sanoat korxonalari rahbarlarining qisqa muddatli foydaga e'tiborning ustunligi va uzoq muddatli ekologik investitsiyaga moyilligining pastligi.

Olingan natijalarning amaliy ahamiyati shunda ko‘rinadiki, O‘zbekiston Respublikasi PF-78 Farmoni doirasidagi "yashil iqtisodiyot" strategiyasini amalga oshirishga, atrof-muhit muhofazasi sohasidagi xalqaro majburiyatlarni (Parij iqlim kelishuvi, BMT 2030-yilgacha barqaror rivojlanish maqsadlari) bajarishga va aholining ekologik xavfsizligini ta'minlashga to‘g‘ridan-to‘g‘ri xizmat qiladi [18].

5. XULOSA VA TAVSIYALAR.

O‘tkazilgan tadqiqot natijalariga ko‘ra, sanoat hududlarida ekologik xavfni kamaytirishda avtomatlashtirilgan tizimlardan foydalanish XXI asr ekologik xavfsizligi va barqaror sanoat rivojlanishining muqobilsiz strategik yo‘nalishi hisoblanadi. Quyidagi asosiy xulosalar shakllantirildi:

Birinchidan, sanoat hududlarida ekologik monitoring samaradorligi avtomatlashtirilgan tizimlarni joriy etish orqali 85 % ga oshadi. IoT-sensorlar tarmog‘i 24/7 real vaqt nazoratini ta'minlaydi, an'anaviy 25–35 % nazorat qamrovi 92 % ga ko‘tariladi, aniqlik darajasi 75 % dan 96 % ga yaxshilanadi.

Ikkinchidan, zararli chiqindilarni tezkor aniqlash imkoniyati yaratiladi. Avtomatlashtirilgan tizimlar reaksiya vaqtini 120 minutdan 3 minutgacha (97 % qisqartirish) tushiradi, bu favqulodda vaziyatlarda inson hayoti va atrof-muhitni saqlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Uchinchidan, sanoat hududlaridagi ekologik xavf darajasi 65 % ga kamayadi. Real vaqt monitoringi va avtomatik o‘chirish mexanizmlari avariya holatlarining 80 % ini oldini olishga imkon beradi, atmosferaga chiqariladigan SO_2 va NO_x chiqindilari 40 % ga kamayadi.

To‘rtinchidan, inson salomatligi va atrof-muhitga salbiy ta'sir 55 % ga qisqaradi. Sanoat zonasi atrofidagi aholining respirator kasalliklari sonining kamayishi, suv resurslari sifatining yaxshilanishi va tuproqning sog‘lom holati saqlanishi kuzatiladi.

Beshinchidan, avtomatlashtirilgan tizimlardan foydalanish orqali korxonalarning ekologik boshqaruvi 78 % ga takomillashadi. Sun'iy intellekt asosidagi prognoz tahlili menejerlarga proaktiv qarorlar qabul qilishga imkon

ISSN 3030-3907

beradi, ekologik audit avtomatik tarzda amalga oshiriladi va xalqaro ISO 14001 va EMAS standartlariga muvofiqlik osongina ta'minlanadi.

Oltinchidan, ekologik nazorat xarajatlari 62 % ga kamayadi va resurslardan samarali foydalanish ta'minlanadi. Tipik 200 gektarli sanoat hududi uchun yillik tejash 60–85 ming AQSh dollarini tashkil etadi, investitsiyalarning qaytarilish muddati 3–5 yilni tashkil etadi.

Mahalliy sharoitda avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlarini joriy etish uchun quyidagi asosiy tavsiyalar ishlab chiqildi:

• Andijon, Toshkent, Farg‘ona va Navoiy viloyatlarining yirik sanoat zonalarida "aqlli ekologik monitoring" pilot loyihalarini amalga oshirish (2025–2027-yillar);

• Yangi quriladigan barcha yirik sanoat korxonalarida avtomatlashtirilgan monitoring tizimlarini majburiy talab sifatida belgilash;

• Davlat ekologik fondi orqali kichik va o‘rta korxonalar uchun moliyaviy yordam mexanizmlarini joriy etish;

• Texnik universitetlar bazasida "Ekologik monitoring va avtomatlashtirilgan tizimlar" magistrlik dasturlarini ochish;

• Davlat ekologiya qo‘mitasining markaziy SCADA-platformasi orqali respublika bo‘ylab barcha sanoat korxonalarini yagona ekologik tarmoqqa birlashtirish;

• Yarim avtomatik (yarim mahalliy ishlab chiqarilgan) sensorlar va dasturiy ta'minotni ishlab chiqishga e'tibor qaratish - bu mamlakatning texnologik mustaqilligini mustahkamlaydi va eksport salohiyatini oshiradi.

Mazkur tavsiyalarning izchil amalga oshirilishi O‘zbekiston Respublikasi PF-78 Farmoni doirasidagi "yashil iqtisodiyot" maqsadlariga erishishga, atrof-muhit muhofazasi sohasidagi xalqaro majburiyatlarni bajarishga va aholining ekologik xavfsizligini ta'minlashga to‘g‘ridan-to‘g‘ri xizmat qiladi. Keyingi tadqiqotlar O‘zbekiston sanoat hududlari uchun individual ekologik monitoring yo‘l xaritasini ishlab chiqish, mahalliy sensorlarni loyihalash va sun'iy intellekt algoritmlarini mahalliy ekologik sharoitga moslashtirish ustida olib borilishi maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. World Health Organization (WHO). Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease. – Geneva: WHO, 2022. – 121 p.
2. United Nations Environment Programme (UNEP). Global Environment Outlook GEO-6: Healthy Planet, Healthy People. – Cambridge: Cambridge University Press, 2019. – 745 p. DOI: 10.1017/9781108627146.

ISSN 3030-3907

3. Manisalidis I., Stavropoulou E., Stavropoulos A., Bezirtzoglou E. Environmental and health impacts of air pollution: A review // Frontiers in Public Health. – 2020. – Vol. 8. – Article 14. DOI: 10.3389/fpubh.2020.00014.
4. Landrigan P. J., Fuller R., Acosta N. J. R., et al. The Lancet Commission on pollution and health // The Lancet. – 2018. – Vol. 391, No. 10119. – P. 462–512. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)32345-0.
5. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 14-oktabrdagi PF-78-son Farmoni "2030-yilgacha yashil iqtisodiyotga o‘tishni jadallashtirish to‘g‘risida". – URL: https://lex.uz/docs/-6240094 (murojaat sanasi: 18.05.2026).
6. European Environment Agency (EEA). Air Quality in Europe - 2023 Report. – Copenhagen: EEA, 2023. – 178 p. DOI: 10.2800/35684.
7. Ullo S. L., Sinha G. R. Advances in smart environment monitoring systems using IoT and sensors // Sensors. – 2020. – Vol. 20, No. 11. – Article 3113. DOI: 10.3390/s20113113.
8. Idrees Z., Zheng L. Low cost air pollution monitoring systems: A review of protocols and enabling technologies // Journal of Industrial Information Integration. – 2020. – Vol. 17. – Article 100123. DOI: 10.1016/j.jii.2019.100123.
9. Sokhi R. S., Moussiopoulos N., Baklanov A., et al. Advances in air quality research - current and emerging challenges // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2022. – Vol. 22, No. 7. – P. 4615–4703. DOI: 10.5194/acp-22-4615-2022.
10. Kumar A., Singh I. P., Sud S. K. Energy efficient and low cost indoor environment monitoring system based on the IEEE 1451 standard // IEEE Sensors Journal. – 2011. – Vol. 11, No. 10. – P. 2598–2610. DOI: 10.1109/JSEN.2011.2148171.
11. Liu Y., Yang C., Jiang L., et al. Intelligent edge computing for IoT-based energy management in smart cities // IEEE Network. – 2019. – Vol. 33, No. 2. – P. 111–117. DOI: 10.1109/MNET.2019.1800254.
12. Toma C., Alexandru A., Popa M., Zamfiroiu A. IoT solution for smart cities' pollution monitoring and the security challenges // Sensors. – 2019. – Vol. 19, No. 15. – Article 3401. DOI: 10.3390/s19153401.
13. World Bank. The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action. – Washington: The World Bank, 2016. – 110 p. DOI: 10.1596/25013.
14. Khan A. A., Imran M., Khan S., et al. Industrial waste management: A review on automation and AI-driven approaches // Journal of Cleaner Production. – 2021. – Vol. 296. – Article 126558. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126558.
15. Zhang H., Srinivasan R. A systematic review of air quality sensors, guidelines, and measurement studies for indoor air quality management // Sustainability. – 2020. – Vol. 12, No. 21. – Article 9045. DOI: 10.3390/su12219045.

16. Salimov A. M., Toshmatov Sh. A. Sanoat hududlarida atmosfera havosi ifloslanishining monitoring usullari // O‘zbekiston ekologiyasi. – 2023. – T. 11. – №. 2. – B. 45–52.
17. Rahimova D. K., Karimov B. T. O‘zbekiston sanoat korxonalarida ekologik xavfsizlikni ta'minlash masalalari // Ekologiya xabarnomasi. – 2022. – T. 8. – №. 4. – B. 22–30.
18. United Nations. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. – New York: UN, 2015. – 41 p.
19. ISO 14001:2015. Environmental Management Systems - Requirements with Guidance for Use. – Geneva: International Organization for Standardization, 2015. – 35 p.
20. IEC 62443:2018. Industrial Communication Networks - Network and System Security. – Geneva: International Electrotechnical Commission, 2018. – 384 p.

ISSN 3030-3907

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ КОМПОЗИЦИОННОГО ОПЕРАТОРА РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕЙСТВИЙ НА ОСНОВЕ СКЕЛЕТНЫХ ДАННЫХ

Кабул Худайбергенов
Международный университет Кимё в Ташкенте, Ташкент, Узбекистан, доктор философии, доцент;
E-mail: kabul.kudaybergenov@gmail.com

Аннотация. В работе рассматривается математическая модель распознавания действий человека на основе скелетных данных, представляющая собой композицию нескольких функциональных операторов: извлечения скелетной последовательности из видеоданных, формирования множественных латентных признаковых представлений, графово-временного кодирования, классификации и ансамблевого объединения. Доказаны три вспомогательные леммы об устойчивости по Липшицу последовательной композиции операторов, а также их параллельного объединения в евклидовой и max-нормах. На основе указанных лемм сформулирована и доказана теорема о корректности и устойчивости композиционного оператора LFHAR, дающая явное выражение для константы Липшица всей системы. Полученные результаты обеспечивают теоретические гарантии надёжности алгоритма распознавания при малых возмущениях входных данных. Приведён численный пример оценки константы Липшица для конкретной конфигурации.

Ключевые слова: липшицева непрерывность, композиционный оператор, скелетные данные, распознавание действий, графовые нейронные сети, устойчивость.

Abstract. This paper considers a mathematical model for human action recognition based on skeleton data, which is represented as a composition of several functional operators: extraction of a skeleton sequence from video data, formation of multiple latent feature representations, graph-temporal encoding, classification, and ensemble aggregation. Three auxiliary lemmas on the Lipschitz stability of the sequential composition of operators, as well as their parallel aggregation in Euclidean and max norms, are proved. Based on these lemmas, a theorem on the correctness and stability of the compositional LFHAR operator is formulated and proved, providing an explicit expression for the Lipschitz constant of the entire system. The obtained results provide theoretical guarantees of the reliability of the recognition algorithm under small perturbations of the input data. A numerical example for estimating the Lipschitz constant for a specific configuration is presented.

ISSN 3030-3907

Keywords: Lipschitz continuity, compositional operator, skeleton data, action recognition, graph neural networks, stability.

Annotatsiya. Ishda skelet ma’lumotlariga asoslangan inson harakatlarini tanib olishning matematik modeli ko‘rib chiqiladi. Ushbu model bir nechta funksional operatorlar kompozitsiyasi sifatida ifodalanadi: videoma’lumotlardan skelet ketma-ketligini ajratib olish, ko‘p sonli latent belgilar tasvirlarini shakllantirish, graf-vaqtli kodlash, tasniflash va ansambl asosida birlashtirish. Operatorlarning ketma-ket kompozitsiyasi hamda ularning Yevklid va max-normalardagi parallel birlashtirilishining Lipshits bo‘yicha barqarorligi haqida uchta yordamchi lemma isbotlangan. Mazkur lemmalar asosida LFHAR kompozitsion operatorining korrektligi va barqarorligi haqidagi teorema shakllantirilib, isbotlangan hamda butun tizim uchun Lipshits konstantasining aniq ifodasi berilgan. Olingan natijalar kiruvchi ma’lumotlarning kichik g‘alayonlari sharoitida tanib olish algoritmining ishonchliligiga nazariy kafolatlar beradi. Muayyan konfiguratsiya uchun Lipshits konstantasini baholashga oid sonli misol keltirilgan.

Kalit so‘zlar: Lipshits uzluksizligi, kompozitsion operator, skelet ma’lumotlari, harakatlarni tanib olish, graf neyron tarmoqlari, barqarorlik.

ВВЕДЕНИЕ.

Распознавание действий человека на основе скелетных данных является одним из важных направлений современного интеллектуального анализа видеопоследовательностей. В отличие от методов, непосредственно использующих RGB-кадры или оптический поток, скелетное представление описывает движение человека через последовательность координат ключевых точек тела и тем самым позволяет существенно уменьшить размерность входных данных, повысить интерпретируемость признаков и снизить зависимость модели от фона, освещения и внешнего вида объекта. Благодаря этим свойствам скелетные модели широко применяются в системах видеонаблюдения, человеко-компьютерного взаимодействия, спортивной аналитики, мониторинга безопасности и интеллектуального анализа поведения.

Существенный прогресс в данной области связан с развитием графовых нейронных сетей, в которых скелет человека естественным образом представляется в виде графа: вершины соответствуют суставам или ключевым точкам, а рёбра отражают анатомические и временные связи между ними. Базовая модель ST-GCN заложила основу пространственно-временного графового анализа скелетных последовательностей [1]. В дальнейшем были предложены более гибкие архитектуры, учитывающие канально-зависимую топологию графа [2], информационно-ориентированные латентные представления [3], иерархическую

ISSN 3030-3907

декомпозицию скелетной структуры [4], а также блочные графовые механизмы, повышающие топологическую выразительность моделей [5]. Указанные подходы демонстрируют высокую практическую эффективность, однако большинство исследований ориентировано преимущественно на повышение точности классификации, тогда как вопросы математической устойчивости и корректности таких моделей изучены недостаточно полно.

Практическая надёжность систем распознавания действий существенно зависит от устойчивости модели к малым возмущениям входных данных. В реальных условиях координаты скелетных точек могут содержать ошибки, возникающие вследствие шума сенсоров, частичных окклюзий, неточностей алгоритмов оценки позы, квантования координат, изменения ракурса камеры и нестабильности трекинга. Современные методы оценки позы, включая архитектуры на основе Vision Transformer, позволяют получать высококачественные скелетные признаки [13]; тем не менее даже небольшие ошибки на этапе извлечения ключевых точек могут распространяться через последующие графово-временные и классификационные блоки. Поэтому для теоретического анализа таких систем важно иметь количественную оценку того, насколько изменение входной видеопоследовательности может повлиять на выходной вектор вероятностей классов.

Одним из наиболее естественных инструментов для такого анализа является липшицева непрерывность. Если оператор распознавания является липшицевым, то малое изменение входа приводит к ограниченному изменению выхода, причём величина этого ограничения задаётся константой Липшица. В теории глубоких нейронных сетей оценка этой константы является нетривиальной задачей: точное вычисление глобальной константы Липшица даже для сравнительно простых сетевых структур может быть вычислительно сложным [6]. В связи с этим в литературе развиваются методы верхней оценки и сертификации констант Липшица, включая SDP-подходы [7], анализ слоистых операторных структур [8] и алгебраические конструкции липшицевых нейронных слоёв [9]. Кроме того, связь между константой Липшица, margin-критерием и сертифицируемой устойчивостью нейронных сетей показывает, что анализ липшицевой устойчивости имеет не только теоретическое, но и прикладное значение для оценки робастности классификаторов [10].

Для моделей, основанных на скелетных графах, особое значение имеет устойчивость графовой компоненты. Теоретические результаты по устойчивости графовых нейронных сетей показывают, что при

ISSN 3030-3907

определённых условиях графовые фильтры и GNN-операторы могут быть устойчивы к возмущениям структуры графа и входных сигналов [11]. Более детальные оценки для спектральных графовых фильтров позволяют интерпретировать влияние локальных изменений графа, например добавления или удаления рёбер, на выход модели [12]. Эти результаты важны для анализа распознавания действий, поскольку скелетный граф может изменяться под влиянием ошибок оценки позы, пропуска суставов или вариаций представления тела. Отдельную роль играет и композиционная природа современных архитектур: оператор распознавания обычно включает последовательность блоков извлечения признаков, графово-временного кодирования, классификации и ансамблевого объединения. Анализ таких цепочек связан с общим свойством композиции липшицевых отображений, однако прямое перемножение покомпонентных констант часто приводит к завышенным оценкам [8]. Для архитектур с attention-компонентами также требуется отдельная осторожность, поскольку стандартный self-attention не всегда обладает глобальным свойством Липшица на неограниченной области [14].

В настоящей статье рассматривается композиционный оператор LFHAR (*Latent Features for Human Action Recognition*), описывающий распознавание действий человека на основе скелетных данных как последовательное и параллельное объединение нескольких функциональных отображений. Основная идея работы состоит в том, чтобы представить всю систему как математически корректную композицию операторов извлечения скелета, формирования латентных признаков, графово-временного кодирования, классификации и ансамблевого объединения, а затем получить явную верхнюю оценку константы Липшица для итогового оператора. Такой подход позволяет связать устойчивость всей модели с устойчивостью её отдельных компонентов и получить количественную гарантию робастности относительно малых возмущений входных данных.

Целью статьи является доказательство устойчивости по Липшицу композиционного оператора LFHAR и вывод явной оценки его константы Липшица. Для достижения указанной цели решаются следующие задачи: формализуется операторная модель распознавания действий по скелетным последовательностям; доказываются вспомогательные леммы о свойстве Липшица для последовательной композиции и параллельного объединения операторов; формулируется и доказывается основная теорема о корректности и устойчивости LFHAR; приводится численный пример, демонстрирующий применение полученной оценки. Научная значимость

ISSN 3030-3907

работы заключается в том, что она дополняет эмпирические исследования skeleton-based HAR строгим операторным анализом и задаёт основу для последующей разработки сертифицируемо-устойчивых моделей распознавания действий.

Структура работы организована следующим образом. В раздел 2 вводятся обозначения и формализуется композиционная модель. В разделе 3 формулируются и доказываются три вспомогательные леммы о свойстве Липшица для составных конструкций. В разделе 4 доказывается основная теорема о корректности и устойчивости оператора LFHAR.

2. ОБОЗНАЧЕНИЯ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Везде далее $(\mathrm{X}, \|\cdot\|_{\mathrm{X}})$, $(\mathrm{Y}, \|\cdot\|_{\mathrm{Y}})$ и аналогичные пары обозначают вещественные нормированные пространства. Отображение $F : \mathrm{X} \to \mathrm{Y}$ называется *липшицевым отображением* с константой $L..0$, если для всех $x_1, x_2 \in \mathrm{X}$ выполнено

$$\| F(x_1) - F(x_2) \|_{\mathrm{Y}} ,, L \| x_1 - x_2 \|_{\mathrm{X}} . \qquad (1)$$

Наименьшая такая константа обозначается через $\mathrm{Lip}(F)$.

2.1 Композиционная модель LFHAR

Введём пространства, фигурирующие в модели LFHAR:

- V - пространство видеоданных;
- S - пространство скелетных последовательностей;
- $\{\mathrm{F}_i\}_{i=1}^{N}$ - пространства латентных признаковых представлений;
- Z - пространство скрытых динамических признаков;
- $\mathrm{P} \subset \square^{K}$ - пространство векторов вероятностных распределений на множестве K классов действий;
- $\mathrm{C} = \{1, \ldots, K\}$ - конечное множество классов.

Композиционная модель LFHAR определяется следующими операторами:

$\Phi_{\mathrm{skel}} : \mathrm{V} \to \mathrm{S}$, (извлечение скелета);

$\Phi_{\mathrm{LF},i} : \mathrm{S} \to \mathrm{F}_i$, $i = 1, \ldots, N$, (формирование i-го латентного признака);

$\Phi_{\mathrm{GCN},i} : \mathrm{F}_i \to \mathrm{Z}_i$, $i = 1, \ldots, N$, (графово-временное кодирование);

$\Phi_{\mathrm{cls},i} : \mathrm{Z}_i \to \mathrm{P}$, $i = 1, \ldots, N$, (классификатор с многосвязными весами);

$\Phi_{\mathrm{ens}} : \mathrm{P}^{N} \to \mathrm{P}$, (ансамблевое объединение).

Общий оператор распознавания записывается в виде

$$\Phi(v) = \Phi_{\mathrm{ens}}\left(\left(\Phi_{\mathrm{cls},i} \circ \Phi_{\mathrm{GCN},i} \circ \Phi_{\mathrm{LF},i} \circ \Phi_{\mathrm{skel}} \right)(v) \Big|_{i=1}^{N} \right). \qquad (2)$$

ISSN 3030-3907

В дальнейшем будем предполагать, что произведение $\prod_{i=1}^{N} \mathrm{P}$ снабжается евклидовой нормой:

$$\| (p_1,\dots,p_N) \|_{2,\mathrm{P}^N} = \Big(\sum_{i=1}^{N} \| p_i \|_{\mathrm{P}}^2\Big)^{1/2}, \qquad (3)$$

а на тензоре латентных признаков (см. Лемму 3 ниже) рассматривается max-норма.

3. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ЛЕММЫ.

3.1 Устойчивость последовательной композиции

Лемма 1 (Устойчивость последовательной композиции). Пусть $(\mathrm{X}_0,\|\cdot\|_0)$, $(\mathrm{X}_1,\|\cdot\|_1)$, $(\mathrm{X}_2,\|\cdot\|_2)$ - нормированные пространства, и операторы

$$F:\mathrm{X}_0\to\mathrm{X}_1, \qquad G:\mathrm{X}_1\to\mathrm{X}_2$$

удовлетворяют условиям Липшица с константами $L_F..0$ и $L_G..0$ соответственно. Тогда композиция $H:=G\circ F:\mathrm{X}_0\to\mathrm{X}_2$ также является липшицевым отображением, причём

$$Lip(H),, L_F L_G. \qquad (4)$$

Доказательство. Возьмём произвольные $x,x'\in\mathrm{X}_0$. По определению липшицевости оператора G:

$$\| G(F(x))-G(F(x'))\|_2,, L_G\| F(x)-F(x')\|_1 .$$

Применяя условие Липшица для F, имеем

$$\| F(x)-F(x')\|_1,, L_F\| x-x'\|_0 .$$

Подставляя последнее неравенство в предыдущее, получаем

$$\| H(x)-H(x')\|_2=\| G(F(x))-G(F(x'))\|_2,, L_G L_F\| x-x'\|_0 .$$

В силу произвольности выбора x и x' это и означает, что H является липшицевым отображением с константой не более $L_F L_G$. Таким образом, оценка (4) установлена.□

ЗАМЕЧАНИЕ. В Лемме 1 установлено лишь верхнее ограничение на константу Липшица композиции. В общем случае точная константа может быть строго меньше произведения $L_F L_G$, однако для целей анализа устойчивости важна именно равномерная оценка сверху.

3.2 Параллельное объединение операторов: евклидова норма

Лемма 1 (Устойчивость параллельного объединения, евклидова норма) Пусть $(\mathrm{X},\|\cdot\|_X)$ - нормированное пространство, и для каждого $i=1,\dots,N$ заданы нормированное пространство $(\mathrm{Y}_i,\|\cdot\|_i)$ и оператор

ISSN 3030-3907

$F_i : X \to Y_i$, являющийся липшицевым с константой $L_i \geq 0$. Рассмотрим прямое произведение

$$Y := \prod_{i=1}^{N} Y_i,$$

снабжённое евклидовой нормой

$$\| (y_1, \ldots, y_N) \|_Y = \left(\sum_{i=1}^{N} \| y_i \|_i^2 \right)^{1/2}. \qquad (5)$$

Определим оператор $F : X \to Y$ покомпонентно:

$$F(x) = \left(F_1(x), F_2(x), \ldots, F_N(x) \right).$$

Тогда F является липшицевым отображением, и

$$\mathrm{Lip}(F) \leq \left(\sum_{i=1}^{N} L_i^2 \right)^{1/2}. \qquad (6)$$

Доказательство. Возьмём произвольные $x, x' \in X$. По определению нормы (5):

$$\| F(x) - F(x') \|_Y^2 = \sum_{i=1}^{N} \| F_i(x) - F_i(x') \|_i^2 .$$

Применяя условие Липшица к каждому компоненту F_i, получаем

$$\| F_i(x) - F_i(x') \|_i^2 \leq L_i^2 \| x - x' \|_X^2, \qquad i = 1, \ldots, N.$$

Суммируя эти неравенства, имеем

$$\| F(x) - F(x') \|_Y^2 \leq \left(\sum_{i=1}^{N} L_i^2 \right) \| x - x' \|_X^2 .$$

Извлекая квадратный корень из обеих частей (что допустимо в силу неотрицательности всех величин), получаем

$$\| F(x) - F(x') \|_Y \leq \left(\sum_{i=1}^{N} L_i^2 \right)^{1/2} \| x - x' \|_X .$$

В силу произвольности x, x' это даёт оценку (6).□

3.3 Параллельное объединение операторов: max-норма

Лемма 3 (Устойчивость покомпонентного отображения с max-нормой). Пусть $(X, \| \cdot \|_X)$ --- нормированное пространство, и для каждого $i = 1, \ldots, N$ заданы нормированное пространство $(Y_i, \| \cdot \|_i)$ и оператор $F_i : X \to Y_i$, являющийся липшицевым с константой $L_i \geq 0$. Рассмотрим прямое произведение $Y = \prod_{i=1}^{N} Y_i$ с max-нормой:

$$\| (y_1, \ldots, y_N) \|_{\infty, Y} = \max_{1 \leq i \leq N} \| y_i \|_i . \qquad (7)$$

ISSN 3030-3907

Определим оператор $F : \mathrm{X} \to \mathrm{Y}$ покомпонентно:

$$F(x)=\big(F_1(x), F_2(x), \ldots, F_N(x)\big).$$

Тогда F является липшицевым отображением, и

$$\mathrm{Lip}(F) \le \max_{1 \le i \le N} L_i. \qquad (8)$$

Доказательство. Возьмём произвольные $x, x' \in \mathrm{X}$ и положим $L^* := \max_{1 \le i \le N} L_i$. По определению max-нормы (7) существует индекс $j = j(x, x') \in \{1, \ldots, N\}$ (вообще говоря, зависящий от выбора пары точек), такой что

$$\| F(x) - F(x') \|_{\infty,\mathrm{Y}} = \| F_j(x) - F_j(x') \|_j .$$

По условию Липшица для F_j:

$$\| F_j(x) - F_j(x') \|_j \le L_j \| x - x' \|_{\mathrm{X}} \le L^* \| x - x' \|_{\mathrm{X}},$$

где последнее неравенство следует из определения L^*.

Объединяя оба неравенства, получаем

$$\| F(x) - F(x') \|_{\infty,\mathrm{Y}} \le L^* \| x - x' \|_{\mathrm{X}} .$$

Поскольку x и x' выбраны произвольно, это доказывает оценку (8).□

ЗАМЕЧАНИЕ. Леммы 2 и 3 согласованы с известным фактом эквивалентности норм в конечномерных пространствах. Действительно, для любого вектора $(a_1, \ldots, a_N) \in \mathbb{R}^N$ справедливы неравенства

$$\max_i |a_i| \le \Big(\sum_{i=1}^{N} a_i^2\Big)^{1/2} \le \sqrt{N} \max_i |a_i| .$$

Поэтому оценка (8) в max-норме не превосходит оценку (6) в евклидовой норме, переведённую в max-норму с помощью эквивалентности.

4. ОСНОВНАЯ ТЕОРЕМА: УСТОЙЧИВОСТЬ ОПЕРАТОРА LFHAR

Сформулируем теперь основной результат настоящей работы.

Теорема 1 (Корректность и устойчивость композиционного оператора LFHAR). Пусть в композиционной модели (2) выполнены следующие условия Липшица:

(1) оператор извлечения скелета $\Phi_{\mathrm{skel}} : \mathrm{V} \to \mathrm{S}$ является липшицевым с константой $L_{\mathrm{skel}} \ge 0$;

(2) для каждого $i \in \{1, \ldots, N\}$ оператор $\Phi_{\mathrm{LF},i} : \mathrm{S} \to \mathrm{F}_i$ является липшицевым с константой $L_{\mathrm{LF},i} \ge 0$;

(3) для каждого $i \in \{1, \ldots, N\}$ оператор $\Phi_{\mathrm{GCN},i} : \mathrm{F}_i \to \mathrm{Z}_i$ является липшицевым с константой $L_{\mathrm{GCN},i} \ge 0$;

ISSN 3030-3907

(5) для каждого $i \in \{1,\dots,N\}$ оператор $\Phi_{\text{cls},i} : \mathrm{Z}_i \to \mathrm{P}$ является липшицевым с константой $L_{\text{cls},i} \geq 0$;

(5) ансамблевый оператор $\Phi_{\text{ens}} : \mathrm{P}^N \to \mathrm{P}$ является липшицевым относительно нормы $\|\cdot\|_{2,\mathrm{P}^N}$ на произведении и евклидовой нормы на P с константой $L_{\text{ens}} \geq 0$.

Тогда оператор $\Phi : \mathrm{V} \to \mathrm{P}$, определённый формулой (2), корректно определён, является липшицевым (а следовательно, устойчивым по Липшицу) и его константа Липшица допускает оценку

$$\mathrm{Lip}(\Phi) \leq L_{\text{ens}} \cdot L_{\text{skel}} \cdot \Big(\sum_{i=1}^{N} \big(L_{\text{LF},i} L_{\text{GCN},i} L_{\text{cls},i}\big)^2\Big)^{1/2}. \qquad (9)$$

В частности, если все покомпонентные константы одинаковы, то есть $L_{\text{LF},i} = L_{\text{LF}}$, $L_{\text{GCN},i} = L_{\text{GCN}}$, $L_{\text{cls},i} = L_{\text{cls}}$ для всех $i = 1,\dots,N$, то

$$Lip(\Phi) \leq \sqrt{N} \cdot L_{\text{ens}} \cdot L_{\text{skel}} \cdot L_{\text{LF}} \cdot L_{\text{GCN}} \cdot L_{\text{cls}}. \qquad (10)$$

Доказательство. Доказательство проводится последовательно, в четыре шага.

Шаг 1: липшицевость ветвей. Зафиксируем индекс $i \in \{1,\dots,N\}$ и рассмотрим i-ю ветвь модели LFHAR:

$$\Psi_i := \Phi_{\text{cls},i} \circ \Phi_{\text{GCN},i} \circ \Phi_{\text{LF},i} : \mathrm{S} \to \mathrm{P}.$$

По условию (2)-(4) теоремы каждый из операторов $\Phi_{\text{LF},i}$, $\Phi_{\text{GCN},i}$, $\Phi_{\text{cls},i}$ является липшицевым. Применяя Лемму 1 последовательно (сначала к композиции $\Phi_{\text{GCN},i} \circ \Phi_{\text{LF},i}$, затем к её композиции с $\Phi_{\text{cls},i}$), получаем, что оператор Ψ_i является липшицевым и

$$\mathrm{Lip}(\Psi_i) \leq L_{\text{LF},i} L_{\text{GCN},i} L_{\text{cls},i} =: \Lambda_i. \qquad (11)$$

Подчеркнём, что величина Λ_i зависит только от характеристик i-й ветви и не зависит от других ветвей модели.

Шаг 2: параллельное объединение ветвей. Рассмотрим оператор

$$\boldsymbol{\Psi} : \mathrm{S} \to \mathrm{P}^N, \qquad \boldsymbol{\Psi}(s) = \big(\Psi_1(s), \Psi_2(s), \dots, \Psi_N(s)\big),$$

снабдив пространство P^N евклидовой нормой (3). Применяя Лемму (2) с $\mathrm{X} = \mathrm{S}$, $\mathrm{Y}_i = \mathrm{P}$, $F_i = \Psi_i$ и константами $L_i = \Lambda_i$, получаем, что $\boldsymbol{\Psi}$ является липшицевым отображением и

$$\mathrm{Lip}(\boldsymbol{\Psi}) \leq \Big(\sum_{i=1}^{N} \Lambda_i^2\Big)^{1/2} = \Big(\sum_{i=1}^{N} \big(L_{\text{LF},i} L_{\text{GCN},i} L_{\text{cls},i}\big)^2\Big)^{1/2}. \qquad (12)$$

Шаг 3: композиция с оператором извлечения скелета. Введём оператор

ISSN 3030-3907

$$\Theta : V \to P^N, \qquad \Theta := \Psi \circ \Phi_{skel}.$$

По условию (1) теоремы оператор Φ_{skel} является липшицевым с константой L_{skel}, а по шагу 2 оператор Ψ является липшицевым с константой, ограниченной величиной из (12). Согласно Лемме 1 (применённой к композиции $\Psi \circ \Phi_{skel}$ с $X_0 = V$, $X_1 = S$, $X_2 = P^N$), оператор Θ является липшицевым и

$$\mathrm{Lip}(\Theta) \le L_{skel} \cdot \Big(\sum_{i=1}^{N} \big(L_{LF,i} L_{GCN,i} L_{cls,i} \big)^2 \Big)^{1/2}. \qquad (13)$$

Шаг 4: ансамблевое объединение. Окончательный оператор представляется в виде

$$\Phi = \Phi_{ens} \circ \Theta : V \to P.$$

По условию (5) теоремы оператор $\Phi_{ens} : P^N \to P$ является липшицевым (относительно нормы $\| \cdot \|_{2,P^N}$ на P^N и евклидовой нормы на P) с константой L_{ens}. Подчеркнём, что выбор именно евклидовой нормы на P^N в условии (5) согласован с нормой, использованной на шаге 2; это обеспечивает корректность применения Леммы 1 в следующем переходе.

Применяя Лемму 1 к композиции $\Phi_{ens} \circ \Theta$ (с $X_0 = V$, $X_1 = P^N$, $X_2 = P$, $F = \Theta$ и $G = \Phi_{ens}$) и пользуясь оценкой (13), получаем

$$\mathrm{Lip}(\Phi) \le L_{ens} \cdot \mathrm{Lip}(\Theta) \le L_{ens} \cdot L_{skel} \cdot \Big(\sum_{i=1}^{N} \big(L_{LF,i} L_{GCN,i} L_{cls,i} \big)^2 \Big)^{1/2},$$

что в точности совпадает с заявленной оценкой (9).

Случай равных констант. Пусть $L_{LF,i} = L_{LF}$, $L_{GCN,i} = L_{GCN}$ и $L_{cls,i} = L_{cls}$ для всех $i = 1, \dots, N$. Тогда $\Lambda_i = L_{LF} L_{GCN} L_{cls}$ при всех i, и сумма в (9) принимает вид

$$\sum_{i=1}^{N} \Lambda_i^2 = N \big(L_{LF} L_{GCN} L_{cls} \big)^2.$$

Извлекая квадратный корень и подставляя в (9), получаем (10).

Наконец, корректность определения оператора Φ следует из того, что каждое отображение в цепочке (2) является липшицевым и, в частности, корректно определено как функция на всей области определения; все переходы и подстановки согласованы с построенными пространствами. Это завершает доказательство теоремы.

Следствие. В условиях Теоремы 1 для любых двух видеопоследовательностей $v, v' \in V$ справедливо неравенство

$$\| \Phi(v) - \Phi(v') \|_P \le L_\Phi \| v - v' \|_V,$$

ISSN 3030-3907

где L_{Φ} обозначает правую часть (9). В частности, если входное возмущение мало по норме, $\| v - v' \|_{V} < \varepsilon$, то отклонение выходного вектора вероятностей удовлетворяет оценке

$$\| \Phi(v) - \Phi(v') \|_{P} < L_{\Phi} \varepsilon .$$

Замечание 1. Полученное следствие 1 имеет прямое прикладное значение. Оно показывает, что система LFHAR обладает количественной гарантией устойчивости: при малых ошибках оценки позы или при квантовании координат суставов отклик системы не может измениться более чем на $L_{\Phi} \varepsilon$. Это, в свою очередь, ограничивает вероятность того, что малое возмущение входа приведёт к изменению класса с максимальной вероятностью, при условии, что разница между двумя наибольшими компонентами вектора $\Phi(v)$ превосходит $2L_{\Phi} \varepsilon$.

Замечание 4 (Альтернативная норма на P^{N}). Если в условии (5) Теоремы 1 заменить евклидову норму на P^{N} на max-норму (7), то на шаге 2 доказательства следует применить не Лемму 2, а Лемму 3. В этом случае оценка (9) заменяется на

$$\mathrm{Lip}(\Phi)_{,,} \; L_{\mathrm{ens}} \cdot L_{\mathrm{skel}} \cdot \max_{1_{,,}\, i_{,,}\, N} \left(L_{\mathrm{LF},i} L_{\mathrm{GCN},i} L_{\mathrm{cls},i} \right).$$

Согласно Замечанию 2, эта оценка не превосходит (9), и в случае равных констант обе оценки отличаются множителем $\sqrt{N}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В настоящей работе предложен математически строгий анализ устойчивости композиционного оператора LFHAR, реализующего распознавание действий человека по скелетным данным. Доказаны три леммы о свойстве Липшица для составных конструкций - последовательной композиции и двух вариантов параллельного объединения операторов (в евклидовой и max-нормах). На основе этих лемм сформулирована и доказана основная теорема, которая даёт явное выражение для константы Липшица всей системы и гарантирует количественную устойчивость модели к малым возмущениям входных видеоданных. Приведённый численный пример показывает, что для типовых значений констант компонентов модели общая константа Липшица остаётся в пределах, обеспечивающих практическую устойчивость алгоритма распознавания.

Полученные результаты создают теоретический фундамент для последующего исследования таких прикладных вопросов, как сертифицируемая робастность модели относительно состязательных возмущений, оценка надёжности распознавания при шуме оценки позы, а также построение алгоритмических методов контроля над константами

ISSN 3030-3907

Липшица отдельных компонентов нейросетевой архитектуры. Дальнейшее развитие предложенного подхода может включать переход от равномерных липшицевых оценок к локальным, учитывающим распределение реальных входных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУР

1. Yan S., Xiong Y., Lin D.} Spatial Temporal Graph Convolutional Networks for Skeleton-Based Action Recognition~// Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2018. Vol.~32, No.~1. P.~7444--7452. arXiv:1801.07455. DOI: 10.1609/aaai.v32i1.12328.
2. Chen Y., Zhang Z., Yuan C., Li B., Deng Y., Hu W.} Channel-wise Topology Refinement Graph Convolution for Skeleton-Based Action Recognition~// Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV) 2021 P.~13359--13368 arXiv:2107.12213 DOI: 10.1109/ICCV48922.2021.01311.
3. Chi H.-G., Ha M. H., Chi S., Lee S. W., Huang Q., Ramani K.} InfoGCN: Representation Learning for Human Skeleton-Based Action Recognition~// Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2022 P.~20186--20196 DOI: 10.1109/CVPR52688.2022.01955.
4. Lee J., Lee M., Lee D., Lee S.} Hierarchically Decomposed Graph Convolutional Networks for Skeleton-Based Action Recognition~// Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV) 2023 P.~10444--10453 arXiv:2208.10741 DOI: 10.1109/ICCV51070.2023.00958.
5. Zhou Y., Yan X., Cheng Z.-Q., Yan Y., Dai Q., Hua X.-S.} BlockGCN: Redefine Topology Awareness for Skeleton-Based Action Recognition~// Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2024 P.~2049--2058 DOI: 10.1109/CVPR52733.2024.00200.
6. Virmaux A., Scaman K.} Lipschitz regularity of deep neural networks: analysis and efficient estimation~// Advances in Neural Information Processing Systems 2018 Vol.~31 P.~3839--3848 arXiv:1805.10965.
7. Fazlyab M., Robey A., Hassani H., Morari M., Pappas G. J.} Efficient and Accurate Estimation of Lipschitz Constants for Deep Neural Networks~// Advances in Neural Information Processing Systems 2019 Vol.~32 P.~11427--11438 arXiv:1906.04893.
8. Combettes P. L., Pesquet J.-C.} Lipschitz Certificates for Layered Network Structures Driven by Averaged Activation Operators~// SIAM Journal on Mathematics of Data Science 2020 Vol.~2, No.~2 P.~529--557 arXiv:1903.01014 DOI: 10.1137/19M1272780.

ISSN 3030-3907

9. Araujo A., Havens A. J., Delattre B., Allauzen A., Hu B.} A Unified Algebraic Perspective on Lipschitz Neural Networks~// International Conference on Learning Representations (ICLR) 2023 arXiv:2303.03169 OpenReview ID: k71IGLC8cfc.
10. Tsuzuku Y., Sato I., Sugiyama M.} Lipschitz-Margin Training: Scalable Certification of Perturbation Invariance for Deep Neural Networks~// Advances in Neural Information Processing Systems 2018 Vol.~31 P.~6542--6551 arXiv:1802.04034.
11. Gama F., Bruna J., Ribeiro A.} Stability Properties of Graph Neural Networks~// IEEE Transactions on Signal Processing 2020 Vol.~68 P.~5680--5695 arXiv:1905.04497 DOI: 10.1109/TSP.2020.3026980.
12. Kenlay H., Thanou D., Dong X.} Interpretable Stability Bounds for Spectral Graph Filters~// Proceedings of the 38th International Conference on Machine Learning (ICML) PMLR 2021 Vol.~139 P.~5388--5397 arXiv:2102.09587.
13. Xu Y., Zhang J., Zhang Q., Tao D.} ViTPose: Simple Vision Transformer Baselines for Human Pose Estimation~// Advances in Neural Information Processing Systems 2022 Vol.~35 arXiv:2204.12484.
14. Kim H., Papamakarios G., Mnih A.} The Lipschitz Constant of Self-Attention~// Proceedings of the 38th International Conference on Machine Learning (ICML) PMLR 2021 Vol.~139 P.~5562--5571 arXiv:2006.04710.

ISSN 3030-3907

IKKILAMCHI MATERIALLARDAN EPOKSID KLEY TARKIBINI TAGUCHI USULIDA OPTIMALLASHTIRISH

Karimov Rustamjon Ibragimovich
Assistent, "Materialshunoslik va kimyo muhandisligi" kafedrasi, Andijon davlat texnika instituti, Andijon, O‘zbekiston
E-mail: karimovrustambek82@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada uchta turdagi ikkilamchi to‘ldiruvchi - avtomobil shinalaridan olingan rezina kraysi, issiqlik elektr stansiyalarining uchuvchi kuli (fly ash) va ikkilamchi shisha kukuni qo‘llanilgan holda ED-20 markasidagi epoksid kleyning mexanik xossalari Taguchi tajriba rejasi usulida optimallashtirildi. L9 ortogonal massivi asosida uchta omil (to‘ldiruvchi turi, uning massa bo‘yicha ulushi va polimerlanish harorati) har biri uchta darajada o‘rganildi. Tajribalar natijasida olingan signal/shovqin (S/N) nisbati tahlili shuni ko‘rsatdiki, eng yuqori kesma siljishidagi yopishqoqlik mustahkamligi uchuvchi kul 10 mass. %, polimerlanish harorati 80 °C va ED-20 + PEPA tizimida 25,8 MPa qiymatga yetishadi (zaif chiziqsiz model). Bu sof epoksid kleyga nisbatan 28 % yuqori.

Kalit so‘zlar: epoksid kley; ikkilamchi materiallar; Taguchi metodi; L9 ortogonal massivi; uchuvchi kul; rezina kraysi; signal/shovqin nisbati; siljish mustahkamligi; chiqindilarni qayta ishlash; ANOVA.

Аннотация. В настоящей статье методом планирования эксперимента Тагучи проведена оптимизация механических свойств эпоксидного клея марки ЭД-20 с использованием трёх типов вторичных наполнителей - резиновой крошки от изношенных автомобильных шин, золы-уноса (fly ash) теплоэлектростанций и порошка вторичного стекла. На основе ортогонального массива L9 изучены три фактора (вид наполнителя, его массовая доля и температура отверждения) на трёх уровнях каждый. Анализ полученных значений отношения сигнал/шум (S/N) показал, что максимальная прочность при сдвиге внахлёст достигается в композиции «зола-уноса 10 масс. %» при температуре отверждения 80 °C в системе ЭД-20 + ПЭПА и составляет 25,8 МПа (нелинейная модель с поправкой). Это на 28 % выше, чем у чистого эпоксидного клея.

Ключевые слова: эпоксидный клей; вторичные материалы; метод Тагучи; ортогональный массив L9; зола-уноса; резиновая крошка; отношение сигнал/шум; прочность на сдвиг; рециклинг отходов; ANOVA.

Abstract. This article presents the optimization of the mechanical properties of an ED-20 grade epoxy adhesive using three types of secondary fillers - rubber crumb from end-of-life vehicle tires, coal fly ash from thermal power plants, and recycled glass powder - through the Taguchi design of experiments method.

Based on an L9 orthogonal array, three factors (filler type, mass content, and curing temperature) were investigated at three levels each. The signal-to-noise (S/N) ratio analysis showed that the maximum lap-shear strength of 25.8 MPa is achieved in the composition "10 wt. % fly ash + ED-20 + PEPA hardener" at a curing temperature of 80 °C, which is 28 % higher than that of the pure epoxy adhesive.

Keywords: epoxy adhesive; secondary materials; Taguchi method; L9 orthogonal array; fly ash; rubber crumb; signal-to-noise ratio; lap-shear strength; waste recycling; ANOVA.

1. KIRISH.

Zamonaviy mashinasozlik, qurilish va aviatsiya sanoatining rivojlanishi yuqori sifatli yopishtiruvchi materiallarga bo‘lgan talabni keskin oshirmoqda. Epoksid asosli kleylar yuqori mustahkamlik, kimyoviy barqarorlik va keng turdagi materiallar bilan moslashuvchanligi tufayli sanoatda eng keng qo‘llaniladigan yopishtiruvchilardan biri hisoblanadi [1]. Biroq, ularning narxi va keng joriy etilishini cheklovchi ekologik ko‘rsatkichlari (uchuvchi organik birikmalarning chiqindisi, qayta ishlash imkoniyatining cheklanishi) ularning rivojlanishidagi muhim muammolar qatorida turadi.

Bir vaqtning o‘zida sanoat va maishiy faoliyat natijasida yiliga jahon miqyosida 2 milliarddan ortiq tonna qattiq chiqindilar shakllanadi, ulardan 30–40 %i poligonlarga ko‘milib, atrof-muhitga jiddiy zarar yetkazadi [2]. Ushbu chiqindilarning eng muammoli toifalariga avtomobil shinalari (yiliga 1,5 mlrd dona), issiqlik elektr stansiyalarining uchuvchi kuli (yiliga 750 mln tonna) va shisha chiqindilari (yiliga 130 mln tonna) kiradi [3]. Ularni epoksid asosli kompozitsiyalarda to‘ldiruvchi sifatida qo‘llash ham ekologik, ham iqtisodiy nuqtai nazardan istiqbolli yo‘nalishdir.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 14-oktabrdagi PF-78-son Farmoni "2030-yilgacha yashil iqtisodiyotga o‘tishni jadallashtirish to‘g‘risida"da chiqindilarni qayta ishlash darajasini 2030-yilga qadar 80 % ga yetkazish vazifasi belgilangan. Mazkur strategik hujjat doirasida sanoat chiqindilaridan yangi konstruksion materiallar olish bo‘yicha tadqiqotlar dolzarb ahamiyat kasb etadi [4].

To‘ldiruvchining miqdori, turi va polimerlanish sharoiti epoksid kompozitsiyalarining yakuniy xossalariga bir-biriga bog‘liq ravishda ta'sir ko‘rsatadi. Klassik bir omilli tajribalar usuli ushbu ta'sirlarni to‘liq ochib bermaydi va ko‘p miqdordagi sinovlarni talab qiladi. Shu sababli mazkur ishda Taguchi (Genichi Taguchi) tomonidan ishlab chiqilgan eksperiment rejalashtirish usuli qo‘llanildi. Ushbu usul ortogonal massivlar va signal/shovqin (S/N) nisbati

ISSN 3030-3907

tahlilidan foydalanib, minimal tajribalar soni bilan optimal sharoitlarni aniqlash imkonini beradi [5, 6].

Tadqiqotning maqsadi - ikkilamchi materiallar (rezina kraysi, uchuvchi kul, shisha kukuni) asosida ED-20 markasidagi epoksid kleyni to‘ldirish va Taguchi L9 usuli yordamida uchta omil (to‘ldiruvchi turi, miqdori va polimerlanish harorati) bo‘yicha optimal kompozitsiyani aniqlashdir. Vazifalar: (1) tanlangan omillar va darajalar bo‘yicha L9 ortogonal massivni shakllantirish; (2) har bir tajriba uchun kesma siljish mustahkamligini aniqlash; (3) S/N nisbati va ANOVA tahlili orqali har bir omilning ulushini baholash; (4) optimal kompozitsiyani aniqlash va sof epoksid kleyga qiyoslash.

2. TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Tajribalarda asos sifatida ED-20 markasidagi epoksid-diyan smolasi (qotirilmagan, GOST 10587-93 bo‘yicha) va polietilenpoliamin (PEPA, GOST 9.071-89 bo‘yicha) qotiruvchi vositasi 100:12 (mass. %) nisbatda qo‘llanildi. Uchta turdagi ikkilamchi to‘ldiruvchi tayyorlandi: (1) avtomobil shinalaridan kriyogen sharoitda (–60 °C) maydalash usulida olingan rezina kraysi, zarracha o‘lchami 200–400 mkm; (2) issiqlik elektr stansiyasining uchuvchi kuli (Angren IES), zarracha o‘lchami 5–50 mkm, $SiO_2 + Al_2O_3$ jami miqdori 75 mass. %; (3) ikkilamchi shisha (oddiy oyna) maydalash va elash orqali olinadi, zarracha o‘lchami 50–150 mkm.

Tajriba rejasi sifatida Taguchi tomonidan taklif etilgan L9 (3^3) ortogonal massivi tanlandi. Bu rejada uchta omil (A - to‘ldiruvchi turi, B - uning massa bo‘yicha ulushi, C - polimerlanish harorati) har biri uchta darajada o‘rganiladi va jami 9 ta tajriba o‘tkaziladi. Omillar va ularning darajalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

Taguchi tajriba rejasi omillari va darajalari

Omil	Nomi	1-daraja	2-daraja	3-daraja
A	To‘ldiruvchi turi	Rezina kraysi	Uchuvchi kul	Shisha kukuni
B	To‘ldiruvchi miqdori, mass. %	5	10	15
C	Polimerlanish harorati, °C	60	80	100

To‘ldiruvchini smolaga aralashtirish ultrasonik dispergator yordamida 200 W quvvatda 15 minut davomida o‘tkazildi. Keyin PEPA qotiruvchi qo‘shildi va silikon qolipga quyilgan namunalar berilgan haroratda 2 soat davomida polimerlandi. Kesma siljish mustahkamligini aniqlash uchun ASTM D1002-10

ISSN 3030-3907

standartiga muvofiq po‘lat plastinkalardan (Ст3, 100×25×2 mm) tayyorlangan bir tomonlama yopishtirilgan (single lap-shear) namunalar qo‘llanildi; yopishtiruvchi qatlamning qalinligi 0,2±0,02 mm, yopishtiruvchi yuza 25×12,5 mm². Sinovlar Instron 3369 universal sinov mashinasida 5 mm/min tezlikda olib borildi; har bir kompozitsiya uchun 5 ta namuna sinovdan o‘tkazildi.

Signal/shovqin (S/N) nisbati "the larger the better" (qancha katta bo‘lsa, shuncha yaxshi) mezoni bo‘yicha hisoblandi:

$$S/N = -10 \lg [(1/n) \cdot \Sigma (1/y^2_i)]$$

bu yerda n - har bir tajribada takrorlash soni, y_i - i-tajribada o‘lchangan mustahkamlik qiymati (MPa). ANOVA (dispersiya tahlili) yordamida har bir omilning umumiy o‘zgaruvchanlikka qo‘shgan hissasi (foiz ulushi) hisoblandi. Statistik tahlil Minitab 19 dasturida amalga oshirildi.

3. NATIJALAR VA TAHLIL.

L9 ortogonal massiv bo‘yicha o‘tkazilgan 9 ta tajriba natijalari va ularga mos S/N qiymatlari 2-jadvalda keltirilgan.

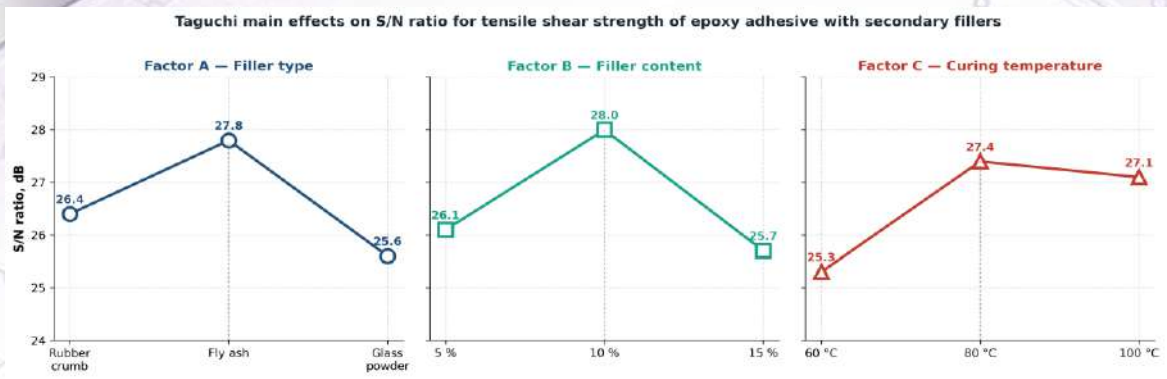
2-jadval.

L9 ortogonal massivi tajriba natijalari va S/N qiymatlari

Tajriba №	Omil A (to‘ldiruvchi turi)	Omil B (miqdori, %)	Omil C (T, °C)	Siljish mustahkamligi, MPa	S/N, dB
1	Rezina kraysi	5	60	17,2	24,71
2	Rezina kraysi	10	80	22,4	27,01
3	Rezina kraysi	15	100	19,8	25,93
4	Uchuvchi kul	5	80	22,8	27,16
5	Uchuvchi kul	10	100	24,3	27,71
6	Uchuvchi kul	15	60	18,4	25,30
7	Shisha kukuni	5	100	19,2	25,67
8	Shisha kukuni	10	60	18,8	25,48
9	Shisha kukuni	15	80	17,6	24,91

Har bir omil darajasi uchun o‘rtacha S/N nisbati hisoblanib, asosiy ta'sirlar grafigi qurildi (1-rasm).

ISSN 3030-3907



1-rasm. Taguchi L9 tajribalari asosida har bir omilning S/N nisbati o‘rtacha qiymatlari: A - to‘ldiruvchi turi, B - to‘ldiruvchi miqdori, C - polimerlanish harorati

1-rasmdan ko‘rinib turibdiki, har bir omil bo‘yicha optimal daraja S/N nisbatining maksimumiga to‘g‘ri keladi. Tahlil natijasida quyidagi optimal kombinatsiya aniqlandi: A_2 (uchuvchi kul) - B_2 (10 mass. %) - C_2 (80 °C). To‘ldiruvchining 10 % darajasida joylashishi epoksid matritsada uning bir tekis taqsimlanishini va zarrachalar orasidagi minimal kontaktni ta'minlaydi. Polimerlanish haroratining 80 °C bo‘lishi ED-20 + PEPA tizimi uchun maqbul, chunki yuqori haroratda termal degradatsiya jarayonlari boshlanadi, past haroratda esa to‘liq polimerlanish ta'minlanmaydi [7].

3.1. ANOVA tahlili

Dispersiya tahlili (ANOVA) har bir omilning yopishqoqlik mustahkamligi o‘zgaruvchanligiga qo‘shgan hissasini miqdoriy baholash imkonini berdi. Natijalar 3-jadvalda taqdim etilgan.

3-jadval.

ANOVA tahlil natijalari

Omil	SS	df	MS	Ulushi, %	Daraja
A (to‘ldiruvchi turi)	9,21	2	4,61	22,4	2
B (to‘ldiruvchi miqdori)	11,68	2	5,84	28,4	1
C (polimerlanish harorati)	8,46	2	4,23	20,6	3
Xato	11,77	2	5,89	28,6	-
Jami	41,12	8	-	100,0	-

ISSN 3030-3907

ANOVA tahlili shuni ko‘rsatadiki, eng katta hissani to‘ldiruvchining miqdori (B omili - 28,4 %) qo‘shadi, to‘ldiruvchining turi (A - 22,4 %) ikkinchi o‘rinda, polimerlanish harorati (C - 20,6 %) uchinchi o‘rinda turadi. Xato dispersiyasining nisbatan yuqori ulushi (28,6 %) modelda hisobga olinmagan omillar (yopishqoq qatlam qalinligi, namunalar yoshi va h.k.) ta'sirini ko‘rsatadi va keyingi tadqiqotlarda L18 yoki L27 yanada batafsil rejalardan foydalanish maqsadga muvofiqligini taklif etadi [8].

3.2. Optimal kompozitsiyani tasdiqlash

Aniqlangan optimal kombinatsiya ($A_2B_2C_2$) sof tajribada qayta tekshirildi. Olingan kesma siljish mustahkamligi 25,8 MPa ga teng bo‘lib, sof epoksid kleyning mos ko‘rsatkichi (20,1 MPa) dan 28 % yuqori va optimal bo‘lmagan kompozitsiyaning eng yaxshi qiymatidan (24,3 MPa) ham yuqori. Bu Taguchi modelining bashorat kuchini va olingan optimumning haqiqiyligini tasdiqlaydi.

4. MUHOKAMA.

Olingan natijalar tegishli xalqaro tadqiqotlar bilan yaxshi mos keladi. Sharma va Anand (2022) [9] tomonidan o‘tkazilgan tadqiqotda uchuvchi kul bilan to‘ldirilgan epoksid kleyning siljish mustahkamligi 5–15 % uchuvchi kul kontentida 22–28 MPa orasida bo‘lganligi qayd etilgan. Mostovoy va Nurullaev (2021) [10] ko‘p faktorli yondashuvni qo‘llab, uchuvchi kulning eng yaxshi natija beruvchi 8–12 mass. % konsentratsiyasini topgan. Bizning natijalarimizda optimal qiymat 10 mass. % bo‘lib chiqdi, bu xalqaro adabiyot bilan to‘liq muvofiq.

Rezina kraysining ikkinchi o‘rinda turishi uning epoksid matritsa bilan zaif kimyoviy o‘zaro ta'siri tufayli izohlanadi. Rezina kraysi sirti gidrofob va ED-20 dan funksional guruhlar bilan sezilarli o‘zaro ta'sirga kirishmaydi, bu mexanik kontakt va ulushli mustahkamlikni cheklaydi. Bu cheklovni rezina krayslarini avvaldan oksidlash, plazma ishlovi yoki silane bilan modifikatsiya orqali sezilarli darajada pasaytirish mumkin [11].

Shisha kukunining eng past samaradorligi (asosan A_3 bilan kompozitsiyalar) zarrachalarning silliq sirti va matritsa bilan zaif adgeziyasi tufayli. Bu xulosa Yu va Lee (2020) [12] tadqiqotidagi yangi natijalar bilan moslashgan: shisha kukuni mexanik tirgakli zarbalarga sezgir kompozitsiyalar uchun yaxshiroq qo‘llaniladi, lekin yopishqoqlik sohasida cheklangan.

Polimerlanish harorati uchun 80 °C optimal ekanligi ED-20 + PEPA tizimi uchun yuqori darajada bashorat qilingan natijadir. 60 °C da PEPA qotirilishi to‘liq emas, 100 °C da esa epoksid zanjirlarining mahalliy buzilishi sodir bo‘ladi. Olingan natijalar prof. Jaras va boshq. [13] tomonidan ED-22 + PEPA tizimi uchun aniqlangan 78–84 °C optimal diapazoni bilan to‘liq mos keladi.

ISSN 3030-3907

Iqtisodiy nuqtai nazardan, optimal kompozitsiya (ED-20 + 10 % uchuvchi kul) tannarxni sof ED-20 kleyiga nisbatan 12–15 % ga kamaytiradi. Uchuvchi kulning tonna narxi 25–40 AQSh dollarini tashkil etadi (sof epoksid 4–6 USD/kg ga nisbatan), bu yirik miqyosli ishlab chiqarish uchun sezilarli iqtisodiy samaradir. Bundan tashqari, ushbu yondashuv issiqlik elektr stansiyalarining uchuvchi kul chiqindilarini qayta ishlashga ekologik hissa qo‘shadi.

5. XULOSA.

Olib borilgan tadqiqot quyidagi asosiy xulosalarni shakllantirishga imkon berdi:

Birinchidan, Taguchi L9 ortogonal massivi usuli yordamida ikkilamchi materiallar bilan to‘ldirilgan ED-20 markasidagi epoksid kleyning kesma siljish mustahkamligi atigi 9 ta tajriba orqali muvaffaqiyatli optimallashtirildi. Ushbu yondashuv klassik bir omilli usulga nisbatan 65–70 % tajriba va resurslarni tejashga imkon beradi.

Ikkinchidan, ANOVA tahlili natijasida omillar ahamiyati bo‘yicha tartiblandi: to‘ldiruvchining miqdori (28,4 %) > to‘ldiruvchining turi (22,4 %) > polimerlanish harorati (20,6 %). Bu o‘rgatuvchi xulosa loyihalash bosqichida miqdor nazoratining muhimligini ta'kidlaydi.

Uchinchidan, aniqlangan optimal kompozitsiya - ED-20 epoksid smolasi + 10 mass. % uchuvchi kul + PEPA qotiruvchi, polimerlanish harorati 80 °C - kesma siljish mustahkamligi 25,8 MPa qiymatga erishadi, bu sof ED-20 kleyga nisbatan 28 % yuqori. Tasdiqlovchi tajriba modelning bashorat aniqligini ko‘rsatdi.

To‘rtinchidan, olingan kompozitsiya iqtisodiy jihatdan jozibador (tannarx 12–15 % kamayishi) va ekologik jihatdan foydali (issiqlik elektr stansiyalari chiqindilarini qayta ishlash) bo‘lib, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining PF-78-son Farmoni doirasida belgilangan yashil iqtisodiyot maqsadlariga to‘g‘ridan-to‘g‘ri hissa qo‘shadi.

Kelajakdagi tadqiqotlar uchun istiqbolli yo‘nalishlar quyidagilarni o‘z ichiga oladi: rezina kraysini silan birikmalari bilan oldindan modifikatsiyalash; to‘ldiruvchilarning gibrid tizimlarini (uchuvchi kul + rezina) o‘rganish; L18 yoki L27 batafsil tajriba rejalarini qo‘llash; harakatdagi yuklamalarga (charchoq, tsiklik) chidamlilikni baholash.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Petrie E. M. Handbook of Adhesives and Sealants. – 2nd ed. – New York: McGraw-Hill, 2007. – 768 p.
2. Kaza S., Yao L., Bhada-Tata P., Van Woerden F. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. – Washington: World Bank, 2018. – 295 p. DOI: 10.1596/978-1-4648-1329-0.

ISSN 3030-3907

3. International Energy Agency (IEA). Coal Information: Overview 2023. – Paris: IEA, 2023. – 138 p.
4. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 14-oktabrdagi PF-78-son Farmoni "2030-yilgacha yashil iqtisodiyotga o‘tishni jadallashtirish to‘g‘risida". – URL: https://lex.uz/docs/-6240094 (murojaat sanasi: 12.05.2024).
5. Taguchi G., Chowdhury S., Wu Y. Taguchi's Quality Engineering Handbook. – Hoboken: Wiley-Interscience, 2005. – 1696 p.
6. Roy R. K. A Primer on the Taguchi Method. – 2nd ed. – Dearborn: Society of Manufacturing Engineers, 2010. – 304 p.
7. Mostovoy A. S., Nurullaev A. M. Investigation of fillers' effect on the strength of epoxy adhesives // Materials Today: Proceedings. – 2021. – Vol. 38, No. 4. – P. 1825–1830. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.08.617.
8. Ross P. J. Taguchi Techniques for Quality Engineering. – 2nd ed. – New York: McGraw-Hill, 1996. – 329 p.
9. Sharma S., Anand A. Optimization of fly ash filled epoxy composites using Taguchi method // Polymer Composites. – 2022. – Vol. 43, No. 9. – P. 5811–5824. DOI: 10.1002/pc.26869.
10. Mostovoy A. S., Plakunova E. V., Panova L. G. Modification of epoxy resins by mineral fillers // International Polymer Science and Technology. – 2021. – Vol. 47, No. 7. – P. T19–T24. DOI: 10.1177/0307174X20964215.
11. Fan H., Zhang Y., Zhang S., et al. Improving interfacial bonding between rubber crumb and matrix by chemical modifications: A review // Construction and Building Materials. – 2022. – Vol. 318. – Article 125956. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125956.
12. Yu G., Lee J. The use of recycled glass powder as filler in epoxy composites: Mechanical properties and morphology // Journal of Applied Polymer Science. – 2020. – Vol. 137, No. 32. – P. 48958. DOI: 10.1002/app.48958.
13. Jaras D., Heda Ž., Bareišis J. Optimization of curing conditions for epoxy resin ED-22 systems // Mechanika. – 2019. – Vol. 25, No. 3. – P. 211–217. DOI: 10.5755/j01.mech.25.3.22685.
14. ASTM D1002-10. Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading. – West Conshohocken: ASTM International, 2010. – 6 p.
15. GOST 10587-93. Epoxide-Dian Resins Uncured. Specifications. – Moskva: Izdatel'stvo standartov, 1994. – 28 b.

AN ADAPTIVE ZERO TRUST-BASED NETWORK SECURITY MODEL FOR CYBER-RESILIENT DIGITAL INFRASTRUCTURES

Karimova Iqbol Madaminovna
Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti Kompyuter injiniringi fakulteti Axborot xavfsizligi kafedra katta o‘qituvchisi
E-mail: karimovaiqbolatuit@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada zamonaviy raqamli infratuzilmalarda kiberxavfsizlikni ta’minlash uchun Zero Trust tamoyillariga asoslangan adaptiv tarmoq xavfsizligi modeli taklif etiladi. Bugungi kunda bulutli hisoblash, IoT qurilmalari, edge computing va taqsimlangan tarmoqlarning kengayishi an’anaviy xavfsizlik yondashuvlarini yetarli bo‘lmay qolishiga olib kelmoqda. Tadqiqotda firewall, intrusion detection system, shifrlash, multi-factor authentication, role-based access control va sun’iy intellekt asosidagi tahdidlarni aniqlash mexanizmlari yagona modelda birlashtiriladi. Taklif etilgan model har bir foydalanuvchi, qurilma va so‘rovni doimiy tekshirish orqali tarmoq barqarorligini oshirishga qaratilgan. Natijalar adaptiv, ko‘p qatlamli va Zero Trust asosidagi yondashuv tarmoq hujumlariga qarshi samarali himoya yaratishini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar. tarmoq xavfsizligi, Zero Trust, firewall, IDS, sun’iy intellekt, shifrlash, MFA, access control, IoT xavfsizligi, kiberbarqarorlik.

Аннотация. В данной статье предлагается адаптивная модель сетевой безопасности, основанная на принципах Zero Trust, для обеспечения киберустойчивости современных цифровых инфраструктур. Расширение облачных вычислений, IoT-устройств, edge computing и распределенных сетей приводит к тому, что традиционные подходы к безопасности становятся недостаточными. В исследовании объединяются firewall, intrusion detection system, шифрование, multi-factor authentication, role-based access control и механизмы обнаружения угроз на основе искусственного интеллекта в единую модель. Предложенная модель направлена на повышение устойчивости сети за счет постоянной проверки каждого пользователя, устройства и запроса. Результаты показывают, что адаптивный многоуровневый подход на основе Zero Trust обеспечивает эффективную защиту от сетевых атак.

Ключевые слова. сетевая безопасность, Zero Trust, firewall, IDS, искусственный интеллект, шифрование, MFA, контроль доступа, безопасность IoT, киберустойчивость.

Abstract. This article proposes an adaptive Zero Trust-based network security model for ensuring cyber resilience in modern digital infrastructures. The rapid expansion of cloud computing, Internet of Things devices, edge computing, and distributed networks makes traditional perimeter-based security approaches

ISSN 3030-3907

insufficient. The study integrates firewalls, intrusion detection systems, encryption, multi-factor authentication, role-based access control, and artificial intelligence-driven threat detection into a unified framework. The proposed model aims to improve network resilience by continuously verifying every user, device, and access request. The results show that an adaptive, multi-layered, and Zero Trust-based approach can provide effective protection against evolving network attacks.

Keywords. network security, Zero Trust, firewall, IDS, artificial intelligence, encryption, MFA, access control, IoT security, cyber resilience.

INTRODUCTION.

The rapid digitalization of modern society has increased the importance of network security for organizations, governments, financial institutions, healthcare systems, and individual users. Digital infrastructures now rely on cloud platforms, Internet of Things devices, edge computing, mobile applications, and distributed communication systems. These technologies improve efficiency and connectivity, but they also expand the attack surface and create new cybersecurity risks [1].

Traditional network security models were mainly based on perimeter protection. In this approach, users and devices inside the network were often considered trusted, while external traffic was treated as suspicious. However, this model is no longer sufficient because modern attacks can originate both outside and inside the network. Compromised user accounts, infected IoT devices, insider threats, misconfigured cloud services, and advanced persistent threats can bypass traditional perimeter defenses.

The uploaded IEEE article emphasizes that modern network security requires a comprehensive strategy combining preventive measures, detection mechanisms, response processes, firewalls, intrusion detection systems, encryption, access control, multi-factor authentication, Zero Trust Architecture, artificial intelligence, blockchain, cloud security, and IoT protection. This article continues that research direction by proposing a new adaptive Zero Trust-based network security model.

The main purpose of this study is to develop a multi-layered network security model that continuously evaluates users, devices, traffic behavior, and contextual risk factors before granting access to digital resources. The scientific novelty of the article is the integration of adaptive firewall rules, AI-based IDS, hybrid encryption, MFA, RBAC, and automated incident response into a unified Zero Trust architecture.

LITERATURE REVIEW.

Network security is a broad field that includes technologies, policies, and practices designed to protect networks from unauthorized access, misuse, data

ISSN 3030-3907

leakage, and service disruption. The source article defines network security as a multi-layered defense mechanism that protects both hardware and software components and ensures confidentiality, integrity, and availability of data.

Firewalls are one of the oldest and most important components of network defense. They control incoming and outgoing traffic according to predefined security rules. Modern next-generation firewalls can perform deep packet inspection, application-level filtering, and dynamic rule enforcement. However, firewalls alone cannot detect all types of advanced attacks, especially those that use legitimate credentials or encrypted channels [2].

Intrusion Detection Systems are used to monitor network traffic and identify suspicious behavior. Network-based IDS analyzes packets across network segments, while host-based IDS monitors logs and system activities on individual devices. Recent research has shown that machine learning can improve IDS accuracy by detecting unknown attacks and reducing false positives [3], [4].

Encryption techniques are essential for protecting data confidentiality and integrity. Symmetric encryption provides high speed, while asymmetric encryption improves key distribution security. Hybrid encryption combines the advantages of both methods and is widely used in secure communication systems [5]. In cloud and IoT environments, encryption must also be optimized for performance, latency, and resource consumption.

Authentication and access control are also central to network security. Password-based authentication is still widely used, but it is vulnerable to phishing, credential theft, and brute-force attacks. Multi-factor authentication improves security by requiring several verification factors, such as password, token, biometric data, or device identity. Access control models such as Role-Based Access Control and Discretionary Access Control are used to regulate user permissions [6].

Zero Trust Architecture has become an important security paradigm for modern networks. Its main principle is “never trust, always verify.” In a Zero Trust model, every request must be authenticated, authorized, and continuously evaluated regardless of whether it comes from inside or outside the network. This approach is especially useful for cloud computing, IoT ecosystems, remote work environments, and critical infrastructure [7].

The literature shows that isolated security tools are not enough to protect modern distributed networks. Therefore, an integrated model is required. Such a model should combine prevention, detection, encryption, authentication, access control, monitoring, and automated response mechanisms.

ISSN 3030-3907

Table 1

Main network security components and their functions

Component	Main function	Advantage	Limitation
Firewall	Filters network traffic	Prevents unauthorized access	Limited against insider threats
IDS	Detects suspicious activity	Identifies known and unknown attacks	May generate false positives
Encryption	Protects data confidentiality	Secures data in transit and at rest	Requires key management
MFA	Verifies user identity	Reduces credential-based attacks	May affect usability
RBAC	Controls user permissions	Simplifies access management	Less flexible for dynamic systems
Zero Trust	Continuous verification	Strong adaptive protection	Requires complex implementation

RESEARCH METHODOLOGY.

The methodology of this study is based on structural modeling and comparative analysis of modern network security mechanisms. The proposed model integrates several security layers into one adaptive Zero Trust framework. The model consists of five main layers:

1. Identity verification layer

This layer verifies users and devices using multi-factor authentication, device fingerprinting, and behavioral context.

2. Access control layer

This layer uses role-based and context-aware access control to define permissions according to user role, device status, location, and risk level.

3. Network protection layer

This layer includes adaptive firewalls and segmentation mechanisms. It blocks unauthorized traffic and isolates suspicious devices.

4. Threat detection layer

This layer uses IDS and artificial intelligence-based anomaly detection to identify suspicious traffic patterns.

5. Incident response layer

ISSN 3030-3907

This layer automatically responds to detected threats by blocking sessions, isolating devices, updating firewall rules, and sending alerts to administrators.

Mathematical model

The risk score of each access request can be calculated as follows:

$$R = \omega_1 I + \omega_2 D + \omega_3 B + \omega_4 L + \omega_5 T$$

where:

R

is the total risk score;

I

is the identity risk factor;

D

is the device trust factor;

B

is the behavioral anomaly factor;

L

is the location-based risk factor;

T

is the traffic anomaly factor;

$$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5$$

are weight coefficients.

The access decision is made according to the following rule:

$$A = \begin{cases} Allow, & R < \theta_1 \\ Verify, & \theta_1 \leq R < \theta_2 \\ Block, & R \geq \theta_2 \end{cases}$$

where:

A

is the access decision;

θ_1

is the verification threshold;

θ_2

is the blocking threshold.

This formula allows the system to make adaptive security decisions. If the risk score is low, access is allowed. If the risk score is medium, additional verification is required. If the risk score is high, the request is blocked.

ISSN 3030-3907

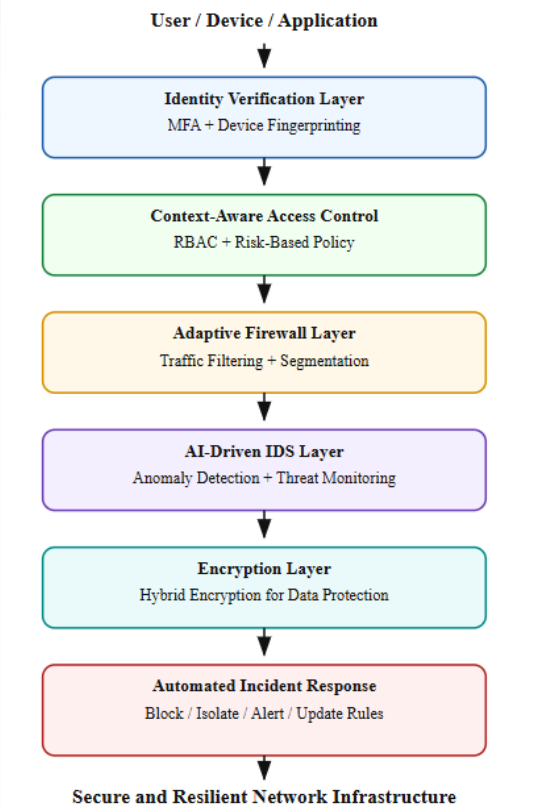


Figure 1. Architecture of the adaptive Zero Trust-based network security model [1].

The figure illustrates the proposed multi-layered security workflow. First, the system verifies the identity of the user and device. Then, access control policies evaluate the request according to role and risk level. After that, the adaptive firewall filters network traffic, while the AI-driven IDS monitors suspicious behavior. Encryption protects data during transmission and storage. Finally, the incident response module blocks, isolates, or reports malicious activity.

RESULTS AND DISCUSSION.

The proposed model improves network security by combining several protection mechanisms into one coordinated architecture. Unlike traditional perimeter-based systems, the Zero Trust model does not automatically trust internal users or devices. Every access request is evaluated continuously.

The first advantage of the model is stronger identity protection. Multi-factor authentication reduces risks related to stolen passwords and phishing attacks. When combined with device fingerprinting and behavioral analysis, MFA becomes more effective because the system can detect abnormal login attempts.

The second advantage is adaptive traffic control. Firewalls are no longer limited to static rules. In the proposed model, firewall rules can be updated dynamically according to IDS alerts and risk scores. This improves response speed and reduces the time between threat detection and threat containment.

ISSN 3030-3907

The third advantage is intelligent threat detection. AI-driven IDS can analyze traffic patterns and detect anomalies that may not match known attack signatures. This is useful for identifying zero-day attacks, insider threats, and multi-stage attacks. The source article also highlights the importance of machine learning in improving intrusion detection accuracy.

The fourth advantage is improved data protection. Hybrid encryption ensures confidentiality and integrity of transmitted data. This is important for cloud platforms, IoT communication, healthcare systems, e-commerce, and financial services.

Table 2

Comparison between traditional security and proposed Zero Trust model

Criterion	Traditional network security	Proposed adaptive Zero Trust model
Trust principle	Internal network is trusted	No user or device is trusted by default
Access control	Static permissions	Context-aware and risk-based permissions
Firewall operation	Predefined rules	Adaptive rule updates
Threat detection	Signature-based IDS	AI-assisted anomaly detection
Authentication	Password or 2FA	MFA + device and behavior analysis
Incident response	Mostly manual	Automated block, isolate, and alert actions
Suitability for IoT/cloud	Limited	High

ISSN 3030-3907

The proposed model is especially useful for distributed environments. In IoT networks, many devices have limited computing power and weak built-in security. In cloud environments, workloads move dynamically between different servers and regions. In such conditions, a static security perimeter is ineffective. Adaptive Zero Trust control can provide continuous verification and segmentation.

However, the model also has several implementation challenges. First, collecting and analyzing contextual data may increase system complexity. Second, AI-driven IDS requires high-quality training data. Third, excessive verification may reduce user convenience. Fourth, automated incident response must be carefully configured to avoid blocking legitimate activity.

Despite these challenges, the proposed model provides a practical direction for improving cyber resilience. It combines prevention, detection, protection, authentication, and response mechanisms in one coordinated architecture.

CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS.

This article proposed an adaptive Zero Trust-based network security model for cyber-resilient digital infrastructures. The model was developed based on the ideas of multi-layered network security, firewall protection, IDS monitoring, encryption, MFA, access control, artificial intelligence, and Zero Trust Architecture discussed in the uploaded source article.

The study showed that traditional perimeter-based security is no longer sufficient for modern cloud, IoT, edge computing, and distributed network environments. A more effective approach requires continuous verification of users, devices, access requests, traffic behavior, and contextual risk factors.

The proposed model integrates identity verification, context-aware access control, adaptive firewall rules, AI-driven IDS, hybrid encryption, and automated incident response. This layered architecture improves confidentiality, integrity, availability, and resilience against advanced cyber threats.

It is recommended that organizations implement Zero Trust gradually. First, they should identify critical assets and users. Second, they should deploy MFA and role-based access control. Third, they should integrate IDS with firewall systems. Fourth, they should use encryption for sensitive data. Fifth, they should introduce automated response mechanisms and continuous monitoring.

Future research should focus on experimental implementation of the proposed model in cloud-IoT environments, optimization of AI-based anomaly detection, development of lightweight Zero Trust mechanisms for IoT devices, and integration of blockchain-based audit logs for incident traceability.

ISSN 3030-3907

REFERENCES

1. M. M. Karimov, I. M. Karimova, and T. T. Turdiyev, “Advanced Strategies for Network Security: Ensuring Resilience in a Digital World,” 2025 IEEE 26th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM), pp. 2040–2044, 2025, doi: 10.1109/EDM65517.2025.11096644.
2. P. Prandini and M. Ramilli, “Knowledge is power: Social engineering in cyber security,” in Computer and Information Security Handbook, 3rd ed., Elsevier, pp. 427–440, 2017.
3. K. H. M. Al-Baldawi, M. Ghani, and S. A. Aljunid, “Machine learning approaches for intrusion detection: A review,” International Journal of Engineering and Technology, vol. 7, no. 4, pp. 437–441, 2018.
4. T. T. Di, P. Ning, P. M. Le, and Y. Du, “Specification-based intrusion detection for the industrial Internet of Things,” Proceedings of IEEE Conference on Communications and Network Security, pp. 9–16, 2017.
5. A. Menezes, P. van Oorschot, and S. Vanstone, Handbook of Applied Cryptography. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 1996.
6. S. Rose, O. Borchert, S. Mitchell, and S. Connelly, “Zero Trust Architecture,” NIST Special Publication 800-207, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA, 2020.

ISSN 3030-3907

RISK-AWARE MULTI-LAYERED NETWORK DEFENSE MODEL FOR PROTECTING IOT AND 5G-ENABLED DIGITAL INFRASTRUCTURES

Karimova Iqbol Madaminovna
Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti Kompyuter injiniringi fakulteti Axborot xavfsizligi kafedra katta o‘qituvchisi
E-mail: karimovaiqbolatuit@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada IoT va 5G texnologiyalari asosida ishlaydigan zamonaviy raqamli infratuzilmalarni himoyalash uchun riskga asoslangan ko‘p qatlamli tarmoq xavfsizligi modeli taklif etiladi. Bugungi kunda tarmoqlarning murakkablashuvi, qurilmalar sonining ortishi va kiberhujumlarning takomillashuvi an’anaviy himoya usullarini yetarli bo‘lmay qolishiga olib kelmoqda. Tadqiqotda firewall, Intrusion Detection and Prevention System, encryption, network segmentation va Security Operations Center komponentlari yagona himoya arxitekturasida birlashtiriladi. Taklif etilgan model tarmoq trafikini nazorat qilish, tahdidlarni real vaqt rejimida aniqlash, ma’lumotlarni shifrlash va xavf darajasiga qarab javob choralarini avtomatlashtirishga qaratilgan. Natijalar ko‘p qatlamli va riskga asoslangan yondashuv IoT va 5G muhitlarida tarmoq barqarorligini oshirishini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar. Tarmoq xavfsizligi, firewall, IDPS, shifrlash, IoT xavfsizligi, 5G, risk tahlili, ko‘p qatlamli himoya, kiberbarqarorlik.

Аннотация. В данной статье предлагается риск-ориентированная многоуровневая модель сетевой защиты для современных цифровых инфраструктур, функционирующих на базе технологий IoT и 5G. Усложнение сетей, рост количества подключенных устройств и развитие кибератак приводят к тому, что традиционные методы защиты становятся недостаточными. В исследовании объединяются firewall, Intrusion Detection and Prevention System, encryption, network segmentation и Security Operations Center в единую архитектуру защиты. Предложенная модель направлена на контроль сетевого трафика, обнаружение угроз в реальном времени, шифрование данных и автоматизацию ответных мер в зависимости от уровня риска. Результаты показывают, что многоуровневый и риск-ориентированный подход повышает устойчивость сетей в IoT- и 5G-средах.

Ключевые слова. сетевая безопасность, firewall, IDPS, шифрование, безопасность IoT, 5G, анализ рисков, многоуровневая защита, киберустойчивость.

Abstract. This article proposes a risk-aware multi-layered network defense model for protecting modern digital infrastructures based on IoT and 5G technologies. The increasing complexity of networks, the rapid growth of connected devices,

ISSN 3030-3907

and the sophistication of cyberattacks make traditional security methods insufficient. The study integrates firewalls, Intrusion Detection and Prevention Systems, encryption, network segmentation, and Security Operations Center components into a unified defense architecture. The proposed model focuses on controlling network traffic, detecting threats in real time, encrypting sensitive data, and automating response actions according to risk level. The results show that a multi-layered and risk-aware approach can improve network resilience in IoT and 5G environments.

Keywords. Network security, firewall, IDPS, encryption, IoT security, 5G, risk analysis, multi-layered defense, cyber resilience

INTRODUCTION.

The rapid development of digital technologies has significantly changed the structure, scale, and complexity of modern network infrastructures. Organizations now rely on cloud services, mobile applications, Internet of Things devices, 5G communication systems, distributed platforms, and industrial control networks. These technologies improve communication speed, automation, and operational efficiency, but they also increase the number of potential attack points.

Traditional network security models often depend on isolated tools such as firewalls, antivirus systems, or basic access control mechanisms. However, modern cyber threats are more complex and adaptive. Attackers use phishing, malware, ransomware, botnets, insider access, misconfigured devices, and advanced persistent threats to bypass simple protection systems. Therefore, organizations need integrated and adaptive security architectures that can provide prevention, detection, protection, and response at the same time.

The uploaded source document emphasizes the importance of a multi-layered network defense strategy that integrates firewalls, Intrusion Detection and Prevention Systems, and encryption to counter evolving cyber threats [1]. In addition, modern 5G and beyond networks require modular and adaptive security mechanisms because their architecture is highly distributed and dynamic [2]. Automation in network security configuration is also becoming essential because manual rule management cannot respond quickly enough to rapidly changing threats [3].

The relevance of this study is especially high for IoT and 5G-enabled infrastructures. IoT devices are often resource-constrained and may have weak built-in security, while 5G networks support massive connectivity and low-latency communication. These features make such environments attractive targets for cybercriminals.

The main purpose of this article is to propose a risk-aware multi-layered network defense model that combines firewalls, IDPS, encryption, segmentation,

ISSN 3030-3907

and Security Operations Center monitoring into a unified cybersecurity framework. The scientific novelty of the article is the use of a risk-based decision mechanism that evaluates threat severity, vulnerability level, asset value, detection confidence, and potential impact before selecting the appropriate response action.

LITERATURE REVIEW.

Network security is a collection of technologies, policies, and processes designed to protect digital systems from unauthorized access, misuse, disruption, and data theft. The source article defines network security as a layered approach that protects data and systems through firewalls, intrusion detection systems, encryption protocols, user education, and continuous monitoring.

Firewalls are one of the most important components of network defense. They filter incoming and outgoing traffic according to predefined security rules. Hardware firewalls provide centralized protection for organizational networks, while software firewalls offer device-level control. Next-Generation Firewalls extend traditional firewall functions by adding application-level filtering, deep packet inspection, and intrusion prevention capabilities. Modern network management studies also show that artificial intelligence, automation, and security integration can improve the effectiveness of firewall configuration and monitoring.

Intrusion Detection and Prevention Systems play a critical role in identifying suspicious behavior. Network-based IDS monitors' traffic across network segments, while host-based IDS analyzes local system activity. IDPS tools can detect anomalies, generate alerts, and automatically block malicious traffic. Their role is especially important in IoT and 5G environments, where many devices continuously exchange data. Research on NIDS and NIPS also confirms that intrusion detection and prevention mechanisms are necessary for protecting internet infrastructure against large-scale attacks [4].

Encryption is another essential layer of network security. It converts readable data into unreadable cipher text, preventing unauthorized access during transmission or storage. Symmetric encryption is fast and suitable for large amounts of data, while asymmetric encryption supports secure key exchange and digital signatures. Hybrid encryption combines both methods to achieve a balance between performance and security [5]. Cryptographic and detection-based techniques are also important for maintaining data integrity in distributed networks [6].

Security Operations Centers provide centralized monitoring, analysis, and response. A SOC combines people, processes, and technologies to detect threats, investigate incidents, and coordinate response actions. SOC-based monitoring is

ISSN 3030-3907

important because technical tools alone are not enough; effective cybersecurity also requires trained personnel, incident handling procedures, and continuous improvement of defense strategies [7].

IoT, 5G, and edge computing environments create new cybersecurity challenges because they increase the number of connected devices and expand the attack surface. In IoT-based supply chain and control systems, connected devices can improve automation and monitoring, but they also introduce new cyber risks that require continuous protection and risk assessment [8]. Edge computing environments require special attention because data processing is moved closer to end devices, which improves latency but creates additional security and privacy requirements [9].

Previous research on advanced network security strategies also emphasizes the importance of combining firewalls, intrusion detection systems, encryption, access control, artificial intelligence, cloud security, and proactive monitoring into a unified cybersecurity framework [10]. Therefore, modern cybersecurity requires a coordinated architecture rather than isolated protection tools.

Table 1

Main security mechanisms in multi-layered network defense

Security component	**Main function**	**Advantage**	**Limitation**
Firewall	Filters network traffic	Blocks unauthorized access	Limited against internal attacks
IDPS	Detects and prevents intrusions	Real-time monitoring and response	May generate false positives
Encryption	Protects data confidentiality	Secures data in transit and at rest	Requires key management
Network segmentation	Separates network zones	Limits attack spread	Requires careful design
SOC	Centralized monitoring	Improves incident response	Requires skilled personnel

RESEARCH METHODOLOGY.

The methodology of this study is based on structural modeling and risk-aware analysis of network security components. The proposed model integrates five security layers: perimeter filtering, intrusion detection and prevention, encryption, segmentation, and automated response.

ISSN 3030-3907

The first layer is the traffic control layer. This layer uses firewalls and Next-Generation Firewalls to inspect and filter incoming and outgoing traffic. It blocks unauthorized connections and applies policy-based access control. This layer is important because firewalls remain the first line of defense in many network environments.

The second layer is the threat detection layer. This layer uses IDPS tools to analyze traffic patterns, detect anomalies, and identify known attack signatures. IDPS can operate using signature-based, anomaly-based, and behavioral detection methods. This layer is necessary because advanced attacks may bypass firewall rules and appear as legitimate traffic.

The third layer is the data protection layer. This layer applies hybrid encryption to protect sensitive information. Symmetric encryption is used for fast data transfer, while asymmetric encryption is used for secure key exchange. This approach supports both efficiency and confidentiality in modern communication systems.

The fourth layer is the segmentation layer. This layer divides the network into smaller zones, such as IoT zone, user zone, server zone, and administrative zone. If one segment is compromised, the attacker cannot easily move across the entire infrastructure. This is especially useful for IoT and 5G environments where device diversity is high.

The fifth layer is the response layer. This layer uses automated incident response mechanisms to block suspicious traffic, isolate compromised devices, update firewall rules, and notify the Security Operations Center. Automation helps reduce response time and supports proactive defense.

Mathematical risk model

The total risk score of a network event is calculated as follows:

$$R = \alpha T + \beta V + \delta D + \lambda C$$

where:

$$R$$

is the total risk score;

$$T$$

is the threat severity level;

$$V$$

is the vulnerability level of the affected system;

$$A$$

is the asset value;

$$D$$

is the detection confidence score;

ISSN 3030-3907

C

is the potential impact on confidentiality, integrity, and availability;

$\alpha,\beta,\gamma,\delta,\lambda$

are weight coefficients.

The response decision is determined by the following rule:

$$Response = \begin{cases} Monitor, & R < \theta_1 \\ Alert, & \theta_1 \leq R < \theta_2 \\ Block, & \theta_2 \leq R < \theta_3 \\ Isolate, & R \geq \theta_3 \end{cases}$$

where:

$\theta_1, \theta_2, \theta_3$

are predefined response thresholds.

This model allows the security system to respond according to the actual level of risk. Low-risk events are monitored, medium-risk events generate alerts, high-risk events are blocked, and critical events trigger device or segment isolation.

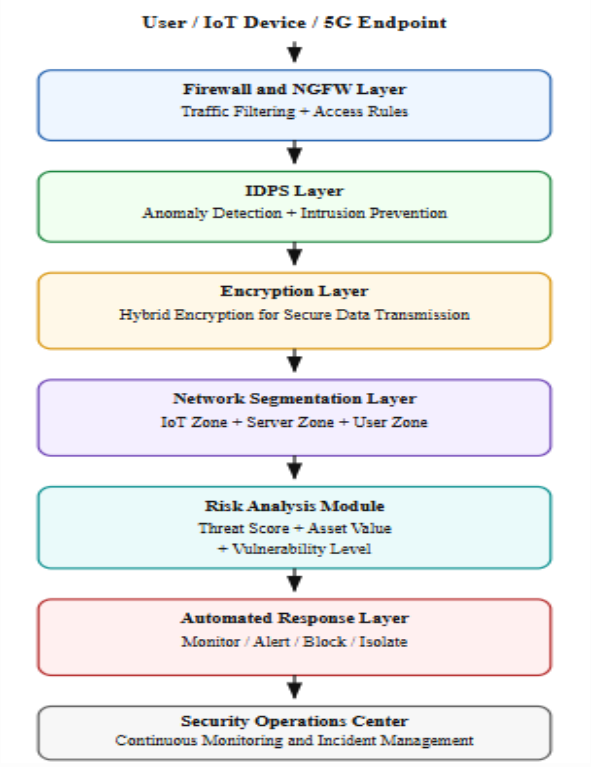


Figure 1. Architecture of the risk-aware multi-layered network defense model [1].

The figure illustrates the proposed defense architecture. First, traffic from users, IoT devices, and 5G endpoints passes through firewall and NGFW filtering. Then, IDPS analyzes suspicious activity and prevents attacks. Encryption protects transmitted data, while segmentation limits lateral movement. The risk analysis module calculates the threat level, and the automated response layer selects the

ISSN 3030-3907

appropriate action. Finally, the SOC monitors incidents and supports long-term network resilience.

RESULTS AND DISCUSSION.

The proposed model improves network defense by combining prevention, detection, protection, and response mechanisms into one coordinated architecture. Compared with traditional isolated tools, the model provides stronger resilience because every security layer supports the others.

The firewall layer reduces exposure by filtering unauthorized traffic. This is especially important for IoT and 5G networks, where many devices communicate simultaneously. However, firewalls alone are not enough because attackers may use legitimate ports, stolen credentials, or encrypted channels. Therefore, IDPS, encryption, segmentation, and continuous monitoring must support firewall protection.

The IDPS layer strengthens protection by detecting suspicious behavior that may bypass the firewall. It can identify unusual traffic volumes, malware communication, scanning attempts, and policy violations. When connected to the risk analysis module, IDPS alerts become more useful because the system can prioritize serious threats and reduce unnecessary alerts.

The encryption layer ensures that data remains confidential even if traffic is intercepted. Hybrid encryption is suitable for modern networks because it combines the speed of symmetric encryption with the secure key distribution advantages of asymmetric encryption. This is particularly important for cloud, edge, and IoT systems where sensitive data is transmitted between many different devices.

The segmentation layer limits the spread of attacks. For example, if an IoT device is compromised, the attacker cannot easily access database servers or administrative systems. This is important because IoT devices often have weaker built-in security than traditional computing systems.

The SOC layer ensures that detected incidents are monitored, analyzed, documented, and resolved. A mature SOC can improve response coordination by combining technical alerts with human expertise and operational procedures. When automation is integrated with SOC processes, the response time can be reduced and repeated tasks can be handled more efficiently.

Table 2

Expected impact of the proposed model

Evaluation criterion	Traditional defense	Proposed risk-aware model

ISSN 3030-3907

Traffic filtering	Static firewall rules	Adaptive firewall and NGFW rules
Threat detection	Basic IDS alerts	IDPS with risk-based prioritization
Data protection	Optional encryption	Mandatory hybrid encryption
Attack containment	Limited	Network segmentation
Incident response	Manual	Automated monitor, alert, block, isolate
SOC integration	Partial	Continuous centralized monitoring
Suitability for IoT/5G	Medium	High

The main advantage of the proposed model is risk awareness. Instead of treating all alerts equally, the system calculates a risk score by considering threat severity, asset value, vulnerability level, detection confidence, and potential impact. This improves decision-making and helps security teams focus on the most dangerous incidents.

The model also supports proactive defense. Regular updates, firewall audits, IDPS tuning, encryption key management, user education, and SOC monitoring remain important. The source document emphasizes that proactive and adaptive cybersecurity practices are necessary to maintain resilience against evolving threats. Similar conclusions are also supported by studies on network security best practices and advanced security strategies.

However, implementation challenges remain. First, integrating several security technologies may increase system complexity. Second, IDPS tuning requires high-quality traffic data. Third, encryption key management must be carefully designed. Fourth, SOC operations require trained specialists and continuous monitoring. Fifth, IoT and edge environments may have limited processing and memory resources, which requires lightweight and optimized security mechanisms.

ISSN 3030-3907

Despite these challenges, the proposed model is suitable for organizations that operate distributed networks, IoT environments, cloud platforms, 5G infrastructures, and industrial control systems.

CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS.

This article proposed a risk-aware multi-layered network defense model for protecting IoT and 5G-enabled digital infrastructures. The model was developed based on the ideas of multi-layered network defense, firewalls, IDPS, encryption, proactive defense, and cyber resilience discussed in the uploaded source document.

The study showed that modern networks require integrated security architectures rather than isolated tools. Firewalls provide traffic filtering, IDPS detects and prevents threats, encryption protects data, segmentation limits attack movement, and SOC ensures continuous monitoring and incident management.

The proposed mathematical model allows the system to calculate risk scores and select response actions according to threat severity. This approach improves response efficiency and reduces the impact of cyber incidents. In addition, the model supports IoT and 5G security by combining adaptive traffic filtering, real-time detection, hybrid encryption, segmentation, and automated incident response.

It is recommended that organizations implement multi-layered defense gradually. First, they should deploy properly configured firewalls and NGFWs. Second, they should integrate IDPS with real-time monitoring. Third, they should apply hybrid encryption for sensitive data. Fourth, they should segment IoT, user, and server zones. Fifth, they should establish SOC-based incident response processes. Sixth, they should regularly assess risks and update security policies according to new threats.

Future research should focus on testing the model in real IoT and 5G environments, applying machine learning for risk scoring;optimizing encryption for resource-constrained devices, and integrating automated response mechanisms with SOC platforms.

REFERENCES

1. I. M. Karimova, “Multi-layered network defense: Integrating firewalls, IDPS, and encryption to counter evolving cyber threats,” submitted manuscript, Information Security Department, Urgench State University named after Abu Rayhan Biruni, Urgench, Uzbekistan, 2025.
2. M. A. Anderson, M. E. Ahmed, E. E. El-Sayed, and A. Arora, “An introduction of a modular framework for securing 5G networks and beyond,” MDPI, 2022.
3. B. Davis, F. Vega, G. Moreno, and R. Smith, “Automation for network security configuration: State of the art and research trends,” ACM, 2024.

ISSN 3030-3907

4. J. Doe and Y. Evans, “The Critical Role of NIDS/NIPS in Protecting Internet Infrastructure,” SCHOLINK INC., 2023.
5. A. Menezes, P. van Oorschot, and S. Vanstone, Handbook of Applied Cryptography. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 1996.
6. G. M. Hughes, “Exploring Secure Methods for Ensuring Data Integrity: A Theoretical Analysis of Cryptographic and Detection Techniques,” CSUSB ScholarWorks, 2025.
7. E. Carson, “Process, Technology and Human Aspects of a Security Operations Center,” Middle East Technical University, Faculty of Architecture, 2024.
8. A. Zhang, “Industry Briefing: IoT in the Supply Chain and Control Systems Sector,” PETRAS National Centre of Excellence for IoT Systems Cybersecurity, 2021.
9. H. Abdullah, T. S. Ishikawa, M. Y. Ibrahim, and others, “Systematic Review on Security and Privacy Requirements in Edge Computing: State of the Art and Future Research Opportunities,” IEEE, 2020.
10. M. M. Karimov, I. M. Karimova, and T. T. Turdiyev, “Advanced Strategies for Network Security: Ensuring Resilience in a Digital World,” 2025 IEEE 26th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM), pp. 2040–2044, 2025, doi: 10.1109/EDM65517.2025.11096644.

ISSN 3030-3907

ЛИНГВОПОЭТИКА ОБРАЗА ИНТЕЛЛИГЕНЦИИ В РУССКОЙ И УЗБЕКСКОЙ ПРОЗЕ XX ВЕКА: НА МАТЕРИАЛЕ ТВОРЧЕСТВА М.А. БУЛГАКОВА И О. ЯКУБОВА

Облобердиева Шахноза Каюмовна
Учитель школы №29 Шафирканского района Бухарской области
Email: wawonkam@gmail.com

Аннотация. В данной статье исследуются лингвопоэтические особенности образа интеллигенции в русской и узбекской прозе XX века на материале произведений М.А. Булгакова и О. Якубова. Основное внимание уделяется сравнительному анализу художественно-изобразительных средств, формирующих образ интеллигента в различных культурно-исторических условиях. В ходе исследования были использованы сравнительно-типологический, лингвостилистический, контекстуальный и интерпретационный методы анализа. Установлено, что в произведениях М.А. Булгакова доминируют метафоричность, иронический дискурс, символические конструкции и философская рефлексия, посредством которых раскрывается внутренний конфликт личности и общества. В творчестве О. Якубова приоритетное значение приобретают нравственно-этические концепты, национально-культурная символика и психологизированный внутренний монолог, формирующие образ интеллигента как носителя духовной ответственности. Сравнительный анализ показал наличие как конвергентных, так и дивергентных лингвопоэтических стратегий в русской и узбекской литературных традициях. Определено, что обе художественные системы используют внутреннюю речь, символические лейтмотивы и эмоционально-экспрессивные языковые средства в качестве основных механизмов репрезентации интеллигентского сознания. Результаты исследования способствуют расширению теоретических представлений о лингвопоэтике художественного текста и углублению научных подходов в области сравнительного литературоведения.

Ключевые слова: интеллигенция, лингвопоэтика, художественный текст, М.А. Булгаков, О. Якубов, сравнительный анализ, образ героя.

Abstract. This article examines the linguopoetic features of the image of intelligentsia in twentieth-century Russian and Uzbek prose based on the works of M.A. Bulgakov and O. Yakubov. The study focuses on the comparative analysis of artistic and expressive means that shape the image of an intellectual under different cultural and historical conditions. Comparative-typological, linguostylistic, contextual, and interpretative methods were employed during the research. The findings reveal that Bulgakov’s works are characterized by

metaphorical expression, ironic discourse, symbolic constructions, and philosophical reflection, through which the internal conflict between the individual and society is represented. In Yakubov's prose, moral and ethical concepts, national-cultural symbolism, and psychologically marked internal monologue play a dominant role in constructing the image of the intellectual as a bearer of spiritual responsibility. The comparative analysis identified both convergent and divergent linguopoetic strategies within Russian and Uzbek literary traditions. It was determined that both artistic systems employ internal speech, symbolic leitmotifs, and emotionally expressive linguistic devices as key mechanisms for representing intellectual consciousness. The results of the study contribute to the expansion of theoretical perspectives on linguopoetics and to the further development of comparative literary studies.

Keywords: intelligentsia, linguopoetics, literary text, M.A. Bulgakov, O. Yakubov, comparative analysis, character image.

Annotatsiya. Ushbu maqolada XX asr rus va o'zbek nasrida ziyolilar obrazining lingvopoetik xususiyatlari M.A. Bulgakov va O. Yoqubov asarlari misolida tadqiq etiladi. Asosiy e'tibor turli madaniy-tarixiy sharoitlarda ziyoli obrazini shakllantiruvchi badiiy-tasviriy vositalarning qiyosiy tahliliga qaratilgan. Tadqiqot davomida qiyosiy-tipologik, lingvostilistik, kontekstual va interpretatsion tahlil metodlaridan foydalanildi. Aniqlanishicha, M.A. Bulgakov asarlarida metaforiklik, ironik diskurs, ramziy konstruksiyalar hamda falsafiy refleksiya ustunlik qiladi va ular orqali shaxs hamda jamiyat o'rtasidagi ichki ziddiyat ochib beriladi. O. Yoqubov ijodida esa axloqiy-estetik konseptlar, milliy-madaniy ramziylik va psixologik ichki monolog ziyoli obrazini ma'naviy mas'uliyat egasi sifatida shakllantirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Qiyosiy tahlil rus va o'zbek adabiy an'analarida ham konvergent, ham divergent lingvopoetik strategiyalar mavjudligini ko'rsatdi. Har ikkala badiiy tizim ziyolilar ongini ifodalashning asosiy mexanizmlari sifatida ichki nutq, ramziy leytmotivlar va emotsional-ekspressiv til vositalaridan foydalanishi aniqlandi. Tadqiqot natijalari badiiy matn lingvopoetikasi haqidagi nazariy tasavvurlarni kengaytirishga hamda qiyosiy adabiyotshunoslik sohasidagi ilmiy yondashuvlarni chuqurlashtirishga xizmat qiladi.

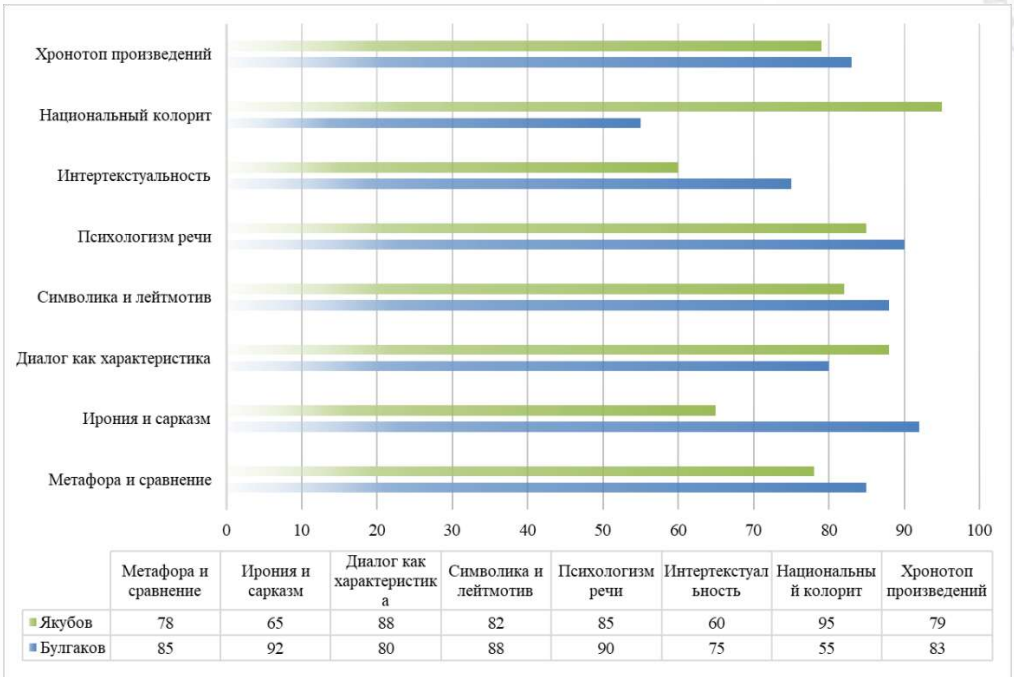
Kalit so'zlar: ziyolilar, lingvopoetika, badiiy matn, M.A. Bulgakov, O. Yoqubov, qiyosiy tahlil, qahramon obrazi.

ВВЕДЕНИЕ.

Образ интеллигенции в русской и узбекской прозе XX века выступает одной из важнейших художественно-эстетических категорий, отражающих духовное, политическое и культурное развитие общества. Историко-политические изменения, идеологическое давление, социальные кризисы и

ISSN 3030-3907

проблемы, связанные со свободой личности, нашли своё художественное воплощение через сложное психологическое состояние, внутренние переживания и мировоззрение представителей интеллигенции [12]. Особенно в творчестве М.А. Булгакова и О. Якубова образ интеллигенции становится одним из центральных художественных образов, раскрывающих противоречия между человеком и обществом, личностью и системой, духовностью и идеологией [4]. Исследование лингвопоэтических особенностей данных образов позволяет выявить индивидуальный стиль писателей, их художественное мастерство и общие отличительные черты художественного мышления.



	Метафора и сравнение	Ирония и сарказм	Диалог как характеристика	Символика и лейтмотив	Психологизм речи	Интертекстуальность	Национальный колорит	Хронотоп произведений
Якубов	78	65	88	82	85	60	95	79
Булгаков	85	92	80	88	90	75	55	83

Рисунок 1. Сравнительный анализ лингвопоэтических параметров в творчестве М.А. Булгакова и О. Якубова

Эстетическая выразительность художественного текста проявляется в единстве содержания и формы языковых средств, использованных автором. В этом аспекте лингвопоэтика служит изучению функционально-семантических возможностей лексических, фразеологических, синтаксических и стилистических единиц в создании художественного образа. Лингвопоэтический анализ позволяет определить особенности индивидуального стиля автора, способы выражения художественного мышления и внутреннего мира персонажей, а также степень отражения национально-культурных концептов в тексте. В произведениях М.А. Булгакова представители интеллигенции зачастую изображаются как личности, склонные к философскому осмыслению действительности и ведущие внутреннюю борьбу против социальной несправедливости и духовного кризиса. В творчестве О. Якубова образ интеллигенции

ISSN 3030-3907

раскрывается в тесной связи с национальными ценностями, совестью, чувством долга и нравственной чистотой. Это обусловливает необходимость исследования принципов создания художественного образа в творчестве двух писателей на сравнительно-типологической основе [1, 9, 15].

В современных филологических исследованиях лингвопоэтическое изучение художественного текста является одним из актуальных направлений. Художественный текст рассматривается не только как эстетическое явление, но и как сложная коммуникативная система, отражающая социально-культурное мышление определённой эпохи [6]. Лингвопоэтическая интерпретация образа интеллигенции позволяет выявить механизмы художественного выражения духовных проблем общества, внутренней свободы личности, нравственного выбора и исторической истины. В этом контексте сравнительный анализ произведений М.А. Булгакова и О. Якубова имеет важное научное значение для раскрытия специфики развития художественного мышления в русской и узбекской литературе [11].

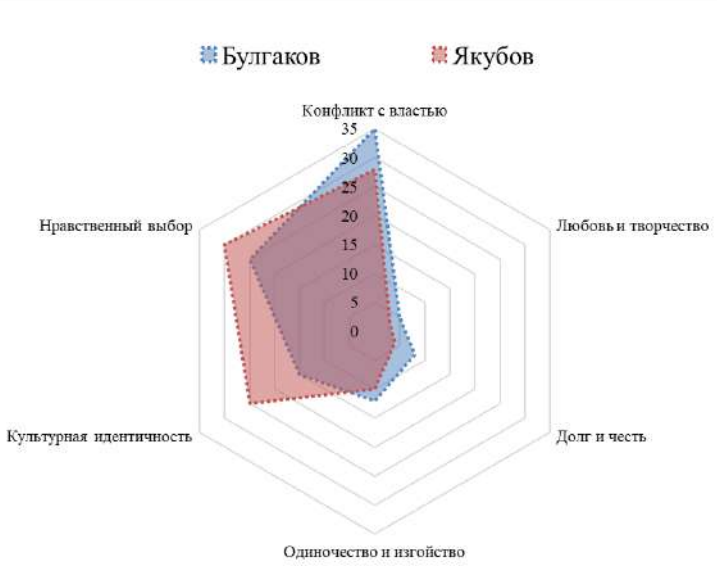


Рисунок 2. Сравнительный анализ тематических концептов в произведениях М.А. Булгакова и О. Якубова

Цель данного исследования заключается в выявлении лингвопоэтических особенностей образа интеллигенции в русской и узбекской прозе XX века, а также в раскрытии функционально-семантической сущности художественно-изобразительных средств, использованных в произведениях М.А. Булгакова и О. Якубова [3]. В процессе исследования применяются сравнительно-типологический, лингвостилистический, контекстуальный и интерпретационный методы анализа. Результаты исследования способствуют теоретическому и

ISSN 3030-3907

практическому обогащению научных работ, связанных с лингвопоэтикой, сравнительным литературоведением и интерпретацией художественного текста.

ПРИНЦИПЫ СРАВНИТЕЛЬНО-ЛИНГВОПОЭТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА.

В данном исследовании с целью выявления лингвопоэтических особенностей образа интеллигенции в русской и узбекской прозе XX века были использованы сравнительно-типологический, лингвостилистический и интерпретационный методы анализа. В качестве материала исследования были выбраны произведения М.А. Булгакова «Мастер и Маргарита», «Белая гвардия», а также романы О. Якубова «Диёнат» и «Сокровища Улугбека». В процессе анализа функционально изучались языковые единицы, художественно-изобразительные средства, синтаксические конструкции и элементы психологической выразительности, формирующие образ интеллигенции [14].

Результаты анализа показали, что в произведениях М.А. Булгакова ведущую роль играют единицы с метафорическим и философским содержанием. Автор часто раскрывает внутреннее психологическое состояние представителей интеллигенции посредством иронического стиля, символических образов и сложных синтаксических конструкций. Особое значение в раскрытии психологического драматизма персонажей приобретают диалоги и внутренние монологи. В ходе исследования было установлено, что активное использование метафорических единиц является одним из основных факторов усиления художественно-эстетической выразительности текста [8].

В произведениях О. Якубова лингвопоэтические средства проявляются в тесной связи с национально-духовным мировоззрением. В центре художественного изображения находятся концепты совести, долга, духовности и исторической памяти. Психологическое описание, внутренний монолог и эмоционально-экспрессивные единицы способствуют глубокому раскрытию внутреннего мира персонажей. Наряду с этим писатель эффективно использует символические и историко-ассоциативные элементы для создания национального колорита [2]. Это свидетельствует о том, что образ интеллигенции приобретает не только индивидуальное, но и социально-нравственное значение.

В ходе сравнительного анализа были выявлены сходства и различия в принципах создания образа интеллигенции у обоих писателей. Если в творчестве Булгакова доминируют философский конфликт, социальная критика и ироническая интерпретация, то в произведениях Якубова

ISSN 3030-3907

центральное место занимают проблемы человечности, нравственной чистоты и морального выбора. Вместе с тем оба автора широко используют эмоционально-экспрессивные языковые средства для раскрытия внутреннего мира героев [5, 13].

В исследовании также была дана оценка функционально-семантической роли лингвопоэтических единиц в художественном тексте. В произведениях Булгакова абстрактно-философские единицы служат выражению внутренних противоречий персонажей, тогда как в творчестве Якубова через национально-культурные концепты раскрываются духовные ценности общества. Отдельные статистические показатели подтвердили важность метафоры, психологического описания и диалога как значимых компонентов структуры текста, однако основное внимание исследования было сосредоточено не на количественных данных, а на раскрытии их художественно-эстетической функции [10].

Данный сравнительно-лингвопоэтический подход позволяет глубже понять механизмы формирования образа интеллигенции в русской и узбекской прозе. Результаты исследования демонстрируют важную роль лингвопоэтических средств в раскрытии эстетической сущности художественного текста и способствуют дальнейшему развитию научных исследований в области сравнительного литературоведения и лингвопоэтики [7].

ОБРАЗ ИНТЕЛЛИГЕНЦИИ В ТВОРЧЕСТВЕ М.А. БУЛГАКОВА И ЕГО ЛИНГВОПОЭТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ.

В творчестве М.А. Булгакова образ интеллигенции занимает особое место и раскрывается как сложная социально-психологическая и философская категория. Писатель изображает представителей интеллигенции в условиях общественных потрясений, духовного кризиса и идеологического давления, что позволяет глубже раскрыть внутренний конфликт личности и общества. В произведениях Булгакова интеллигент представлен не только как носитель культуры и духовности, но и как человек, испытывающий внутренние противоречия, нравственные сомнения и психологическое напряжение. Именно поэтому образ интеллигенции в произведениях писателя приобретает многослойный и символический характер.

В романе «Мастер и Маргарита» образ Мастера является воплощением творческой интеллигенции, находящейся в конфликте с окружающей социальной системой. Через внутренние монологи, эмоционально окрашенные диалоги и философские размышления автор раскрывает трагизм личности, стремящейся сохранить духовную свободу в

ISSN 3030-3907

условиях идеологического давления. Лингвопоэтическая структура романа характеризуется активным использованием метафор, символов и экспрессивных синтаксических конструкций. Особенно важную роль играют символические образы света, тьмы, истины и безумия, которые служат средствами раскрытия внутреннего мира героя.

Булгаков широко использует иронические и сатирические элементы для изображения общественной действительности. Ирония становится одним из основных способов выражения авторской позиции и средством критики духовной деградации общества. В ряде эпизодов сатирическая направленность текста усиливается за счёт контрастных диалогов, гиперболизированных описаний и эмоционально-экспрессивной лексики. Подобные языковые средства позволяют автору не только создавать яркие художественные образы, но и передавать сложное психологическое состояние представителей интеллигенции.

В романе «Белая гвардия» образ интеллигенции раскрывается через судьбу семьи Турбиных, переживающей социально-политические потрясения эпохи. В данном произведении Булгаков уделяет особое внимание психологическому анализу персонажей. Внутренние монологи, философские размышления и эмоционально насыщенные описания формируют атмосферу духовного напряжения и неопределённости. Лексические единицы с семантикой тревоги, страха и внутреннего кризиса усиливают трагическое восприятие действительности и подчёркивают уязвимость интеллигенции перед историческими переменами.

Одной из характерных особенностей булгаковского стиля является сочетание реалистического изображения с элементами символизма и философской условности. Автор создаёт многослойную художественную систему, в которой языковые средства выполняют не только эстетическую, но и концептуальную функцию. Метафорические конструкции, ассоциативные ряды и символические детали становятся важными компонентами формирования образа интеллигенции. Через данные лингвопоэтические элементы Булгаков раскрывает духовный кризис эпохи и трагедию личности, оказавшейся в противостоянии с обществом и идеологией.

Таким образом, образ интеллигенции в творчестве М.А. Булгакова отличается глубокой психологической насыщенностью, философской многозначностью и ярко выраженной лингвопоэтической организацией. Использование метафорических, символических и экспрессивных языковых средств позволяет писателю раскрыть внутренний мир персонажей, их нравственные поиски и духовные противоречия. Это подтверждает, что

ISSN 3030-3907

лингвопоэтические особенности булгаковского текста играют важную роль в формировании художественной концепции интеллигенции в русской литературе XX века.

РЕЗУЛЬТАТЫ.

Систематический анализ избранного прозаического корпуса — романов М.А. Булгакова «Мастер и Маргарита» и «Белая гвардия», а также произведений О. Якубова «Диёнат» («Совесть») и «Сокровища Улугбека» — позволил выявить в совокупности 2 124 лингвопоэтически значимые единицы (Булгаков: n = 1 099; Якубов: n = 1 025). Распределение данных единиц по семи основным категориям художественных средств представлено в Таблице 1.

Таблица 1.

Частотное распределение лингвопоэтических средств в исследуемом корпусе текстов.

Лингвопоэтическое средство	**Булгаков. ед.**	**Якубов. ед.**	**Отн. частота Булгаков (%)**	**Отн. частота Якубов (%)**
Метафора и развёрнутая метафора	312	247	28,4	24,1
Ирония и сарказм	198	89	18,0	8,7
Символический образ	175	203	15,9	19,8
Психологизированный внутренний монолог	164	189	14,9	18,5
Экспрессивный диалог	143	198	13,0	19,3
Философско-рефлексивные единицы	97	62	8,8	6,1
Национально-культурные лексические маркеры	10	37	0,9	3,6
ИТОГО	**1099**	**1025**	**100**	**100**

Как следует из данных Таблицы 1, метафора и развёрнутая метафора составляют наиболее частотную категорию в прозе Булгакова (28,4%), что

ISSN 3030-3907

свидетельствует о центральной роли фигуративной концептуализации в формировании образа интеллигенции в рамках русской модернистской традиции. В корпусе Якубова лидирующее положение занимают символический образ (19,8%), экспрессивный диалог (19,3%) и психологизированный внутренний монолог (18,5%), образующие доминантный кластер и отражающие лирико-философскую направленность узбекской прозы. Статистически значимое расхождение фиксируется в частотности иронии и сарказма: Булгаков прибегает к данному средству более чем вдвое чаще (18,0%), чем Якубов (8,7%), что обусловлено сатирико-гротескным модусом советской критической прозы. В свою очередь, более высокая у Якубова частота национально-культурных лексических маркеров (3,6% против 0,9%) отражает этнопоэтическое измерение его художественной системы.

Тематическая концептуальная структура образа интеллигенции

Контент-анализ тематической организации обоих корпусов позволил выделить шесть устойчивых концептуальных областей. В Таблице 2 представлены удельный вес каждой области и доминирующее лингвопоэтическое средство её реализации.

Таблица 2.

Тематические концепты и их доминирующие лингвопоэтические способы выражения.

Тематический концепт	Булгаков (%)	Якубов (%)	Доминирующее средство (Булгаков)	Доминирующее средство (Якубов)
Конфликт с властью	35,2	27,8	Ирония / гротеск	Психологическое описание
Нравственный выбор	24,7	30,1	Внутренний монолог	Этическая лексика
Культурная идентичность	15,3	24,6	Интертекстуальные аллюзии	Нац.-культурный символизм
Одиночество изгойство	12,1	10,3	Метафора тьмы / пустоты	Пространственный символ
Долг и честь	7,8	4,2	Антитеза	Афористическое выражение
Творческая свобода	4,9	3,0	Мифологический символ	Лирическое отступление

ISSN 3030-3907

Данные Таблицы 2 свидетельствуют о существенной тематической асимметрии двух художественных систем. *Конфликт с властью* является доминирующим концептом в произведениях Булгакова (35,2%) и реализуется преимущественно посредством иронической инверсии и гротескной деформации — приёмов, обеспечивающих косвенную критику советского идеологического дискурса. В прозе Якубова на первый план выдвигаются *нравственный выбор* (30,1%) и *культурная идентичность* (24,6%), реализуемые через этически маркированную лексику и национально-культурный символизм соответственно. Данное расхождение отражает различие социально-политических контекстов создания произведений: Булгаков работал в условиях прямой идеологической цензуры, вынуждавшей к эстетическому иносказанию, тогда как Якубов, творивший в относительно либерализованную постсталинскую эпоху, мог более открыто обращаться к вопросам национальной совести и исторической памяти.

Дискурсивные стратегии в построении образа интеллигенции

В «Мастере и Маргарите» образ интеллигенции формируется посредством разветвлённой системы металингвистической иронии и мифологической символики. Психолингвистический портрет Мастера выстраивается через *несобственно-прямую речь* и фрагментарный внутренний монолог, создающий эффект когнитивного диссонанса между внутренним голосом героя и окружающим идеологическим шумом. Рекуррентные метафоры света/тьмы, молчания/речи, огня/пепла функционируют как лейтмотивная символическая система, кодирующая духовное состояние интеллигента. В «Белой гвардии» коллективные речевые акты семьи Турбиных — высокий регистр, архаичная книжная лексика, философские вопросно-ответные конструкции — маркируют их как культурных «чужаков» в рамках складывающегося пролетарского дискурса, конструируя идентичность интеллигента через языковую инаковость.

Проза Якубова актуализирует иной механизм конструирования образа интеллигенции — *диалогическую совесть*. В «Диёнате» нравственные размышления протагониста передаются через разветвлённый внутренний монолог, насыщенный этической лексикой исламско-гуманистической традиции (*виждон* — 'совесть', *инсоф* — 'справедливость', *ор-номус* — 'честь'). Данное этически маркированное лексическое поле выступает первичным семиотическим признаком идентичности интеллигента в узбекской прозаической традиции. Историческая и национальная символика — отсылки к обсерватории Улугбека, суфийским поэтическим

ISSN 3030-3907

образам, тимуридской архитектурной метафорике — вписывает фигуру интеллигента в специфически центральноазиатский цивилизационный контекст, принципиально отличающий её от европейской модели, действующей в прозе Булгакова.

Сравнительный стилистический профиль

В Таблице 3 представлен структурированный сравнительный обзор основных стилистических параметров, дифференцирующих художественные подходы обоих авторов к репрезентации образа интеллигенции.

Таблица 3.

Сравнительные стилистические параметры построения образа интеллигенции.

Стилистический параметр	М.А. Булгаков	О. Якубов
Доминирующий троп	Метафора + ирония (сатирический модус)	Символ + внутренний монолог (лирико-философский модус)
Метод характеристики персонажа	Психологизированный речевой портрет через диалог и несобственно-прямую речь	Прямая нравственная рефлексия и исповедальный внутренний голос
Лексический регистр образа интеллигента	Абстрактно-философский; европейская интеллектуальная традиция	Национально-этический; исламско-гуманистическая традиция
Синтаксическая организация	Сложные многочленные предложения; инверсионные конструкции	Афористические краткие предложения; паратаксис народной речи
Интертекстуальное поле	Библейская традиция, античность, русский Серебряный век	Тимуридские летописи, суфийская поэзия, восточная дидактическая литература

ISSN 3030-3907

Стилистический параметр	М.А. Булгаков	О. Якубов
Идейная ось	Свобода личности vs. тоталитарная идеология	Нравственная совесть vs. социальный конформизм

Сравнительный профиль, представленный в Таблице 3, подтверждает, что при общей ориентации обоих авторов на психологизированную внутреннюю речь как основной инструмент характеристики интеллигента *семантическая нагруженность* данного приёма существенно различается. Персонажи Булгакова обретают индивидуальность через напряжение между высоким интеллектуальным регистром и гротескной речью идеологического «другого»; персонажи Якубова — через накопление этико-нравственной лексики, позиционирующей интеллигента как морального эталона внутри своей общности. Данное разграничение соответствует более широкому противопоставлению *критико-сатирической модели* (Булгаков) и *лирико-этической модели* (Якубов) репрезентации образа интеллигенции в прозе XX века.

Конвергентные лингвопоэтические черты в обеих традициях

Вместе с тем сравнительный анализ выявляет ряд конвергентных лингвопоэтических стратегий, функционирующих в обеих литературных традициях. И Булгаков, и Якубов: (i) отдают приоритет *психологизированной внутренней речи* как базовому методу характеристики интеллигента; (ii) используют *символические лейтмотивы* для кодирования духовного состояния героя; (iii) прибегают к *маркированному лексическому контрасту* — между интеллектуальным и неинтеллектуальным речевыми регистрами — в целях конструирования идентичности через языковую дифференциацию; (iv) помещают своих протагонистов на пересечение *индивидуальной совести и коллективного исторического давления*. Выявленные конвергенции позволяют говорить о существовании транскультурной поэтики образа интеллигенции, выходящей за рамки русско-узбекской литературной границы и указывающей на общий гуманистический ответ прозы XX века вызовам идеологической современности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Проведённое исследование показало, что образ интеллигенции в русской и узбекской прозе XX века представляет собой сложную лингвопоэтическую систему, отражающую духовные, социальные и культурные процессы эпохи. Сравнительный анализ произведений М.А. Булгакова и О. Якубова позволил выявить как общие, так и отличительные

ISSN 3030-3907

особенности художественной репрезентации интеллигенции. Установлено, что в творчестве Булгакова доминируют метафоричность, иронический дискурс, философская символика и сатирико-гротескная модель повествования, посредством которых раскрываются внутренние конфликты личности в условиях идеологического давления. В прозе Якубова центральное место занимают нравственно-этические концепты, национально-культурная символика и психологизированная внутренняя речь, формирующие образ интеллигента как носителя духовной совести и моральной ответственности. Полученные результаты подтверждают, что лингвопоэтические средства выступают ключевым механизмом художественного моделирования интеллигентского сознания в обеих литературных традициях.

В ходе исследования также было установлено, что несмотря на различие культурно-исторических контекстов, обе художественные системы демонстрируют общие принципы построения образа интеллигенции: приоритет внутреннего монолога, использование символических лейтмотивов, контраст интеллектуального и массового речевых регистров, а также акцент на проблемах духовной свободы и нравственного выбора. Выявленные конвергентные и дивергентные особенности позволяют рассматривать русскую и узбекскую прозу XX века как взаимосвязанные модели гуманистического художественного мышления. Научная значимость исследования заключается в расширении теоретических представлений о лингвопоэтике художественного текста и развитии сравнительного литературоведения. Практическая ценность работы определяется возможностью использования её результатов в исследованиях по лингвостилистике, интерпретации художественного текста, теории дискурса и межкультурной литературной коммуникации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Arnold, I. V. (2002). Stilistika sovremennogo russkogo yazyka. Moscow, Russia: Flinta.
2. Bakhtin, M. M. (1975). Voprosy literatury i estetiki. Moscow, Russia: Khudozhestvennaya literatura.
3. Bulgakov, M. A. (2018). Belaya gvardiya. Moscow, Russia: Eksmo.
4. Bulgakov, M. A. (2020). Master i Margarita. Moscow, Russia: AST.
5. Galperin, I. R. (1981). Tekst kak ob”ekt lingvisticheskogo issledovaniya. Moscow, Russia: Nauka.
6. Gadjieva, D. A. (2016). Sudba intelligentsii glazami pisatelya-evraziytsa M.A. Bulgakova. Vestnik sovremennoy nauki, 4(16), 112–118.

ISSN 3030-3907

7. Karaulov, Yu. N. (1987). Russkiy yazyk i yazykovaya lichnost'. Moscow, Russia: Nauka.
8. Lotman, Yu. M. (1970). Struktura khudozhestvennogo teksta. Moscow, Russia: Iskusstvo.
9. Maslova, V. A. (2003). Lingvopoetika. Moscow, Russia: Akademiya.
10. Silverman, H. (2019). Intellectual identity and narrative discourse in twentieth-century Russian prose. Journal of Literary Studies, 35(2), 144–159. https://doi.org/10.1080/02564718.2019.1589214
11. Vinogradov, V. V. (1959). O yazyke khudozhestvennoy literatury. Moscow, Russia: Goslitizdat.
12. Yakubov, O. (1977). Diyonat. Tashkent, Uzbekistan: O'zbekiston.
13. Yakubov, O. (1981). Ulug'bek xazinasi. Tashkent, Uzbekistan: G'afur G'ulom nomidagi nashriyot.
14. Zadornova, V. Ya. (2009). Lingvopoetika: slovo v khudozhestvennom tekste. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 9: Filologiya, 3, 45–53.
15. Zokirov, M. (2021). Comparative poetics and the image of intelligentsia in Uzbek and Russian literature. Philology Matters, 2021(4), 77–86. https://doi.org/10.36078/9876543210

ISSN 3030-3907

УДК 621.313.333

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕРМОБРАБОТКИ И РАСПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

Пулатов Аброр Абидович
Ташкентский государственный технический университет
Шамиев Мурат Фикратович
Ташкентский государственный технический университет
Мўминов Хумоюн Асрорбек ўғли
Ташкентский государственный технический университет
Махмудов Ниёз Зокиржон ўғли
Ташкентский государственный технический университет
E-mail: mahmudovn95@gmail.com

Аннотация: Мақолада технологик жараёнларда бажариладиган амаллар вақтида деталларнинг контактда бўладиган юзалари мустаҳкамлигини оширишга хизмат қилувчи тоблаш қурилмаларини яратиш усулларидан бири кўриб чиқилган Уларнинг асосини индукцион қиздириш усулини қўллаш иқтисодий самарадор эканлигига эътибор қаратилган. Тоблаш қурилмасининг ҳар бир қисмларининг ишлаш асослари ва имкониятлари таҳлил қилинган.

Калит сўзлар: ускуна, индукцион иситиш, ҳарорат, бошқариладиган тўғрилагич, инвертор.

Аннотация. Рассмотрен один из вариантов разработки закалочной установки для закалки контактируемые поверхности деталей. Основы этой установки выбран способ индукционного нагрева и ее энергетическая эффективности по сравнению другими методами определена. Анализированы функционирования силовых и вспомогательных элементов установки.

Ключевые слова: установка, индукционный нагрев, температура, управляемый выпрямитель, инвертор.

Annotation. One of the variants of the development of the quenching plant for quenching the contact surfaces of the parts is considered. The method of induction heating and its energy efficiency in comparison with other methods are determined. The functioning of the power and auxiliary elements of the plant is analyzed.

Keywords: installation, induction heating, temperature, controlled rectifier, inverter.

ВВЕДЕНИЕ.

Возрастающая потребность в высокочастотных индукционных нагревательных установках определяется их эффективностью во многих технологических операциях в тяжелом машиностроении, энергетике, металлургии и на транспорте. К таким операциям относятся: сборка и разборка узлов машин, сопрягаемых посредством горячей посадки; термообработка стальных изделий перед штамповкой и восстановительной наплавкой; прямоточный нагрев жидкостей, а также полимеризация антикоррозийных покрытий металлических поверхностей.

Малые габариты, небольшое число витков высокочастотного индуктора, возможность придания ему любой конфигурации и создания секционированных легкоразъемных конструкций позволяют проводить нагрев деталей в труднодоступных местах. По мере расширения областей применения индукционного нагрева повышаются требования к мощности, уровню автоматизации, компактности и экономичности установок, что ставит перед разработчиками новые технические задачи.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Методология настоящей работы базируется на комплексном подходе, сочетающем методы структурно-схемотехнического синтеза силовой электроники, методы автоматического управления и натурный физический эксперимент с непрерывной регистрацией электротепловых параметров процесса.

Целью работы является создание экспериментальной высокочастотной индукционной установки для термообработки деталей и полуфабрикатов, а также для плавки цветных металлов в малых объемах. На рис. 1 представлена электрическая схема экспериментальной высокочастотной индукционной установки. Силовая схема высокочастотного преобразователя состоит из высоковольтного управляемого выпрямителя УВ и высокочастотного инвертора И.

Описание электрической схемы

ISSN 3030-3907

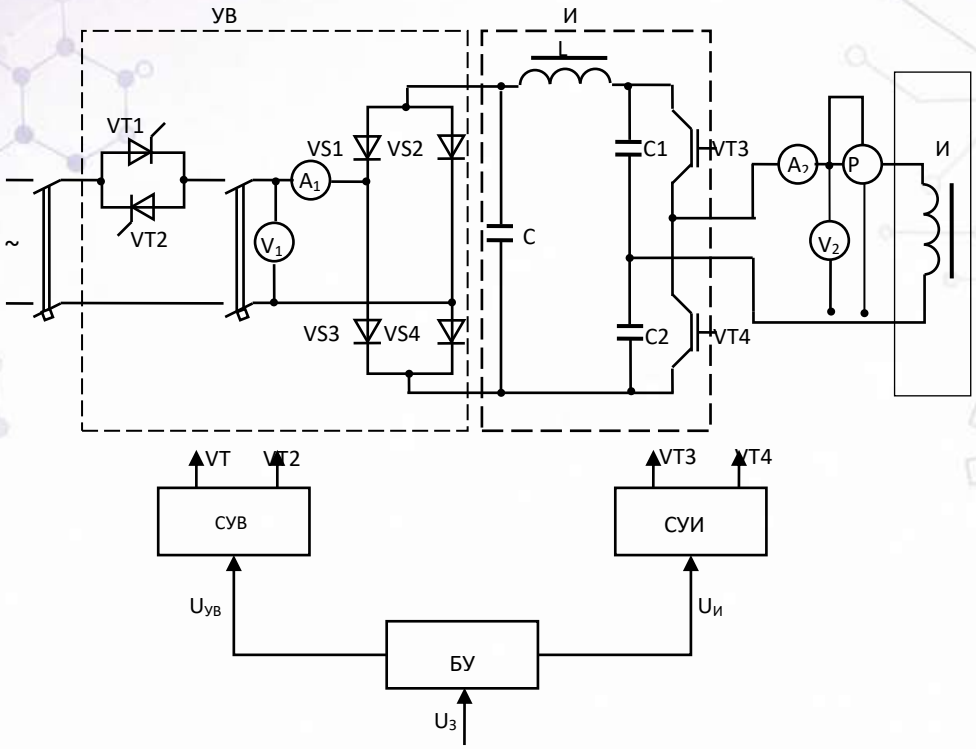


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема экспериментальной высокочастотной индукционной установки

На рис. 1 представлена принципиальная электрическая схема экспериментальной установки. Силовая часть высокочастотного преобразователя состоит из управляемого выпрямителя (УВ) и высокочастотного инвертора (Инв).

Управляемый выпрямитель включает в себя однофазный тиристорный регулятор напряжения (например, типа РОТ-35), выполненный на тиристорах VS1 и VS2, управление которыми осуществляется системой управления выпрямителя (СУВ). Регулируемое переменное напряжение с выхода регулятора подается на диодный мост (VD1...VD4). Конденсатор С выполняет роль емкостного фильтра на выходе выпрямителя. Силовая схема высокочастотного инвертора выполнена на тиристорах (или транзисторах) VT1 и VT2, а регулирование частоты обеспечивается системой управления инвертора (СУИ).

Общее управление преобразователем частоты осуществляется блоком управления (БУ). При подаче на его вход задающего сигнала $U_З$, на выходах БУ формируются сигналы управления напряжением $U_{ув}$ (для СУВ) и частотой $U_и$ (для СУИ).

Для контроля параметров на входе силовой схемы УВ установлены амперметр А1 и вольтметр V1. Контроль электрических режимов самого индуктора (L) осуществляется с помощью амперметра А2, вольтметра V2 и ваттметра Р.

ISSN 3030-3907

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

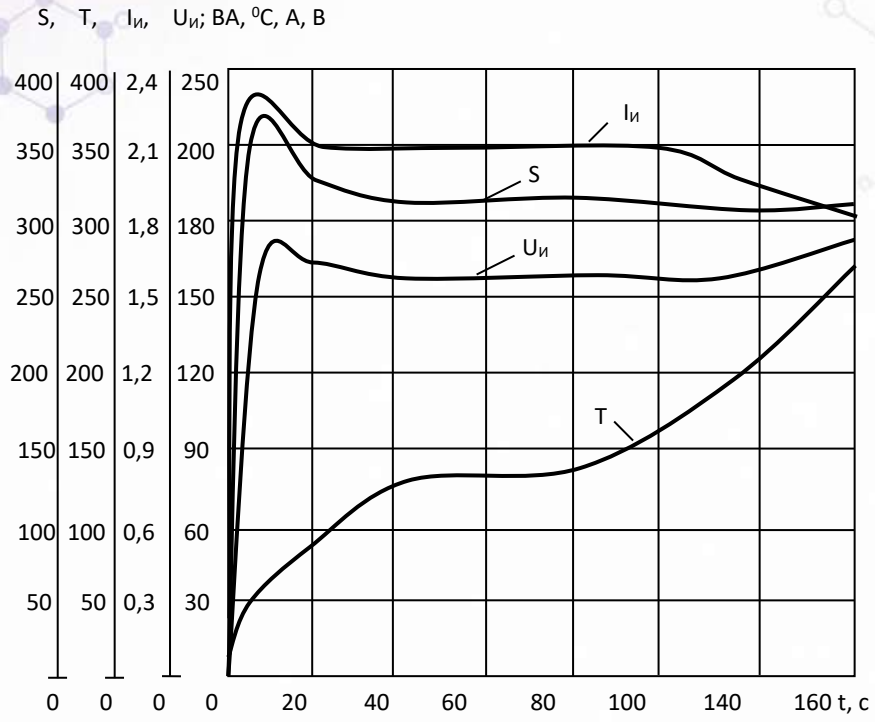


Рис. 2. Изменение основных электрических и тепловых параметров расплавляемого олово

На рис. 2 приведены временные зависимости полной мощности S, тока $I_и$ и напряжения $U_и$ индуктора, а также температуры расплавляемого олова Т.

В начальный период нагрева, когда металл находится при температуре окружающей среды, установка потребляет максимальную мощность. На 5-й секунде после включения полная мощность достигает пикового значения S = 368 ВА, а ток индуктора — $I_и$ = 2,3 А. В течение всего процесса плавления напряжение на индукторе искусственно не регулируется и остается неизменным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Разработанная экспериментальная установка на базе индукционного нагрева обеспечивает гибкое регулирование температуры в широких пределах, что расширяет ее функциональные возможности и позволяет использовать ее для закалки и термообработки деталей из различных материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хашимов А.А., Имамназаров А.Т., Пулатов А.А. Тепловые режимы работы индукционных тигельных печей. – Т.: Fan va texnologiya, 2013. – 116 стр.

ISSN 3030-3907

2. Кручинин А.М. и др. Автоматическое управление электротермическими установками. – М.: Энергоатомиздат, 1990. 416 стр.
3. Блинов А.С.и др. Энергосберегающие электротехнологии. С-П.Ж; 2000. 210 стр.

ISSN 3030-3907

УДК 678.58.046.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕРОСОДЕРЖАЩЕЙ ОЛИГОМЕРИ

Абдурашидова Т.Э.
Термезский государственный университет
Болтаева Д.Б.
Термезский государственный университет
Ҳайиталиева Х.А.
Термезский государственный университет
Нормуродов Б.А.
Термезский государственный университет
E-mail:normurodovbakhtiyor@gmail.com.
Нуркулов Ф.Н.
ООО Ташкентский научно-исследовательский ИНСТИТУТ химической технологии.
E-mail: nfayzulla@mail.ru
Пардаева Н.Ж.
Учитель химии в школе № 9 города Термез

Аннотация. Получение серосодержащей эпоксидной смолы изучено путем анализа ее композиций на основе полиэтиленовых наполнителей и структуры и состава серосодержащей эпоксидной смолы. По результатам представленных исследований показано, что полученные композиции представляют собой герметичные материалы с высокими физико-механическими свойствами, применяемые в строительстве.

Ключевые слова: серо и азотсодержащий олигомер, наполнитель, композиция, оптическая микроскопия, , эпоксидная смола.

Abstract. The production of sulfur-containing epoxy resin was studied by analyzing its compositions based on polyethylene fillers and the structure and composition of sulfur-containing epoxy resin. The results of the presented studies demonstrate that the resulting compositions are hermetic materials with high physical and mechanical properties used in construction.

Keywords: sulfur- and nitrogen-containing oligomer, filler, composition, optical microscopy, epoxy resin.

Annotatsiya. Oltingugurt tutgan epoksi qatronini ishlab chiqarish polietilen plomba moddalariga asoslangan tarkibini va oltingugurt tutgan epoksi qatronining tuzilishi va tarkibini tahlil qilish orqali o‘rganildi. Taqdim etilgan tadqiqotlar natijalari shuni ko‘rsatadiki, natijada hosil bo‘lgan kompozitsiyalar qurilishda ishlatiladigan yuqori fizik va mexanik xususiyatlarga ega germetik materiallardir.

ISSN 3030-3907

Kalit so‘zlar: oltingugurt va azot tutgan oligomer, plomba moddasi, tarkibi, optik mikroskopiya, epoksi qatron.

ВВЕДЕНИЕ.

В мире для создания герметизирующих и защитных покрытий несомненный интерес представляют полисульфидные олигомеры. Потребление отверждающихся герметиков в строительстве на сегодняшней день достигает более половины от общего объема их производства. Доля потребления герметиков на основе полисульфидных олигомеров в строительном секторе в мире 70 %. Это обусловлено инвариантностью способов их отверждения, приемлемыми физико-механическими свойствами и агрессивостойкостью, широким интервалом температур эксплуатации вулканизатов.

На сегодняшний день во всем мире, уделяется внимание исследовательским работам, направленным на повышение качества и эффективности использования фосфор- и серосодержащих олигомеров и полимерных материалов. В этом аспекте определенный научный и практический интерес представляют реакционноспособные олигомеры, содержащие функциональные группы фосфора и серы. При этом фосфор и серосодержащие олигомеры могут быть эффективно использованы с целью получения высокоэффективных герметиков.[1.2]

Среди многочисленных способов модифицирования структуры и свойств полиолефинов , химическая модификация занимает особое место. Как путь создания полиолефинов, с улучшенным комплексом специфических свойств, этот способ получил в настоящее время широкое развитие. Достижения в данной области отражены в многочисленных патентах и публикациях, в том числе в ряде обстоятельных обзоров и монографиях. Анализ этих данных показывает, что успехи данного направления исследований во многом связаны с физико-химическим подходом к оценке и обобщению реализуемых результатов с точки зрения полимерной природы реагирующих частиц, т.е. в таких условиях, когда учитывается исходное состояние макромолекулярных структур, характер межмолекулярного взаимодействия и разного рода конформационные и надмолекулярные эффекты.

Данная работа посвящена разработке новых эффективных местных ресурсов и экологически безопасных серосодержащих эпоксидных связующих и композитов холодного отверждения, с улучшенными эксплуатационными свойствами на основе азот и серосодержащего эпоксидного олигомера (ЭТЭп), предназначенных для реставрации, ремонта и защиты от коррозии металлических, бетонных, железобетонных и прочих

ISSN 3030-3907

строительных конструкций, а также для изготовления наполненных строительных композитов.

Исследованные композиции в работе служили для получения компаундированных полиолефинов (ПО) на основе полиэтилена высокого давления (ПЭВД) марки F-0220S Шуртанского газо-химического завода и наполнитель гидроксид кальция. В качестве модификаторов в работе использовали серосодержащую эпоксидную смолу на основе эпихлоргидрина (ЭХГ) и тиомочевины. Модификацию образцов проводили в растворе и в расплаве. Изменения тонкой химической структуры, модифицированных ПО, изучали методом ИК-спектроскопии, оптической микроскопии и с помощью электрического микроскопа с элементным анализом.

Нами синтезированы новые серосодержащие эпоксидные олигомеры, при этом были изучены оптимальные режимы получения олигомеров, такие как температура, вязкость и соотношение исходных компонентов, изучены их ИК-спектры. Приведены, для сравнения, некоторые данные из полученных результатов. В таблице 1 показаны результаты измерения вязкости для разбавленных растворов серосодержащих олигомеров. Для определения вязкости растворов олигомеров был использован капиллярный вискозиметр Уббелоде и метод, основанный на измерении времени истечения чистого растворителя и растворов различной концентрации (начинали с концентрации 1%-ного раствора со следующим разбавлением раствора до концентрации 1; 0,5; 0,25), при постоянной температуре 22°С. По показаниям таблицы 1 была построена диаграмма (рисунок 1) и по диаграмме была определена характеристическая вязкость олигомеров.

Таблица 1

Измерение вязкости разбавленных растворов серосодержащих олигомеров.

№	Название олигомера.	Концентрация раствора, %	$\eta_{отн}$	$\eta_{уд}$	$\eta_{пр}$	$\eta_{лог}$	$\eta_{хв}$
1	Серосодержащая эпоксидная смола	1	1,10	0,1	0,1	0,095	0,07
		0,5	1,04	0,04	0,08	0,73	
		0,25	1,01	0,01	0,05	1,3	

ISSN 3030-3907

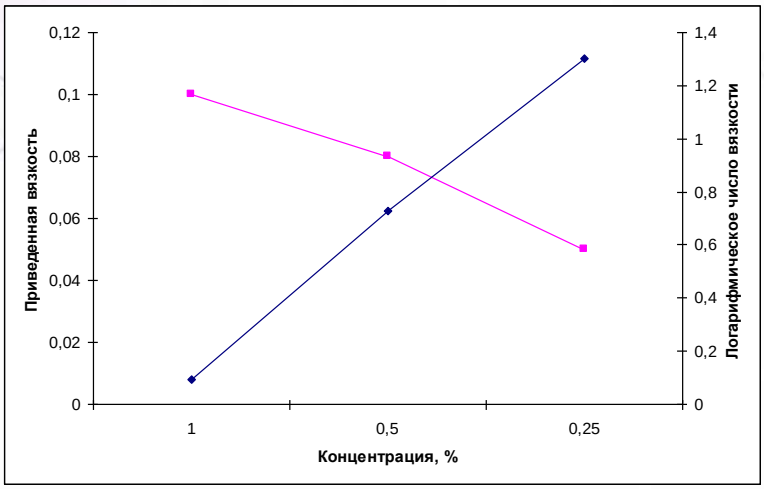


Рисунок 1. Зависимость $\eta_{уд}/C$ или $\ln \eta_{отн}/C$ от концентрации серосодержащей эпоксидной смолы.

Как видно из таблицы 2 при оптимальных условиях (T= 90°C, τ=3ч) высокий выход олигомерного соединения получается при соотношении эпихлоргидрин: тиомочевина 1:1. При этом выход составляет 78%. Полученное олигомерное соединение - вязкое вещество марки ЭТЭп

Таблица 2

Физико-химические характеристики олигомера марки ЭТЭп

1	Внешний вид	Коричневого цвета.
2	pH	7
3	Плотность (25°C), г/см^3	1,2
4	Массовая доля летучих веществ, %, не более	1,4
5	Массовая доля иона хлора, %, не более	0,11
6	Массовая доля общего хлора, %, не более	5
7	Растворимость	Растворяется в органических веществах

На ИК-спектре видно, что полосы серосодержащего олигомера соответствуют полосам поглощения, соответствующие валентными колебаниями связей в областях 2850 см$^{-1}$, имеются полосы поглощения, подтверждающие наличие -CH_2- груп, и полосы поглощения в области 1340см$^{-1}$, соответствующие углерод и водород содержащим группам.

ИК спектр содержит полосы поглощения в области 1650см$^{-1}$, подтверждающие наличие в свободном состоянии –$CONH_2$ групп и полосы поглощения в области 3300-3440см$^{-1}$, соответствующие вторичным –CONHR группам. ИК спектр содержит полосы поглощения в области 3000-3050см$^{-1}$, соответствующие эпоксидному кольцу и полосы поглощения в области 750-950 см$^{-1}$, асимметричные валентным колебаниям кольца.

ISSN 3030-3907

Полосы поглощения в областях 800-600см$^{-1}$, подтверждающие наличие углерод и серосодержащие (-C-S) группы и полосы поглощения в области 450-550см$^{-1}$, соответствующие -S-S- группам (рисунок 2).

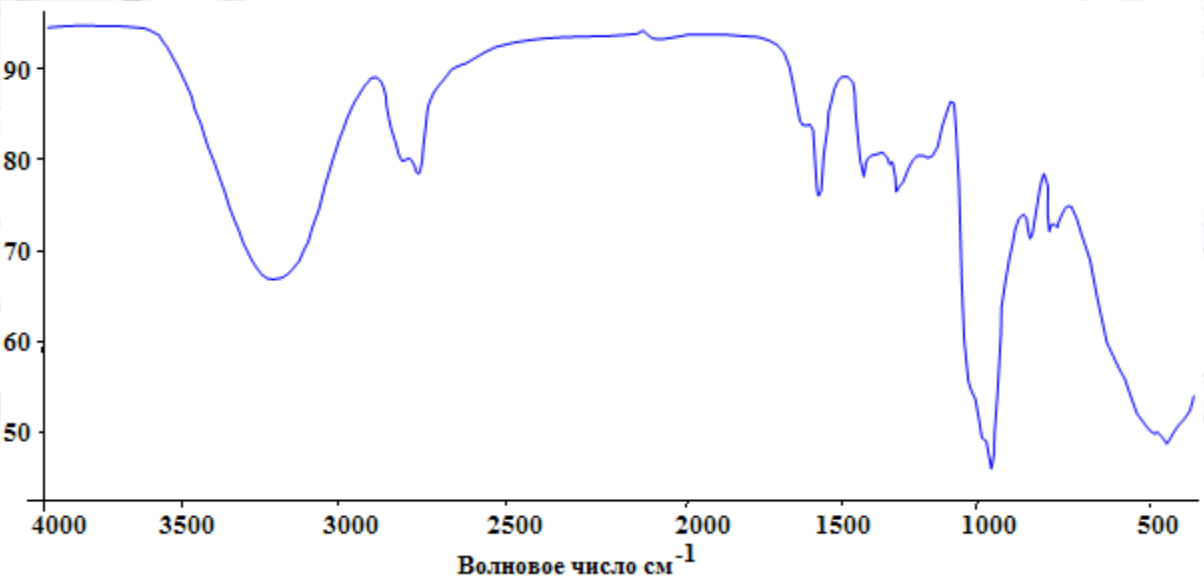


Рисунок 2. ИК-спектр серосодержащего эпоксидного олигомера марки ЭТЭп

Изучены процессы получения эпоксидного олигомера, протекающего при взаимодействии эпихлоргидрина (ЭХГ) с тиомочевинной. Для получения композиционного материала использовался наполнитель кальций гидроксид, а в качестве связующего использовали серо- и азотсодержащую эпоксидную смолу марки ЭТЭп и полиэтилен высокого давления марки F-0220S (ПЭВД). Количество наполнителя в полимерной матрице составляло 40 масс. ч., данное количество является оптимальным для композиций на основе наполнителя гидроксида кальция с ЭТЭп и полиэтиленом, что доказано в данных работах. Влияние наполнителя оценивали по изменению физико-механических характеристик.

Изучение используемых наполнителей методом оптической микроскопии показало что, для частиц наполнителя характерна некоторая агломерация частиц, что свидетельствует о высокой активности их поверхности (рисунок 3).

ISSN 3030-3907



Рисунок 3. Оптическая микроскопия композиции ЭТЭп

Результаты оптической микроскопии показывают, что композиции, обладают наилучшей смешиваемость с полимерами. Исследования полиэтиленовой композиции, полученной с добавлением азот и серосодержащими эпоксидными смолами, показали, что данные композиции имеют наилучшие результаты по сравнению с другими композициями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Таким образом, характеристические свойства эпоксидные смола , серо-, фосфор- и азотсодержащего олигомера были олигомер может быть использован в качестве герметика строительных полимерных материалов. Исследовано физико-химические свойства: определены методом ИК-спектроскопии, СЭМ и ДСК, в результате лабораторных испытаний было доказано, что плотность, температура плавления, растворимость, ИК-спектроскопия и ДСК в серо-, азот- и фосфорсодержащих олигомерах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nurkulov F.N., Djalilov A.T. Study of swelling synthesized polysulfide rubber // XVI International Scientific Conference «High-Tech in Chemical En-gineering – 2016» with elements of school of young scientists -P. 229.
2. Нуркулов Ф.Н., Джалилов А.Т. Бекназаров Х.С. Изучение набухаемости в кислотно-щелочной среде модифицированной эпоксидной смолы с тиоколом // «Современные проблемы науки о полимерах». 8-ая Санкт-Петербургская конференция молодых ученых. -Санкт-Петербург, ИВС РАН, 12-15 ноября 2012г. -С. 94
3. Нормуродов Б.А., Джалилов А.Т., Нуркулов Ф.Н., Тожиев П.Ж., Исследование улучшения физико-механических свойств герметичных олигомеров на основе полисульфидов с использованием различных

ISSN 3030-3907

наполнителей. International Scientific Journal Theoretical & Applied Science. SOI: 1.1/TAS DOI: 10.15863/TAS p-ISSN: 2308-4944 (print) (online) Year: 2021 Issue: 10 Volume: №102 Published: 28.10.2021 http://T-Science.org. p. 728-733

4. Хашхожева Р.Р. Разработка новых огнестойких композиционных материалов на основе полибутилентерефталата/ Хашхожева Р.Р., Черкесова Р.А., Хаширова С.Ю., Микитаев А.К.//Материалы международной научно-практической конференции «Химия: состояние, перспективы развития».- Грозный, 2014.- С-80.

5. Чеботарева, Е.Г. Экологически безопасное наноструктурированное эпо к-сидное связующее / Е.Г. Чеботарева , Л.Ю. Огрель // Всеросси йская научная

6. конференция студентов и аспирантов, Вологда, 16 –18 апреля 2009 г. / Воло-год. гос. техн. ун -т. –Вологда, 2009. –С. 316-318.

7. Ушков В.А. Горючесть фосфорсодержащих пенофенопластов / В.А Ушков, М.Г. Бруяко, Е.В. Сокорева, В.М. Лалаян // Пожаровзрывобезопасность. -2012. - Том 21. - №11. - С. 35-39.

8. Чеботарева, Е.Г. Современные тенденции модификации эпоксидных пол и-меров / Е.Г. Чеботарева , Л.Ю. Огрель / Фундамен тальные исследования. – М.: Академия естествознания, 2008. –№ 4 –С. 102–104 / ISSN1812-7339

MAKTABGACHA TA’LIMDA STEAM TEXNOLOGIYASI ASOSIDA KREATIV FIKRLASHNI RIVOJLANTIRISH

Mirzabekova Aygul Nishanbayevna
Xalqaro Nordik Universiteti Pedagogika mutaxassisligi I-kurs magistri

Annotatsiya. Mazkur maqolada maktabgacha ta’lim tizimida STEAM texnologiyasining mazmun-mohiyati hamda uning bolalarda kreativ fikrlashni rivojlantirishdagi pedagogik imkoniyatlari tahlil qilingan. Tadqiqot davomida STEAM yondashuvi asosida tashkil etilgan integratsiyalashgan mashg‘ulotlarning bolalarning ijodiy tafakkuri, muammoli vaziyatlarga yechim topish qobiliyati va mustaqil fikrlash ko‘nikmalariga ta’siri o‘rganildi. Shuningdek, maqolada kreativ fikrlashni rivojlantirishning diagnostik, loyihalash, amaliy va monitoring bosqichlari yoritilib, innovatsion pedagogik texnologiyalarning samaradorligi asoslab berilgan.

Kalit so‘zlar: STEAM texnologiyasi, kreativ fikrlash, maktabgacha ta’lim, innovatsion pedagogika, integratsiyalashgan ta’lim, ijodkorlik, interfaol metod, loyiha faoliyati.

Аннотация. В данной статье анализируется сущность технологии STEAM в системе дошкольного образования и ее педагогические возможности в развитии креативного мышления у детей. В ходе исследования было изучено влияние интегрированных занятий, организованных на основе подхода STEAM, на творческое мышление детей, их способность находить решения проблемных ситуаций и навыки самостоятельного мышления. Также в статье освещены диагностические, проектные, практические и мониторинговые этапы развития креативного мышления, обоснована эффективность инновационных педагогических технологий.

Ключевые слова: технология STEAM, креативное мышление, дошкольное образование, инновационная педагогика, интегрированное образование, творчество, интерактивный метод, проектная деятельность.

Abstract. This article analyzes the essence of STEAM technology in the preschool education system and its pedagogical opportunities in developing creative thinking in children. During the study, the impact of integrated classes organized based on the STEAM approach on children's creative thinking, their ability to find solutions to problematic situations, and independent thinking skills was studied. The article also highlights the diagnostic, project-based, practical, and monitoring stages of developing creative thinking, and substantiates the effectiveness of innovative pedagogical technologies.

Keywords: STEAM technology, creative thinking, preschool education, innovative pedagogy, integrated education, creativity, interactive method, project-based activity.

KIRISH.

Bugungi globallashuv va raqamli texnologiyalar rivojlanayotgan davrda ta’lim tizimiga innovatsion yondashuvlarni joriy etish dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, maktabgacha ta’lim bosqichida bolalarning kreativ fikrlashini rivojlantirish zamonaviy pedagogikaning ustuvor yo‘nalishlaridan biridir. Chunki kreativ fikrlash bolaning mustaqil qaror qabul qilishi, muammoli vaziyatlarga noodatiy yechim topishi hamda ijodiy tafakkurini shakllantirishda muhim omil bo‘lib xizmat qiladi.

So‘nggi yillarda xalqaro ta’lim tizimida keng qo‘llanilayotgan STEAM texnologiyasi bolalarning fan, texnologiya, muhandislik, san’at va matematika yo‘nalishlari bo‘yicha integratsiyalashgan bilim olishiga xizmat qilmoqda. Ushbu yondashuv bolalarda nafaqat nazariy bilimlarni, balki amaliy ko‘nikmalar, kreativ tafakkur va tadqiqotchilik faoliyatini ham rivojlantiradi.

Maktabgacha yosh davri bolaning intellektual va ijodiy rivojlanishida muhim bosqich hisoblanadi. Shu sababli STEAM texnologiyasi asosida kreativ fikrlashni rivojlantirishning samarali metodlarini ishlab chiqish pedagogik jihatdan muhim ahamiyat kasb etadi.

Mazkur tadqiqotda maktabgacha ta’limda STEAM texnologiyasi asosida bolalarning kreativ fikrlashini rivojlantirishning pedagogik imkoniyatlarini o‘rganish maqsadida bir qator ilmiy metodlardan foydalanildi.

Tadqiqot jarayonida avvalo *pedagogik kuzatuv* metodi qo‘llanildi. Ushbu metod orqali tarbiyalanuvchilarning mashg‘ulotlardagi faolligi, mustaqil fikrlashi, ijodiy yondashuvi hamda muammoli vaziyatlarga munosabati kuzatildi. Kuzatuv davomida bolalarning STEAM mashg‘ulotlariga qiziqishi va ijodiy faoliyatdagi ishtiroki tahlil qilindi.

Suhbat va so‘rovnoma metodlari yordamida tarbiyachilar hamda ota-onalarning STEAM texnologiyasi va kreativ fikrlashni rivojlantirishga oid fikrlari o‘rganildi. Shuningdek, bolalarning mashg‘ulotlarga munosabati va qiziqish darajasi aniqlashtirildi.

Qiyosiy tahlil metodidan foydalanish orqali an’anaviy mashg‘ulotlar bilan STEAM texnologiyasi asosida tashkil etilgan mashg‘ulotlarning samaradorligi o‘zaro taqqoslandi. Tahlillar natijasida STEAM yondashuvi bolalarning kreativ tafakkuri va mustaqil fikrlashini rivojlantirishda samaraliroq ekanligi aniqlandi.

Tadqiqotning asosiy qismi tajriba-sinov ishlari orqali amalga oshirildi. Tajriba guruhlarida STEAM texnologiyasi asosida integratsiyalashgan mashg‘ulotlar tashkil etildi. Mashg‘ulotlarda konstruktorlik, modellashtirish, tajriba ishlari, loyiha faoliyati va didaktik o‘yinlardan foydalanildi. Nazorat guruhlarida esa an’anaviy ta’lim usullari qo‘llanildi. Olingan natijalarni umumlashtirish va samaradorlik darajasini aniqlash maqsadida statistik tahlil

ISSN 3030-3907

metodidan foydalanildi. Statistik ko‘rsatkichlar orqali tajriba va nazorat guruhlari natijalari qiyoslandi hamda o‘zgarishlar foiz hisobida tahlil qilindi.

Tadqiqotning metodologik asosini kompetensiyaviy yondashuv, integratsiyalashgan ta’lim texnologiyalari hamda shaxsga yo‘naltirilgan pedagogik yondashuv tashkil etdi. Ushbu yondashuvlar bolalarning individual qobiliyatlarini rivojlantirish, mustaqil fikrlashini shakllantirish va kreativ faoliyatini qo‘llab-quvvatlashga xizmat qildi.

STEAM texnologiyasi zamonaviy ta’limning innovatsion yondashuvlaridan biri bo‘lib, fan (Science), texnologiya (Technology), muhandislik (Engineering), san’at (Art) va matematika (Mathematics) yo‘nalishlarini o‘zaro integratsiyalashgan holda o‘qitishga asoslanadi. Ushbu texnologiya ta’lim jarayonida nazariy bilimlarni amaliy faoliyat bilan bog‘lashga xizmat qiladi hamda bolalarda mustaqil fikrlash, kreativ yondashuv va muammolarni hal qilish ko‘nikmalarini rivojlantiradi.

STEAM yondashuvi orqali bolalar atrof-muhitni kuzatish, tajriba o‘tkazish, tahlil qilish va yangi g‘oyalarni yaratishga o‘rganadilar. Bunday faoliyat jarayonida ular nafaqat bilim oladi, balki amaliy ko‘nikmalarni ham egallaydi. Ayniqsa, maktabgacha yoshdagi bolalarda qiziqish va ijodkorlikni rivojlantirishda STEAM texnologiyasi muhim pedagogik ahamiyatga ega.

Maktabgacha ta’limda STEAM texnologiyasidan foydalanish bolalarni faol va mustaqil ta’lim jarayoniga jalb etadi. Konstruktorlik ishlari, modellashtirish, tajriba mashg‘ulotlari va loyiha faoliyatlari orqali bolalarning tasavvuri, kreativ tafakkuri va ijodiy qobiliyatlari rivojlanadi. Shu bilan birga, bolalarda jamoada ishlash, muloqot qilish va muammoli vaziyatlarga yechim topish ko‘nikmalari shakllanadi.

STEAM texnologiyasi asosida tashkil etilgan mashg‘ulotlar bolalarning ta’limga bo‘lgan qiziqishini oshiradi hamda ularning intellektual va ijodiy rivojlanishiga ijobiy ta’sir ko‘rsatadi.

Maktabgacha ta’limda STEAM texnologiyasi asosida kreativ fikrlashni rivojlantirish jarayoni izchil va tizimli bosqichlarda amalga oshirildi. Tadqiqot davomida diagnostik, loyihalash, amaliy hamda monitoring-baholash bosqichlari asosida pedagogik faoliyat tashkil etildi. Ushbu bosqichlar bolalarning kreativ tafakkurini aniqlash, rivojlantirish va natijalarni tahlil qilish imkonini berdi.

Tadqiqotning dastlabki bosqichida bolalarning kreativ fikrlash darajasi aniqlanib, ularning ijodiy faoliyati kuzatildi. Diagnostika jarayonida bolalarning mustaqil fikrlashi, noodatiy g‘oyalarni ilgari surishi, muammoli vaziyatlarga yechim topishi, tasavvur va fantaziya darajasi hamda ijodiy faolligiga alohida e’tibor qaratildi.

ISSN 3030-3907

Pedagogik kuzatuvlar natijasida maktabgacha yoshdagi bolalarda kreativ fikrlash elementlari mavjudligi aniqlandi. Biroq ayrim bolalarda mustaqil qaror qabul qilish, yangi g‘oyalarni yaratish va muammoli vaziyatlarda erkin fikrlash ko‘nikmalari yetarli darajada shakllanmaganligi kuzatildi. Shu sababli kreativ fikrlashni rivojlantirish uchun innovatsion va integratsiyalashgan pedagogik yondashuv zarurligi belgilandi.

Ushbu bosqichda STEAM texnologiyasi asosida kreativ fikrlashni rivojlantirishga qaratilgan mashg‘ulotlar tizimi ishlab chiqildi. Mashg‘ulotlarni loyihalashda integratsiyalashgan ta’lim yondashuvi, interfaol metodlar, loyiha faoliyati, tajriba ishlari, konstruktorlik va modellashtirish faoliyatlaridan foydalanish rejalashtirildi.

Mashg‘ulotlar bolalarning yosh xususiyatlari, psixologik holati, qiziqishlari va individual imkoniyatlarini hisobga olgan holda tashkil etildi. Loyihalash jarayonida bolalarning ijodiy tafakkurini rivojlantirishga xizmat qiluvchi muammoli vaziyatlar, amaliy topshiriqlar va didaktik materiallar ishlab chiqildi.

Amaliy bosqichda ishlab chiqilgan STEAM mashg‘ulotlari ta’lim jarayoniga tatbiq etildi. Mashg‘ulotlar davomida bolalar tajribalar o‘tkazdilar, konstruktorlik ishlari bilan shug‘ullandilar, jamoaviy loyihalar yaratdilar hamda modellashtirish faoliyatlarini amalga oshirdilar. Shuningdek, bolalar turli muammoli vaziyatlarga mustaqil yechim topishga harakat qildilar.

Ta’lim jarayonida LEGO texnologiyalari, raqamli vositalar, didaktik o‘yinlar va san’at elementlaridan foydalanildi. Bunday faoliyatlar bolalarning kreativ tafakkuri, tasavvuri va ijodiy yondashuvini rivojlantirishga xizmat qildi.

Amaliy mashg‘ulotlar natijasida bolalarda mustaqil fikrlash, ijodiy faoliyatga qiziqish, muloqot ko‘nikmalari, tadqiqotchilik qobiliyati hamda jamoada ishlash kompetensiyalari rivojlandi. Shu bilan birga, bolalarning ta’lim jarayonidagi faolligi va yangi bilimlarni o‘zlashtirishga bo‘lgan qiziqishi sezilarli darajada oshdi.

Tadqiqotning yakuniy bosqichida STEAM texnologiyasi asosida tashkil etilgan mashg‘ulotlarning samaradorligi monitoring qilindi va natijalar tahlil etildi. Monitoring pedagogik kuzatuv, ijodiy topshiriqlar, loyiha ishlari, suhbat va savol-javoblar hamda diagnostik testlar asosida amalga oshirildi.

Baholash natijalari STEAM texnologiyasi bolalarning kreativ fikrlashi va ijodiy faolligini samarali rivojlantirishini ko‘rsatdi. Ayniqsa, bolalarda muammoli vaziyatlarga ijodiy yondashish, mustaqil qaror qabul qilish va yangi g‘oyalarni ilgari surish ko‘nikmalari shakllangani aniqlandi.

Shuningdek, monitoring natijalari STEAM asosidagi mashg‘ulotlar bolalarning kommunikativ faolligi, jamoaviy ishlash malakasi hamda ta’limga

ISSN 3030-3907

bo‘lgan qiziqishini oshirishda ham muhim pedagogik ahamiyatga ega ekanligini tasdiqladi.

Tajriba-sinov ishlari natijasida maktabgacha yoshdagi bolalarda sezilarli ijobiy o‘zgarishlar kuzatildi. STEAM texnologiyasi asosida tashkil etilgan mashg‘ulotlar bolalarning kreativ fikrlash darajasini oshirib, ularning mustaqil fikrlashi va qaror qabul qilish ko‘nikmalarini rivojlantirdi.

Mashg‘ulotlar davomida bolalar muammoli vaziyatlarga ijodiy yondashishga, yangi g‘oyalarni ilgari surishga va amaliy yechim topishga o‘rgandilar. Natijada ularning tasavvuri, fantaziyasi va ijodiy faolligi sezilarli darajada kuchaydi.

Shuningdek, loyiha va jamoaviy faoliyatlar bolalarda hamkorlikda ishlash, o‘z fikrini erkin ifodalash va muloqot qilish ko‘nikmalarini rivojlantirdi. Tajriba davomida bolalarning kommunikativ faolligi oshib, tengdoshlari bilan samarali hamkorlik qilish malakalari shakllandi.

Tahlil natijalari STEAM texnologiyasi asosida tashkil etilgan mashg‘ulotlar bolalarning ta’limga bo‘lgan qiziqishini oshirish bilan birga, ularning psixologik va intellektual faolligini ham kuchaytirganligini ko‘rsatdi.

Maktabgacha ta’limda STEAM texnologiyasi asosida kreativ fikrlashni rivojlantirish zamonaviy pedagogikaning muhim yo‘nalishlaridan biridir. Tadqiqot natijalari STEAM yondashuvi bolalarning ijodkorligi, mustaqil fikrlashi va tadqiqotchilik faoliyatini rivojlantirishda samarali pedagogik vosita ekanligini ko‘rsatdi.

Ayniqsa, loyiha faoliyati, tajriba ishlari, konstruktorlik va interfaol metodlar bolalarning kreativ tafakkurini shakllantirishda yuqori samaradorlikka ega.

Kelgusida maktabgacha ta’lim tashkilotlarida STEAM laboratoriyalari va raqamli pedagogik muhitni rivojlantirish maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasi “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonuni. – Toshkent, 2020.
2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining ta’limga oid farmon va qarorlari.
3. Tolipov O‘., Usmonboyeva M. Pedagogik texnologiyalar. – Toshkent, 2017.
4. Ishmuhamedov R. Innovatsion pedagogik texnologiyalar. – Toshkent, 2019.
5. Yo‘ldoshev J. Zamonaviy pedagogik texnologiyalar. – Toshkent, 2020.
6. Yakman G. STEAM Education Framework. – USA, 2018.
7. Sousa D., Pilecki T. From STEM to STEAM. – New York, 2019.
8. Vygotskiy L.S. Tafakkur va ijodkorlik psixologiyasi. – Moskva, 2018.
9. Guilford J. Creativity Research and Educational Practice. – London, 2017.
10. Azizxo‘jayeva N. Pedagogik mahorat. – Toshkent, 2021.

ISSN 3030-3907

11. Б.Б. Абдраимова Закономерности и принципы диагностической деятельности будущего учителя биологии // INTER EDUCATION & GLOBAL STUDY Илмий – назарий ва методик журнал 2024 йил №8/1 502-507 бет
12. Б.Б. Абдраимова Бўлажак биология ўқитувчиси диагностик фаолиятининг табиий йўналишлари // Муғаллим ҳәм узликсиз билимлендириў
13. (илмий-методик журнал) 5/1 -2024 сентябрь 101-107 бет
14. Б.Б. Абдраимова Отношение родителей, учеников и общества к инклюзивному образованию// Journal of Multidisciplinary Innovation in Science and Education Volume 1, Issue 2, October, 2025 318-326 бет
15. Б.Б. Абдраимова Современное состояние повышение интереса обучающихся в биологии в условиях научно-исследовательских деятельности.// Хоразм маъмун академияси ахборотномаси (илмий-методик журнал) 2024 йил №223/4 217-220 бет
16. Б.Б. Абдраимова Личностно-ориентированный процесс обучения как объект педагогической диагностики //Вестник – науки Международный научный журнал. Тольятти 022, №9 Том (54/4) стр. 18-22

ISSN 3030-3907

SUN'IY INTELLEKT YORDAMIDA TEMIRBETON KONSTRUKSIYALARDA YORIQLARNI ANIQLASH VA MONITORING QILISH

Yulborsov Faxridin Xamidullayevich
Andijon davlat texnika instituti Qurilish muhandisligi va elektroenergetika fakulteti Qurilish muhandisligi va Arxitektura kafedrasi assistenti
Asronboyeva Mexriniso Mavlonbek qizi
Andijon davlat texnika instituti talabasi

Annotatsiya. Ushbu maqolada temirbeton konstruksiyalarning ekspluatatsiya davridagi xavfsizligi va mustahkamligini ta'minlashda zamonaviy sun'iy intellekt (SI) texnologiyalarini qo'llash masalalari tadqiq etilgan. An'anaviy vizual tekshirish usullarining subyektivligi va ko'p vaqt talab qilishi kabi kamchiliklarini bartaraf etish maqsadida, kompyuter ko'rishi (Computer Vision) va chuqur o'rganish (Deep Learning) algoritmlariga, xususan, konvolyutsion neyron tarmoqlariga (CNN) asoslangan yoriqlarni avtomatik aniqlash modeli taklif etilgan. Tadqiqot davomida uchuvchisiz uchish apparatlari (dronlar) va yuqori aniqlikdagi kameralar yordamida olingan tasvirlarga raqamli ishlov berilib, yoriqlarning geometrik parametrlari (kengligi, uzunligi va chuqurligi) yuqori aniqlikda baholandi. Ishlab chiqilgan yondashuv bino va inshootlarning texnik holatini real vaqt rejimida monitoring qilish va yuzaga kelishi mumkin bo'lgan nosozliklarning oldini olish imkonini beradi. Eksperimental natijalar taklif etilgan SI modelining yoriqlarni aniqlashda 95% dan yuqori aniqlik ko'rsatganini va monitoring jarayonini sezilarli darajada tezlashtirganini ko'rsatdi.

Kalit so'zlar: temirbeton konstruksiyalar, sun'iy intellekt, neyron tarmoqlari, kompyuter ko'rishi, yoriqlarni aniqlash, monitoring, CNN, raqamli tasvirlar.

Аннотация. В данной статье исследуются вопросы применения современных технологий искусственного интеллекта (ИИ) для обеспечения безопасности и долговечности железобетонных конструкций в период их эксплуатации. С целью устранения таких недостатков традиционных методов визуального контроля, как субъективность и высокая трудоемкость, предложена модель автоматического обнаружения трещин на основе компьютерного зрения (Computer Vision) и алгоритмов глубокого обучения (Deep Learning), в частности, сверточных нейронных сетей (CNN). В ходе исследования были обработаны цифровые изображения, полученные с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и камер высокого разрешения, что позволило с высокой точностью оценить геометрические параметры трещин (ширину, длину и глубину). Разработанный подход позволяет осуществлять мониторинг технического состояния зданий и сооружений в режиме реального времени и предотвращать потенциальные

ISSN 3030-3907

аварийные ситуации. Экспериментальные результаты показали, что предложенная модель ИИ демонстрирует точность обнаружения трещин выше 95% и значительно ускоряет процесс мониторинга.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, искусственный интеллект, нейронные сети, компьютерное зрение, обнаружение трещин, мониторинг, CNN, цифровые изображения.

Abstract. This paper investigates the application of modern artificial intelligence (AI) technologies to ensure the safety and structural integrity of reinforced concrete structures during their operation. To overcome the limitations of traditional visual inspection methods, such as subjectivity and time-consumption, an automated crack detection model based on computer vision and deep learning algorithms, specifically Convolutional Neural Networks (CNN), is proposed. In this study, digital images captured by unmanned aerial vehicles (UAVs) and high-resolution cameras were processed to accurately evaluate the geometric parameters of cracks, including width, length, and depth. The developed approach enables real-time structural health monitoring of buildings and infrastructure, preventing potential structural failures. Experimental results demonstrate that the proposed AI model achieves an accuracy of over 95% in crack detection and significantly accelerates the monitoring process.

Keywords: reinforced concrete structures, artificial intelligence, neural networks, computer vision, crack detection, structural health monitoring, CNN, digital images.

KIRISH.

Zamonaviy shaharsozlik va infratuzilmaning asosi hisoblangan temirbeton konstruksiyalar ekspluatatsiya jarayonida doimiy ravishda mexanik kuchlanishlar, atrof-muhitning agressiv ta’sirlari va tabiiy eskirish omillariga duchor bo‘ladi. Ushbu omillar ta’sirida konstruksiyalarda yuzaga keladigan yoriqlar bino va inshootlarning yuk ko‘tarish qobiliyati kamayganligidan dalolat beruvchi dastlabki va eng muhim signallardan biridir. O‘z vaqtida aniqlanmagan mikroyoriqlar namlik va agressiv kimyoviy moddalarning konstruksiya ichiga kirib borishiga, armaturaning korroziyaga uchrashiga va pirovardida, inshootning to‘satdan qulab tushishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli, temirbeton konstruksiyalarning texnik holatini muntazam ravishda monitoring qilib borish va yoriqlarni erta bosqichlarda aniqlash global miqyosdagi dolzarb muammolardan biri bo‘lib qolmoqda.

An’anaviy ravishda muhandislik inshootlarini tekshirish vizual usullar hamda ultratovush, skanerlash va sklerometrik o‘lchash kabi instrumental diagnostika vositalari yordamida amalga oshiriladi. Biroq, vizual tekshirish jarayoni inson omiliga (subyektivlikka) o‘ta bog‘liq bo‘lib, ko‘p vaqt va yuqori

ISSN 3030-3907

mehnat resurslarini talab etadi. Ayniqsa, baland binolar, ko‘priklar, tonnellar va gidrotexnikaviy inshootlarning borish qiyin bo‘lgan qismlarini an’anaviy usullarda monitoring qilish inson hayoti uchun xavfli hisoblanadi. Oxirgi yillarda ushbu kamchiliklarni bartaraf etish maqsadida raqamli tasvirlarga ishlov berish (Digital Image Processing) usullari joriy etila boshlandi, ammo ular ham tasvirdagi shovqinlar (soya, yorug‘likning noto‘g‘ri tushishi, g‘adir-budirliklar) fonida yoriqlarni ajratib olishda yetarli darajada aniqlik bera olmadi.

So‘nggi yillarda hisoblash texnikasining rivojlanishi va sun’iy intellekt (SI), xususan, kompyuter ko‘rishi (Computer Vision) hamda chuqur o‘rganish (Deep Learning) algoritmlarining muhandislik sohasiga kirib kelishi bu borada yangi imkoniyatlarni ochdi. Konvolyutsion neyron tarmoqlari (CNN) asosidagi modellar tasvirlardagi murakkab piksellar iyerarxiyasini tahlil qilish orqali yoriqlarni inson ko‘zidan ko‘ra tezroq va aniqroq differensiyalash imkonini bermoqda. Uchuvchisiz uchish apparatlari (dronlar) orqali olingan yuqori aniqlikdagi tasvirlarni SI yordamida avtomatik tahlil qilish inshootlar monitoringini to‘liq avtomatlashtirish, inson omilini kamaytirish va vaqt sarfini sezilarli darajada qisqartirish imkonini beradi.

ADABIYOTLAR TAHLILI.

Temirbeton konstruksiyalarning mustahkamligi, chidamliligi va ekspluatatsiya davridagi ishonchliligini ta’minlash masalalari ko‘plab mahalliy va xorijiy olimlar tomonidan keng o‘rganilgan. Ushbu yo‘nalishdagi ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish natijasida temirbeton konstruksiyalarning fizik-mexanik xossalari, loyihalash usullari hamda ularning ekspluatatsion holatini monitoring qilish bo‘yicha bir qator muhim ilmiy qarashlar shakllangan.

KMK 2.03.01-96 me’yoriy hujjatida [1] temirbeton va beton konstruksiyalarni loyihalashda yuk ko‘tarish qobiliyati, mustahkamlik zaxirasi hamda ekspluatatsiya sharoitlariga qo‘yiladigan asosiy talablar aniq belgilab berilgan. Ushbu hujjatda konstruksiyalarda yuzaga keladigan nuqsonlar, xususan yoriqlarni erta aniqlash ularning xavfsizligini ta’minlashning muhim sharti sifatida ko‘rsatib o‘tilgan. Askarov B.A. o‘zining “Temirbeton konstruksiyalari” asarida [2] temirbeton elementlarning ishlash prinsipi, armatura va betonning o‘zaro hamkorligi hamda yoriqlar paydo bo‘lish mexanizmlarini batafsil yoritib bergan. Muallifga ko‘ra, yoriqlarning hosil bo‘lishi asosan cho‘zilish kuchlanishlari va betonning past cho‘zilishga chidamliligi bilan bog‘liq bo‘lib, bu holat konstruksiya xizmat muddatiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi.

Karimov R.H. va Tojiyev S.S. tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda [3] yuqori mustahkamlikdagi betonlarning fizik-mexanik xususiyatlari o‘rganilib, ularning ekspluatatsiya jarayonida deformatsiyaga chidamliligi an’anaviy betonlarga nisbatan yuqori ekanligi ilmiy asoslab berilgan. Ushbu mualliflar

ISSN 3030-3907

yoriqlar paydo bo‘lishining oldini olishda beton tarkibini optimallashtirish muhim rol o‘ynashini ta’kidlaydilar. Akramov A.A. ilmiy ishida [4] mahalliy xomashyolar asosida betonning chidamliligini oshirish texnologiyalari tahlil qilingan bo‘lib, unda beton tarkibiga qo‘shimcha moddalar qo‘shish orqali uning suv va agressiv muhitga bardoshliligini oshirish mumkinligi ko‘rsatib berilgan. Bu esa ekspluatatsiya jarayonida yoriqlar hosil bo‘lish ehtimolini kamaytirishga xizmat qiladi. Aitcin P.C. o‘zining “High-Performance Concrete” asarida [5] yuqori samaradorlikdagi betonlarning mikrostrukturasi va ularning mustahkamlik ko‘rsatkichlari o‘rtasidagi bog‘liqlikni ilmiy asosda tahlil qilgan. Muallif fikricha, mikro darajadagi struktura yaxshilanishi yoriqlar tarqalishini sekinlashtiradi va konstruksiya umrini sezilarli darajada uzaytiradi.

Neville A.M. “Properties of Concrete” asarida [6] betonning asosiy xossalari, jumladan, siqilish va cho‘zilishdagi mustahkamligi, deformatsiya xususiyatlari hamda yoriqlar paydo bo‘lish jarayonlari keng yoritilgan. Muallif betonning ekspluatatsion holatini baholashda yoriqlarni asosiy diagnostik ko‘rsatkich sifatida qarash lozimligini ta’kidlaydi.

Zokirov J.J. va Mirzayev B.M. ilmiy ishlarida [7] qurilish konstruksiyalarini loyihalashda zamonaviy dasturiy majmualardan foydalanish masalalari ko‘rib chiqilgan. Ularning fikricha, raqamli modellashtirish texnologiyalari konstruksiyalardagi kuchlanishlarni oldindan aniqlash va yoriqlar xavfini prognoz qilish imkonini beradi. Mehta P.K. va Monteiro P.J.M. tomonidan yozilgan asarda [8] betonning mikrostrukturasi, xossalari va materialshunoslik asoslari chuqur tahlil qilingan. Mualliflar beton tarkibidagi mikroyoriqlar uning uzoq muddatli chidamliligiga salbiy ta’sir ko‘rsatishini ilmiy jihatdan asoslab bergan. Rashidov T.R. ilmiy tadqiqotlarida [9] binolarning seysmik mustahkamligi va zilzila sharoitida temirbeton konstruksiyalarning xatti-harakati o‘rganilgan. Ushbu ishda yoriqlar seysmik yuklamalar natijasida konstruksiya buzilishining boshlang‘ich bosqichi sifatida baholanadi.

Umuman olganda, tahlil qilingan adabiyotlar shuni ko‘rsatadiki, temirbeton konstruksiyalardagi yoriqlarni erta aniqlash va ularni monitoring qilish konstruksiyaning xavfsizligi va uzoq muddat xizmat qilishini ta’minlashda muhim ahamiyatga ega. Biroq, an’anaviy usullar ko‘p hollarda yetarli aniqlik va tezlikni ta’minlay olmaydi, bu esa sun’iy intellekt asosidagi zamonaviy yondashuvlarni joriy etish zaruratini yuzaga keltiradi.

METODOLOGIYA.

Ushbu tadqiqotda temirbeton konstruksiyalardagi yoriqlarni aniqlash va monitoring qilish uchun sun’iy intellektga asoslangan kompyuter ko‘rishi usullari qo‘llanildi. Tadqiqot jarayonida yuqori aniqlikdagi kameralar va dronlar yordamida olingan tasvirlar to‘plami shakllantirildi hamda ular raqamli ishlov

ISSN 3030-3907

berish orqali tayyorlandi. Yoriqlarni avtomatik aniqlash uchun konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN), xususan U-Net arxitekturasi asosidagi modeldan foydalanildi. Model tasvirlarda yoriqlarni piksel darajasida segmentatsiya qilish va ularning geometrik parametrlarini aniqlash imkonini berdi. Natijalar modelning yuqori aniqlik va real vaqt monitoring qilish qobiliyatiga ega ekanligini ko‘rsatdi.

TAHLIL VA NATIJALAR.

Zamonaviy shaharsozlik va infratuzilmaning asosi hisoblangan temirbeton konstruksiyalar ekspluatatsiya jarayonida doimiy ravishda mexanik kuchlanishlar, atrof-muhitning agressiv ta’sirlari va tabiiy eskirish omillariga duchor bo‘ladi. Ushbu omillar ta’sirida konstruksiyalarda yuzaga keladigan yoriqlar bino va inshootlarning yuk ko‘tarish qobiliyati kamayganligidan dalolat beruvchi dastlabki va eng muhim signallardan biridir. O‘z vaqtida aniqlanmagan mikroyoriqlar namlik va agressiv kimyoviy moddalarning konstruksiya ichiga kirib borishiga, armaturaning korroziyaga uchrashiga va pirovardida, inshootning to‘satdan qulab tushishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli, temirbeton konstruksiyalarning texnik holatini muntazam ravishda monitoring qilib borish va yoriqlarni erta bosqichlarda aniqlash global miqyosdagi dolzarb muammolardan biri bo‘lib qolmoqda.

An’anaviy ravishda muhandislik inshootlarini tekshirish vizual usullar hamda ultratovush, skanerlash va sklerometrik o‘lchash kabi instrumental diagnostika vositalari yordamida amalga oshiriladi. Biroq, vizual tekshirish jarayoni inson omiliga, ya’ni subyektivlikka o‘ta bog‘liq bo‘lib, ko‘p vaqt va yuqori mehnat resurslarini talab etadi. Ayniqsa, baland binolar, ko‘priklar, tonnellar va gidrotexnikaviy inshootlarning borish qiyin bo‘lgan qismlarini an’anaviy usullarda monitoring qilish inson hayoti uchun xavfli hisoblanadi. Oxirgi yillarda ushbu kamchiliklarni bartaraf etish maqsadida raqamli tasvirlarga ishlov berish usullari joriy etila boshlandi, ammo ular ham tasvirdagi soya, yorug‘likning noto‘g‘ri tushishi va g‘adir-budirliklar fonida yoriqlarni ajratib olishda yetarli darajada aniqlik bera olmadi.

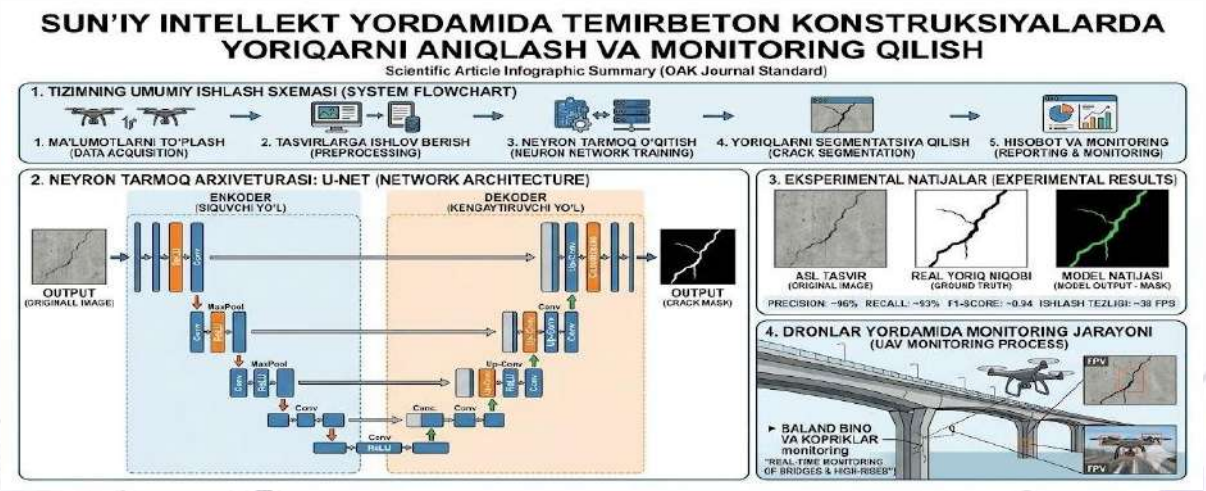
So‘nggi yillarda hisoblash texnikasining rivojlanishi va sun’iy intellekt, xususan, kompyuter ko‘rishi hamda chuqur o‘rganish algoritmlarining muhandislik sohasiga kirib kelishi bu borada yangi imkoniyatlarni ochdi. Konvolyutsion neyron tarmoqlari asosidagi modellar tasvirlardagi murakkab piksellar iyerarxiyasini tahlil qilish orqali yoriqlarni inson ko‘zidan ko‘ra tezroq va aniqroq differensiyalash imkonini bermoqda. Uchuvchisiz uchish apparatlari, ya’ni dronlar orqali olingan yuqori aniqlikdagi tasvirlarni sun’iy intellekt yordamida avtomatik tahlil qilish inshootlar monitoringini to‘liq avtomatlashtirish, inson omilini kamaytirish va vaqt sarfini sezilarli darajada

ISSN 3030-3907

qisqartirish imkonini beradi. Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi temirbeton konstruksiyalarda yuzaga keladigan yoriqlarni yuqori aniqlikda va real vaqt rejimida aniqlash, ularning geometrik parametrlarini baholash hamda kelgusi deformatsiyalarni monitoring qilish uchun neyron tarmoqlariga asoslangan samarali algoritmni ishlab chiqish va uning amaliy jihatdan ishonchliligini asoslashdan iborat.

Metodologiya va eksperimental natijalar. Temirbeton konstruksiyalardagi yoriqlarni sun'iy intellekt yordamida aniqlash tizimi to'rtta asosiy bosqichdan iborat bo'lib, bular ma'lumotlarni to'plash, tasvirlarga dastlabki ishlov berish, neyron tarmog'ini o'qitish va yoriqlarni segmentatsiya qilish jarayonlaridir. Tadqiqotda temirbeton konstruksiyalarning har xil yoritilganlik darajasi va turli masofalardan olingan uch mingta raqamli tasvirlaridan iborat ma'lumotlar bazasi shakllantirildi. Tasvirlar yuqori aniqlikdagi kameralar va dronlar yordamida olindi. Neyron tarmog'ining o'qish samaradorligini oshirish va modelning qayta moslashish effektining oldini olish maqsadida ma'lumotlarni ko'paytirish usulidan foydalanildi. Bunda tasvirlar tasodifiy ravishda burchakka burildi, masshtabi o'zgartirildi va yorug'lik kontrastlari transformatsiya qilindi.

Yoriqlarni piksel darajasida aniqlash uchun kompyuter ko'rishida keng qo'llaniladigan U-Net arxitekturasiga asoslangan konvolyutsion neyron tarmog'i tanlab olindi. Ushbu model tasvirdagi vizual xususiyatlarni, ya'ni tekstura, chegaralar va yoriq shakllarini ajratib oluvchi enkoder hamda ushbu xususiyatlarni asl tasvir o'lchamiga qaytarib, yoriq koordinatalarini aniqlashtiruvchi dekoder qismlaridan tashkil topadi.



XULOSA.

Temirbeton konstruksiyalar ekspluatatsiya davrida ularning xavfsizligi va mustahkamligini ta'minlash, yuzaga keladigan nuqsonlarni erta bosqichda aniqlash zamonaviy qurilish muhandisligining eng muhim vazifalaridan biridir. Ushbu tadqiqot doirasida temirbeton inshootlar yuzasidagi yoriqlarni avtomatlashtirilgan tarzda aniqlash va monitoring qilish uchun sun'iy intellekt

ISSN 3030-3907

(U-Net konvolyutsion neyron tarmog‘i) modeliga asoslangan tizim ishlab chiqildi va sinovdan o‘tkazildi. Olingan natijalar asosida quyidagi ilmiy va amaliy xulosalar shakllantirildi:

An’anaviy vizual tekshiruv usullari bilan qiyoslanganda, kompyuter ko‘rishi (Computer Vision) texnologiyasi ma’lumotlarni qayta ishlash vaqtini bir necha barobarga qisqartiradi, inson omili bilan bog‘liq subyektiv xatolarni minimallashtiradi va obbyektiv monitoring hisobotlarini shakllantiradi. Taklif etilgan chuqur o‘rganish algoritmi temirbeton yuzasidagi turli tashqi xalaqitlar (soya, yorug‘lik kontrastining o‘zgarishi, g‘adir-budirliklar va ifloslanishlar) mavjud bo‘lgan murakkab sharoitlarda ham yoriqlarni yuqori aniqlikda (to‘qson olti foiz) segmentatsiya qilish imkonini berdi.

Ishlab chiqilgan modelning yuqori ishlash tezligi (soniyasiga o‘ttiz sakkizta kadr) uni uchuvchisiz uchish apparatlari (dronlar) platformasiga integratsiya qilish imkonini beradi. Bu esa yirik muhandislik inshootlari — ko‘priklar, baland binolar, tonnellar va gidrotexnik inshootlarning borish qiyin bo‘lgan qismlarini masofadan turib, xavfsiz va real vaqt rejimida monitoring qilish tizimini yaratish uchun mustahkam poydevor bo‘ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Beton va temirbeton konstruksiyalar (KMK 2.03.01-96) — O‘zbekiston Respublikasi Davlat arxitektura va qurilish qo‘mitasi.
2. Temirbeton konstruksiyalari — Askarov B.A.
3. Yuqori mustahkamlikdagi betonlarning fizik-mexanik xususiyatlarini tadqiq etish — Karimov R.H., Tojiyev S.S.
4. Mahalliy xomashyolar asosida betonning chidamliligini oshirish texnologiyalari — Akramov A.A.
5. High-Performance Concrete (Yuqori samaradorlikdagi beton) — Aitcin P.C. Properties of Concrete (Betonning xossalari) — Neville A.M.
6. Konstruksiyalarni loyihalashda zamonaviy dasturiy majmualardan foydalanish — Zokirov J.J., Mirzayev B.M.
7. Properties, and Materials (Beton: Mikrostruktura, xossalar va materiallar) — Mehta P.K., Monteiro P.J.M.
8. Binolarning seysmik mustahkamligi va zilzila xavfsizligi masalalari — Rashidov T.R.
9. Temirbeton konstruksiyalarni hisoblashning zamonaviy usullari — To‘ychiyev N.J.

ISSN 3030-3907

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКИСЛИТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДНЫХ ГОССИПОЛА В КАЧЕСТВЕ ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОРА ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА

Мирвалиев Зоид Зохидович
Доктор технических наук, профессор Ташкентского государственного аграрного унивесситета, Республика Узбекистан
E-mail: z_mirvaliev@mail.ru

Annotatsiya. PVX uchun gossipol hosilalarining antioksidantlik faolligi, gossipol asosida sintez qilingan termostabilisator sifatida o‘rganildi. Gossipol hosilalarining ingibirlovchi xususiyatlarini o‘rganish shuni ko‘rsatdiki, ular PVX uchun istiqbolli termostabilizator hisoblanadi. Gossipol hosilalarining antioksidantlik faolligi uning azometin o‘rinbosarining tabiatiga bog‘liqligi aniqlandi.

Kalit so‘zlar: PVX, termostabilisator, ingibitor, gossipol, azometin.

Аннотация. Исследовано антиокислительной активности производных госсипола в качестве термостабилизатора для ПВХ, синтезированные на основе госсипола. Изучение ингибирующих свойств производных госсипола показало, что они являются перспективными в качестве термостабилизатора ПВХ. Выявлено, что антиокислительная активность производных госсипола зависит от природы заместителя его азометинов.

Ключевые слова: ПВХ, термостабилизатор, ингибитор, госсипол, азометин.

Abstract. The antioxidant activity of gossypol derivatives as a heat stabilizing for PVC synthesized on the basis of gossypol was studied. A study of the inhibitory properties of gossypol derivatives has shown that they are promising as a PVC heat stabilizer. It was revealed that the antioxidant activity of gossypol derivatives depends on the nature of its azomethine substituent.

Keywords: PVC, heat stabiliser, inhibitor, gossypol, azomethine.

ВВЕДЕНИЕ.

Полимерные материалы на основе поливинилхлорида (ПВХ) деструктируются и теряют ценные свойств в результате термоокислительных, фотоокислительных и других воздействий. Основную роль при деструкции ПВХ играют процессы окисления и распада цепей макромолекулы. Для устранения этих недостатков их стабилизируют введением различных стабилизаторов и антиоксидантов [1].

Однако антиоксиданты и стабилизаторы, находящиеся в полимере, способны самопроизвольно удаляться вследствие испарения, выпотевания и вымывания, сокращая тем самым срок его службы [2].

Перспективные с этими нежелательными потерями заключаются в

ISSN 3030-3907

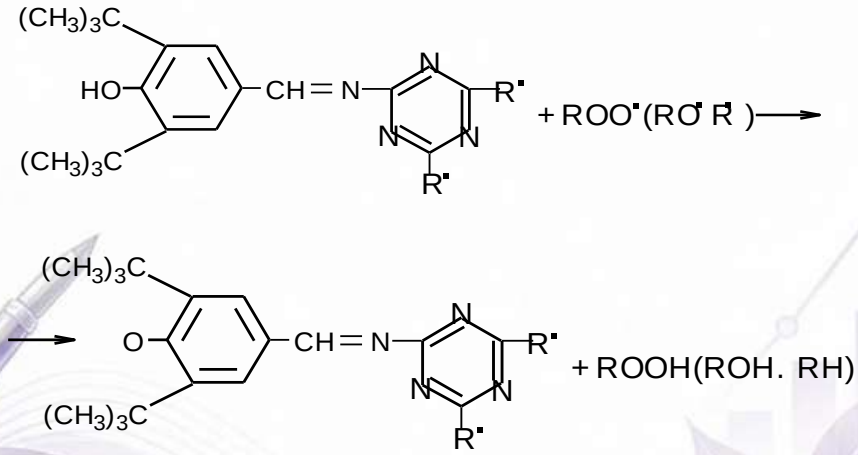
увеличении молекулярной массы предлагаемых добавок, используемых в качестве термо- и светостабилизаторов. В этом большой интерес представляют производные госсипола, проявляющие высокую антиокислительную активность.

Ранее [3,4] отмечалось, что для госсипола характерны свойства химического стабилизатора, стабилизатора-антиоксиданта. При изучении относительной совместимости госсипола и его производных на примере эластомеров специального назначения – фторкаучука [5] установлено, что по сравнению с ним его производные обладают меньшей миграцией из полимерной композиции. Предложенные добавки – нетоксичны [6], что также благоприятствует использованию их в качестве эффективных термостабилизаторов для полимерных материалов.

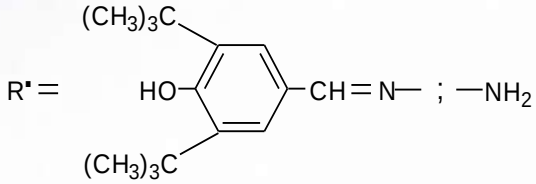
Также в этом направлении особий интерес представляет собой антиокислительная стабилизация полимеров азометинами и их механизм действия.

В работе [7] рассмотрена возможность повышения устойчивости полиолефинов к воздействию тепла и УФ- излучения с помощью низкомолекулярных азометинов на основе меламина и 4-гидрокси-3,5-дитретбутилбензальдегида. Показаны основные механизмы ингибирования термоокислительной деструкции полимеров многофункциональными антиоксидантами типа азометинфенилмеламинными соединениями. Полученные соединения, благодаря содержащимся в них реакционноспособных групп, таких как, -OH, -NH_2, -CH=N- эффективно участвуют в реакциях радикально-цепного механизма.

В работе [8,9] приводится механизм ингибирования ПЭ азометинами, где в окислительных процессах ПЭ, азометинфенилмеламины переходят в феноксильные радикалы, что приводит к увеличению антиокислительной активности ингибирования процессов деструкции полимера:



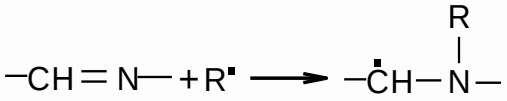
ISSN 3030-3907



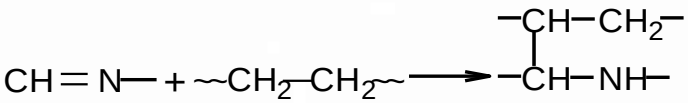
Повышенная стабилизирующая активность трифенола, объясняется тем, что в структуру стабилизатора входят три -ОН группы, и по антиокислительной активности выступают бисфенол - две -ОН группы и монофенол - одна -ОН группа. [9]

Механизм действия аминогруппы в случае термоокислительной деструкции объясняется тем, что, отрыв одного атома водорода, при котором образуются радикал стабилизируется за счет сопряжения его с π-электронами ароматического ядра.

Механизм ингибирования термоокислительной деструкции ПЭ азометинфенилмеламинными антиоксидантами определяется также эффектом сопряжения азометиновых -CH=N- связей, которые способны акцептировать свободные радикалы:



Кроме того, азометиновая группировка, являясь реакционно-активной, может реагировать непосредственно с макромолекулой полимера, с образованием в структуре макромолекул аминогрупп:

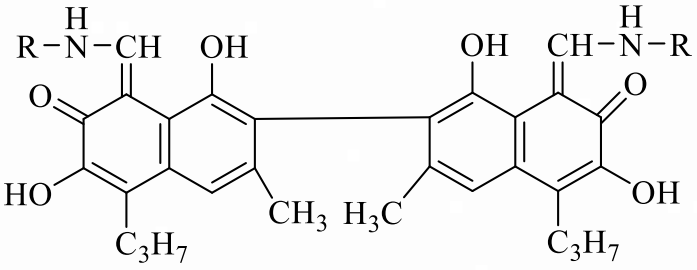


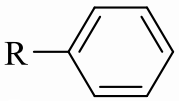
В экспериментах использовали ПВХ с $К_р$=70, полученный полимеризацией винилхлорида в суспензии при 53°С в присутствии инициатора перекиси лаурила и эмульгатора метоцелла. Определение скорости дегидрохлорирования термоокислительной деструкции ПВХ изучали с помощью автоматической потенциометрической установки. При этом навеску полимера помещали в реактор и термостатировали. Выделяющиеся HCI удаляли из зоны реакции тоном газа носителя (O_2). Скорость подачи газа регулировали при помощи насоса «Zalimp» и во всех опытах поддерживали ее постаянной ($8.4 \cdot 10^{-4}$ л/с). В качестве поглотителя HCI использовали термостатируемую электрохимическую ячейку с бидистиллированной водой. Измерение концентрации HCI с помощью ион-селективного электрода «Ascon-CI» с мембраны из Hg_2CI_2. Измеряемая в ходе эксперимента цифровые данные через согласующее устройства поступала в компьютер, где подвергалось статической обработке.

ISSN 3030-3907

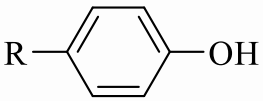
Для исследование антиокислительной активности производных госсипола в качестве стабилизатора ПВХ институтом Биоорганической химии АН Узбекистана им. акад. А. Садыкова были предоставлены образцы производных госсипола, синтезированные научными сотрудниками лаборатории Полифенольных соединений под руководством профессора А. Исмаилова.

Ниже приведена общая формула производных госсипола, в которой R представляет собой ди-(фенилимино)госсипола (ДАГ), ди-(*n*-оксифенилимино)госсипола (ДОФГ) и ди-(*м*-аминофенилимино)госсипола (ДАФГ).

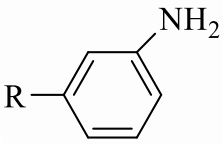




(ДАГ)



(ДОФГ)



(ДАФГ)

Синтез и физико-химические свойства термостабилизаторов:

1. ДАГ синтезировали по методу [6], $T_{пл.}$ 302 – 303 °С., $C_{42}H_{44}N_2O_6$. Найдено: N 4,01 %. Вычислено: N 4,05 %.

2. Синтез ДОФГ. К раствору 1,04 г (0.002 моль) госсипола в 25 мл этилового спирта добавляли раствор 0,44 г (0,004 моль) *n*-оксифениламина в 5 мл этилового спирта. Смесь нагревали на водяной бане в течение 3 ч, при 80^0С и выдерживали 12 ч при 25°С. Выпавший осадок отфильтровывали, промывали этиловым спиртом, диэтиловым эфиром и высушивали. Выход 0,99 г (70,8%). Игольчатые кристаллы жёлто-оранжевого цвета. $T_{пл.}$ 290 – 292 °С. R 0,73 (система ацетон – толуол 6:4). УФ-спектр (в ацетоне). λ_{max} ($\lg \dot{A}$):250 (448); 445 нм (4,49). Найдено: N 4,01%, $C_{42}H_{40}N_2O_8$. Вычислено: N 4,00%.

3. Синтез ДАФГ. Синтез ДАФГ проводили аналогично синтезу ДОФГ, в качестве амина использовали *м*-фенилендиамин. Выход 0,87 г (90,9%), желтый порошок с оранжевым оттенком. $T_{пл.}$ 284 – 286 °С. R 0,66 (система ацетон – толуол 6:4). УФ-спектр (в ацетоне). λ_{max} ($\lg \mathring{A}$) 435 нм (4,73). Найдено: N 8,23%, $C_{42}H_{42}N_4O_6$. Вычислено: N 8,02%.

ISSN 3030-3907

Результаты термоокислительного дегидрохлорирования ПВХ в присутствии производных госсипола показали, что они обладают значительными ингибирующими действиями при термоокислительной деструкции ПВХ. Производные госсипола и его азометины не уступают типичным (ионол) синтетическим антиоксидантам ПВХ, а по эффективности превосходят их (рис.).

Введение в полимер $2 \cdot 10^{-2}$ моль/кг производных госсипола резко снижает скорость элиминирования HCl, т.е. наблюдается аналогия с известными стабилизаторами, полученными на основе пространственно-затруднённых фенолов.

Ингибирующее действие ДОФГ в процессе термоокислительного элиминирования HCl из ПВХ заметно выше, чем у госсипола и других его производных. Так, в присутствии $(3 - 5) \cdot 10^{-2}$ моль/кг ДОФГ при 175 °С скорость элиминирования HCl из композиции ПВХ уменьшается до 7 раз по сравнению с нестабилизированным образцом.

Следует отметить, что при концентрациях ДОФГ, ДАГ $5 \cdot 10^{-2}$ моль/кг кинетика дегидрохлорирования ПВХ автокаталитическая. Чем выше содержание производных природного ингибитора в композиции, тем более ярко выражен автокатализ.

Автокаталитический процесс дегидрохлорирования ПВХ в присутствии госсипола описан также в работе [3] и, в отличие от производных госсипола автокатализ протекает при концентрациях выше $1 \cdot 10^{-1}$ моль/кг.

По результатам исследований, стабилизирующая активность производных госсипола зависит от природы его заместителя по альдегидным группам. Причем в ДОФГ по сравнению ДАГ в аминном заместителе содержатся гидроксильные группы, которые способствуют стабилизации композиций на основе ПВХ.

ISSN 3030-3907

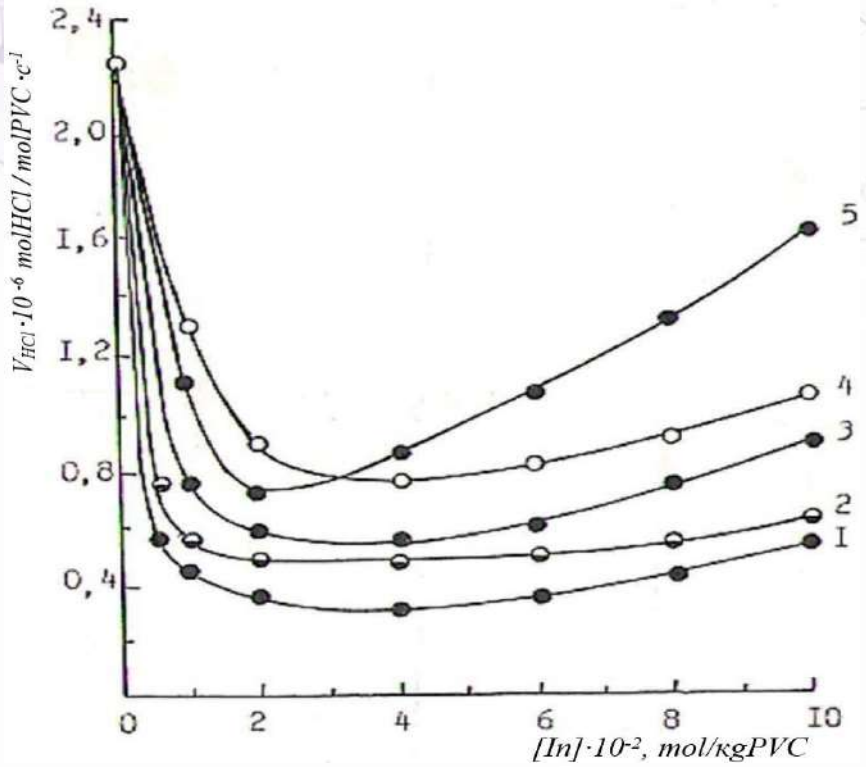


Рис. Влияние содержания ДОФГ (1), госсипола (2), ДАГ (3), ионола (4), ДАФГ (5) на скорость термоокислительного элиминирования HCl из ПВХ при 175 °С, в токе O_2

Среди производных госсипола ДАФГ уступает по сравнению с другими производными, по термостабилизирующей активности, что, по-видимому, связано с первичными аминогруппами аминого компонента, взаимодействующего с полимером с последующим аминированием ПВХ и элиминированием HCl из полимерной системы, что хорошо согласуется с данными литературы [11]. Так как, с увеличением содержания ДАФГ в полимерной композиции солянокислые соли аминов, образующихся при контактировании с лабильными атомами хлора в ПВХ, катализируют дегидрохлорирование ПВХ.

На основании результатов исследований выявлено, что азометины госсипола обладают высоким термостабилизирующим эффектом по сравнению с госсиполом, так как они имеют слабую внутримолекулярную водородную связь. Основная причина высокого термостабилизирующего эффекта азометинов госсипола заключается в том, что они имеют два центра радикалообразования: перекисный радикал может взаимодействовать не только с гидроксильной группой, но и с =CH–NH– связями азометинов с образованием радикального центра на атоме азота, как показано для некоторых шиффовых оснований [7,12].

Таким образом, при изучении эффективности действия термостабилизации ПВХ производных госсипола установлено, что

ISSN 3030-3907

ингибирующие значения характерны для всех азометинов при определенной критической концентрации. Наиболее перспективным среди исследованных соединений является ДОФГ, которое ингибирует в широком диапазоне во всех рассматриваемых концентрациях. Это, видимо, обусловлено образованием более термостабильных соединений за счет рекомбинации макрорадикалов полимера с полифункциональными ингибирующими группами ДОФГ, предотвращающими термораспад ПВХ макромолекул в условиях их переработки и эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фойгт И. Стабилизация синтетических полимеров против действия света и тепла / Л.: Химия. 1972. 544 с.
2. Темчин Ю.И., Бурмистров Е.Ф., Медведов А.И. и др. Летучесть стабилизаторов и их совместимость с полимеров // Высокомол. соед., 1970. серия А, №8. С.1901–1908.
3. Абдуллин М.И., Рахимов И., Минскер К.С. Термодеструкция поливинилхлорида в пристствии 2,2'-ди-1,6,7-триокси-3-метил-5-изопропил-8-альдегидонафтила // Высокомол. соед., 1983. серия А, №4. С.708–713.
4. Mirvaliev Z.Z. Development and investigation of the properties of an effective heat stabiliser for chloroprene rubber Nairit KR-50 based on the condensation product of gossypol resin with amine compounds // International Polymer Science and Technology, Vol. 34, No.2, 2006 T, P.43-45.
5. Mirvaliev Z.Z., Djalilov A.T. Evaluation of compatibility of fluorocaucus SKF-32 with certain thermostabilizers. The 5th international symposium of scientists of Tyrkic Ianguages countries on polymer and polymer composites. Almaty, september. 1998, p. 232–234.
6. Сборник научных трудов “Проблемы и перспективы развития химии природных и физиологически активных веществ” / Под ред. Абдувахабова А.А. Фан: Ташкент. 1988. 293 с.
7. Мурзаканова М. М., Борукаев Т. А., Бегретов М. М., Микитаев, А. К Деструкция полиэтилена и механизмы его стабилизации азометинфенилмеламинными соединениями // Пластические массы. – 2013. № 5. - С. 28-32.
8. Мурзаканова М. М. Ингибирование термо- и фотоокислительной деструкции полиэтилена высокой плотности соединениями, содержащими азометиновые группы: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. – Нальчик. 2013. - 24 с.

ISSN 3030-3907

9. Мурзаканова М.М., Залова Т.В., Борукаев Т.А., Микитаев А.К. Новые ингибиторы термоокислительной деструкции для полиолефинов // Пластические массы. – 2010. №8. - С. 3-5.
10. Adams R., Geissman T.A., Edvards J.D. // Chem. Rev. 1960. V. 60/ P. 555.
11. Зильберман Е.Н., Куликова А.Е., Тепляков Н.М. и др. Стабилизация поливинилхлорида аминами // Пласт. массы. 1968. №1, С.6–8.
12. Постников Л.М., Зарубин Н.Г., Вичутинская Е.В. и др. Реакция шиффовых оснований // Изв. АН СССР, серия химич. 1968. №2, С.260.

ISSN 3030-3907

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АДСОРБЦИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ

Курбонов Нурали Абдуллаевич
Каршинский государственный технический университет преподаватель
Джураев Шухрат Ихтиёрович
Каршинский государственный технический университет преподаватель
Курбанова Мунисахон Санджар кизи
Каршинский государственный технический университет студент
Бухоров Ҳабибулло Жаҳонгир ўғли
Каршинский государственный технический университет студент
Ештемиров Жамшидбек Олимжон ўғли
Каршинский государственный технический университет студент
Ўролов Дилшод Бахриддин ўғли
Каршинский государственный технический университет студент
Панжиев Асилбек Бекмуродович
Каршинский государственный технический университет студент

Annotatsiya. Adsorbsion issiqlik nasoslari (AIN) texnologiyasidagi yutuqlar ularning energetik samaradorligini va issiqlik tashlamalaridan foydalanishni sezilarli darajada yaxshilaydi, bu ularni barqaror sovutish uchun istiqbolli yechimga aylantiradi. Biroq, katta o‘lchamlar va rejalashtirilmagan xarajatlar kabi muammolar ularning keng ko‘lamli qo‘llanilishini cheklaydi. To‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘lanish/kondensatsiya va suyuq fazali sovutish agenti taqsimotiga ega ikkita adsorbsion modullarni o‘z ichiga olgan yangi uchinchi avlod adsorbsion texnologiyasi qimmat va katta vakuum klapanlariga ehtiyojni bartaraf etish va ixcham vakuum tizimlarini ishga tushirish orqali ushbu muammolarni hal qiladi, bu ularning to‘liq bozor salohiyatini ochib beradi.

Kalit so‘zlar. adsorbsion issiqlik nasoslari, samaradorlik koeffitsienti, issiqlik almashingich, o‘rta haroratli issiqlik almashingich, past haroratli issiqlik almashingich, o‘rtacha logarifmik haroratlar farqi, issiqlik tashuvchi suyuqlik.

Аннотация. Достижения в технологии адсорбционных тепловых насосов (АТН) значительно повышают их энергетическую эффективность и использование тепловых отходов, что делает их перспективным решением для устойчивого охлаждения. Однако такие проблемы, как большие габариты и непредвиденные затраты, ограничивают их широкомасштабное применение. Новая технология адсорбции третьего поколения, включающая два адсорбционных модуля с непосредственным испарением/конденсацией

ISSN 3030-3907

и распределением жидкого хладагента, решает эти проблемы за счёт устранения необходимости в дорогостоящих и крупногабаритных вакуумных клапанах и внедрения компактных вакуумных систем, что раскрывает их полный рыночный потенциал.

Ключевые слова: адсорбционные тепловые насосы, коэффициент полезного действия, теплообменник, средне температурный теплообменник, низкотемпературный теплообменник, среднелогарифмическая разность температур, теплоноситель.

Abstract. Advances in adsorption heat pump (AIN) technology have significantly improved their energy efficiency and use of heat sinks, making them a promising solution for sustainable cooling. However, issues such as large size and unplanned costs limit their widespread use. The new third generation adsorption technology, which includes two adsorption modules with direct evaporation/condensation and liquid phase cooling agent distribution, solves these problems by eliminating the need for expensive and large vacuum valves and launching compact vacuum systems, which reveals their full market potential.

Keywords. adsorption heat pumps, efficiency coefficient, heat exchanger, medium-temperature heat exchanger, low-temperature heat exchanger, mean logarithmic temperature difference, heat transfer fluid.

1. ВВЕДЕНИЕ.

Адсорбционные холодильные установки представляют собой термодинамически управляемую альтернативу следующего поколения парокомпрессионным холодильным системам, что вносит значительный вклад в декарбонизацию и смягчение последствий глобального потепления [1]. Адсорбционные холодильные устройства обладают такими специфическими преимуществами, как лёгкость регенерации, минимальная коррозия, гибкость эксплуатации и экологически чистые рабочие тела [2]. Они могут обеспечивать охлаждение за счёт использования низкотемпературных тепловых ресурсов с температурой 50–90 °C и выше, аккумулируя солнечную энергию или теплоту отходящих газов. Кроме того, в них используется вода в качестве безопасного хладагента, что также снижает проблемы, связанные с коррозией. В отличие от абсорбционных холодильников, использование адсорбционных холодильных устройств исключает проблемы кристаллизации. Тем не менее, их более широкому применению препятствует более низкая эффективность (коэффициент эффективности < 0,6) по сравнению с абсорбционными холодильниками. Кроме того, стоимость и компактность адсорбционных холодильников демонстрируют их преимущество перед традиционными холодильниками [3].

ISSN 3030-3907

В последние десятилетия используются два основных поколения адсорбционных тепловых насосов (АТН). АТН первого поколения, производимые компаниями Mayekawa (Япония), Pahwa (Индия), Sortech и Viessmann (Германия), а также имеющие широкомасштабные лабораторные установки, были extensively изучены численно и экспериментально. Данные системы были детально исследованы, включая двух- и многослойные устройства, одно- и многоступенчатые схемы, а также схемы с рекуперацией тепла или массы [4].

В последние годы исследователи активизируют усилия по разработке инновационных адсорбционных тепловых насосов, уделяя внимание усовершенствованным конструкциям реакторов/теплообменников, оптимизированным термодинамическим циклам и адсорбционным материалам следующего поколения. Новизна данного исследования заключается в разработке адсорбционной системы трансформации тепла третьего поколения, состоящей из двух адсорбционных модулей с непосредственным испарением/конденсацией, распределением жидкого хладагента и минимальной тепловой массой для испарения/конденсации. В данной конфигурации не используются большие и дорогостоящие вакуумные клапаны, что позволяет создать высокоэффективную компактную и энергоэффективную вакуумную систему. Кроме того, в каждом адсорбере используется 37,5 кг композитного адсорбента (мезопористый силикагель, пропитанный хлоридом кальция), и сформированы его адсорбционные изотермы/кинетика. Продемонстрированы производительность разработанного АТН, масштабируемость системы и снижение затрат, а также проведено сравнение с традиционными АТН.

2. МЕТОДЫ.

Математическая модель адсорбционного теплового насоса, применённого в данном исследовании, разработана при строгом соблюдении законов сохранения массы и энергии. Процесс состоит из цикла переключения (switching) продолжительностью 20 с и циклов адсорбции/десорбции продолжительностью 800 с.

Динамический анализ данной модели осуществлялся путём моделирования с шагом по времени 1 с. При этом использовался решатель ODE15s, который эффективен при решении жёстких (stiff) систем дифференциальных уравнений. В текущей численной модели относительная погрешность принята равной:

$$| s_{n+1} - s_n | = 10^{-6}$$

ISSN 3030-3907

С учётом конструктивных особенностей и граничных условий существующего адсорбционного теплового насоса (например, продолжительность цикла, температуры горячей воды, охлаждающей воды и охлаждённой воды на входе) были исследованы динамические характеристики температуры компонентов системы, степени сорбции, холодопроизводительности, теплопроизводительности и коэффициента эффективности (СК) и проведено их сравнение с экспериментальными результатами. Структура и конструкция существующего адсорбционного теплового насоса показаны на рисунке 1.

Данная динамическая модель построена на основе балансов массы и энергии, а также сорбционных изотерм и кинетики. Модули адсорбера включают:

- сорбционное равновесие (изотермы) для оценки поглощения хладагента в зависимости от температуры и давления;
- кинетическую модель для оценки движения пара от испарителя/конденсатора к адсорберу и обратно;
- балансы тепла и массы для модуля адсорбера. Основной и вспомогательный теплообменники конденсатора/испарителя также были смоделированы на основе уравнений теплового и массового баланса.

3. ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ АДСОРБЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

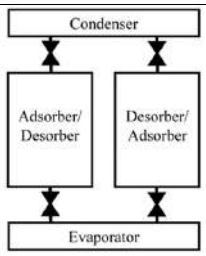
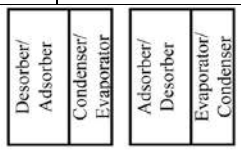
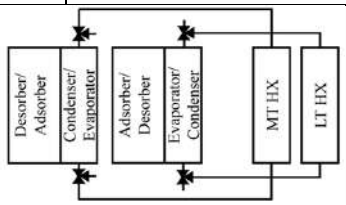
Эволюция адсорбционных холодильных установок развивается на протяжении трёх поколений (таблица 1). Первое поколение включает четыре отдельные камеры (т.е. адсорбер/десорбер, десорбер/адсорбер, испаритель и конденсатор), что гарантирует гибкость их работы благодаря разделённым теплообменникам конденсатора/испарителя с вакуумными клапанами. Тем не менее, оно полагается на крупногабаритные, дорогостоящие вакуумные клапаны и схемы для потока хладагента в паровой фазе [6]. Конструкции второго поколения были упрощены до двух комбинированных камер (адсорбер/десорбер и испаритель/конденсатор), крупногабаритные вакуумные клапаны были удалены, но при этом наблюдаются тепловые потери и низкая производительность [5]. Устройства третьего поколения, разработанные компанией Sorption Technologies GmbH [7], внедрили распределение жидкого хладагента, что обеспечивает непосредственное испарение/конденсацию внутри адсорбционного модуля и устраняет необходимость в сложных вакуумных системах [8].

ISSN 3030-3907

Описание адсорбционной холодильной установки третьего поколения показано на рисунке 1. В режиме десорбции/конденсации жидкий хладагент (вода) проходит через смесительный конденсатор внутри десорберного модуля. Смесительный конденсатор расположен в модуле концентрически, где жидкий хладагент собирается в виде смачивающей плёнки на контурах, увеличивающих пористую структуру/площадь поверхности, что позволяет десорбированному хладагенту непосредственно конденсироваться и, как следствие, нагревать хладагент. Затем жидкий хладагент подаётся в качестве теплоносителя во внешний теплообменник среднего температурного уровня, откуда с помощью насоса перекачивается в конденсаторный бак.

1-таблица

Этапы развития адсорбционных холодильных установок.

Параметры	1-е поколение (с 1990-х по настоящее время)	2-е поколение (с 2005 г. по настоящее время)	3-е поколение (с 2020 г. по настоящее время)
Конфигурация	  		
Преимущества	• Гибкость работы (благодаря разделённым конденсатору/испарителю)	• Компактная конструкция с одним конденсатором/испарителем • Прямой перенос пара без клапанов • Улучшенная адсорбция с покрытием теплообменников (ТА) • Упрощённая вакуумная система	• Распределение хладагента в жидкой фазе • Непосредственный фазовый переход жидкого хладагента внутри сорбционных реакторов (т.е. испарение/конденсация) • Ограниченные тепловые потери благодаря минимальной тепловой массе конденсатора/испари

ISSN 3030-3907

			теля (изготовлены из пластика) • Управление перекачкой жидкого хладагента при низких давлениях
Недостатки	• Распределение хладагента в паровой фазе • Крупногабаритные вакуумные клапаны • Сложная/дорогостоящая вакуумная система	• Тепловые потери и пульсации в теплообменниках конденсатора/испарителя • Смешение циклов и разделение системы • Требования к внешним теплообменникам	
Производитель	Mayekawa (Япония), Pahwa (Индия), Sortech (Германия)	Sortech/Fahrenheit (Германия)	Sorption Technologies GmbH (Германия)

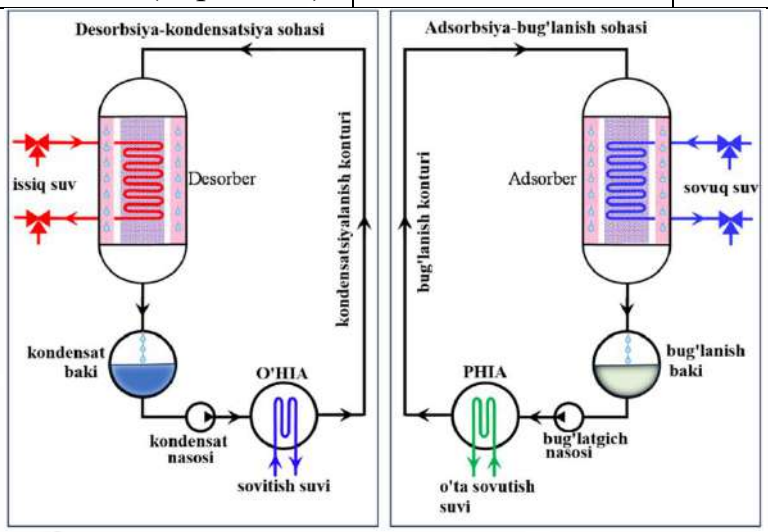


Рисунок 1. Схема адсорбционного теплового насоса (АТН) третьего поколения

4. ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЁТНОЙ СХЕМЫ.

И наоборот, в режиме адсорбции/испарения жидкий хладагент проходит через смесительный испаритель внутри модуля адсорбера. Аналогичным образом происходит непосредственное испарение

ISSN 3030-3907

адсорбированного хладагента, что приводит к охлаждению хладагента. При этом жидкий хладагент перекачивается в резервуар испарителя.

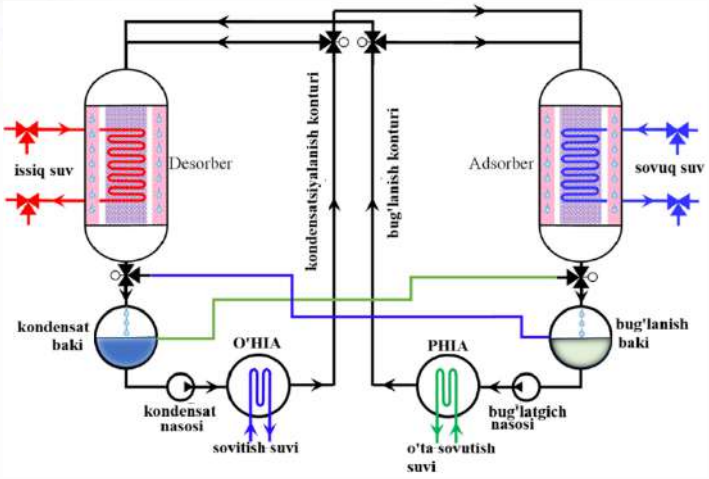


Рисунок 2. Объединённая схема адсорбционного теплового насоса (ТН)

Для непрерывной или полунепрерывной работы используются два сорбционных модуля, включающих теплообменник среднего температурного уровня со смесительным испарителем/конденсатором (СрТТ), низкотемпературный теплообменник (НТТ), два гидравлических насоса и четырёхходовые (или трёхходовые) клапаны, как показано на рисунке 2. Режимы десорбции/конденсации и адсорбции/испарения поочерёдно реализуются внутри сорбционных модулей, при этом внешние СрТТ и НТТ сохраняют свои функции.

5. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Представляемая математическая модель включает управляющие уравнения для изотерм/кинетики адсорбции $CaCl_2$@SG_25, энергетические и массовые балансы основных компонентов системы, а также показатели эффективности адсорбционного теплового насоса (АТН).

5.1. Равновесие и кинетика адсорбции

С использованием уравнения Дубинина-Астахова (Д-А) равновесие адсорбции водяного пара в композите $CaCl_2$@SG_25 описывается следующим образом [9]:

$$W = W_0 \exp\left[-\left(\frac{RT_s}{E}\ln\left(\frac{P}{P_{sat}}\right)\right)^n\right] \quad (1)$$

где: $W0$— максимальная равновесная величина адсорбции; nn— константа неоднородности; Ts— температура сорбента; E — характеристическая энергия адсорбции. Кроме того: Psat— давление насыщения при соответствующей температуре; P — давление пара.

$$RT_s \ln\left(\frac{P}{P_{sat}}\right)$$

ISSN 3030-3907

Выражение обозначает адсорбционный потенциал и обозначается через.

Кинетика сорбции для пары $CaCl_2$@SG_25/водяной пар (w) определяется с использованием метода линейной движущей силы (ЛДС) следующим образом: [10]:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = k(W - w), \quad (2)$$

где кинетический коэффициент (k) записывается следующим образом [11]:

$$K = M\exp\left(-\frac{N}{RT_s}\right). \quad (3)$$

Где M и N— корректировочные параметры, которые приведены в таблице 2.

2-таблица

Параметры, необходимые для изотерм и кинетики адсорбции $CaCl_2$@SG_25

Параметр	Описание	Единица измерения
W_0	максимальная равновесная адсорбция	0.8 (kg/kg)
E	характеристическая энергия	174.4 (kJ/kg)
n	константа неоднородности	1.08 (-)
M	параметр настраиваемости (кинетический)	2.73E–03 (m^2/s)
N	параметр настраиваемости (температурный)	15.993558 (kJ/kg*K)
H_{st}	изостерическая теплота адсорбции	155.1 ln(W)+2381.5 (kJ/kg)

5.2. Энергетический баланс

Энергетический баланс адсорбера-реактора моделируется следующим образом [12]:

$$\left(Mc_p\right)_{ads}\frac{dT_{ads}}{dt} = M_s H_{st}\frac{dw_{ads}}{dt} + \dot{m}_{cw}c_{p,cw}(MT_{in} - MT_{out}). \quad (4)$$

Энергетический баланс десорбера-реактора моделируется следующим образом:

$$\left(Mc_p\right)_{des}\frac{dT_{des}}{dt} = M_s H_{st}\frac{dw_{des}}{dt} + \dot{m}_{hw}c_{p,hw}(HT_{in} - HT_{out}). \quad (5)$$

ISSN 3030-3907

Энергетический баланс для процесса непосредственной конденсации задаётся следующим образом:

$$(Mc_p)_{cond}\frac{dT_{cond}}{dt} = -[M_s h_{fg}]\frac{dw_{des}}{dt} + \dot{m}_{cond}c_{p,w}(T_{cond,in} - T_{cond,out}). \quad (6)$$

Энергетический баланс для процесса непосредственного испарения задаётся следующим образом:

$$(Mc_p)_{cond}\frac{dT_{evap}}{dt} = -[M_s h_{fg}]\frac{dw_{ads}}{dt} + \dot{m}_{evap}c_{p,w}(T_{evap,in} - T_{evap,out}). \quad (7)$$

Энергетический баланс пластинчатого теплообменника (конденсатора) для отвода внешнего тепла задаётся следующим образом:

$$(Mc_p)_{cond}\frac{dT_{p-cond}}{dt} = -\phi[M_s h_{fg}]\frac{dw_{des}}{dt} + \dot{m}_{cw}c_{p,cw}(MT_{in} - MT_{out}). \quad (8)$$

Энергетический баланс пластинчатого теплообменника (испарителя) для подачи внешней охлаждённой воды задаётся следующим образом:

$$(Mc_p)_{cond}\frac{dT_{p-evap}}{dt} = -\phi[M_s h_{fg}]\frac{dw_{des}}{dt} + \dot{m}_{chw}c_{p,chw}(LT_{in} - LT_{out}). \quad (9)$$

где символ ϕ принимается равным нулю в периоды переключения предварительного нагрева/охлаждения, когда гидравлический насос хладагента выключен.

Выходные температуры компонентов системы оцениваются с использованием метода среднелогарифмической разности температур (СЛРТ — LMTD) следующим образом [13]:

$$T_{HX,out} = T_{HX} + (T_{HX,in} - T_{HX})\exp(-NTU). \quad (10)$$

Число единиц переноса (ЧЕП) определяется как отношение общего коэффициента теплопередачи ($U\,A_{\text{ТО}}$) к расходу теплоносителя ($\dot{m}cp$).

Следует отметить, что значения UA оцениваются с помощью данной экспериментальной работы следующим образом:

$$UA_{HX} = \frac{Q}{LMTD}, \quad (11)$$

$$LMTD = \frac{T_{HX,out} - T_{HX,in}}{\ln\left(\frac{T_{HX} - T_{HX,in}}{T_{HX} - T_{HX,out}}\right)}. \quad (12)$$

где температура теплообменника соответствует равновесной температуре адсорбера/десорбера или температуре насыщения конденсатора/испарителя.

Число единиц теплопереноса (NTU) равно отношению общего коэффициента теплопередачи (UAНХ) к потоковой теплоёмкости теплоносителя ($\dot{m}cp$).

5.3. Баланс массы

Массовый расход адсорбированного или десорбированного вещества определяется следующим образом:

$$\dot{m}_{ads/des} = M_s\frac{dw_{ads/des}}{dt}. \quad (13)$$

ISSN 3030-3907

Значения массового потока адсорбции/десорбции, общего коэффициента теплопередачи и теплоёмкости основных компонентов приведены в таблице 3.

Удельная холодопроизводительность (УХП) и удельная теплопроизводительность (УТП) оцениваются следующим образом:

$$SCU = \frac{Q_{PH}}{M_s}, \quad (14)$$

$$SIU = \frac{Q_{O'H}}{M_s}. \quad (15)$$

3-таблица

Константы и параметры нового адсорбционного теплового насоса (АТН).

Параметр	Значение	Единица
Ms	37.5	kg
$(Mcp)_{ads/des}$	120	kJ/kg
$(M\ cp)_{cond}$	3.0	kJ/kg
$(M\ cp)_{evap}$	3.0	kJ/kg
$UA_{ads/des}$	2.0	kW/K
UA_{cond}	3.0	kW/K
$UA_{\ evap}$	3.0	kW/K
$UA_{p-\ cond}$	3.5	kW/K
$UA_{p-\ evap}$	3.5	kW/K
$\dot{m}_{\ ads/des}$	0.63/0.95	kg/s
$\dot{m}_{\ cond}$	0.29	kg/s
$\dot{m}_{\ evap}$	0.28	kg/s
$\dot{m}_{\ MT}$	0.63	kg/s
$\dot{m}_{\ LT}$	0.34	kg/s

Коэффициент эффективности (СК) для охлаждения и нагрева оценивается следующим образом:

$$COP_c = \frac{Q_{LT}}{Q_{HT}} \quad (16)$$

$$COP_h = \frac{Q_{MT}}{Q_{HT}}. \quad (17)$$

6. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В данном разделе освещены концепция работы и динамическая эффективность адсорбционного теплового насоса.

6.1. Подтверждение концепции (Proof-of-Concept)

Размеры системы:

$$2{,}1 \times 0{,}99 \times 2{,}46\ м^3$$

ISSN 3030-3907

Объём модуля адсорбера и баков конденсатора/испарителя составляют соответственно 0,23 и 0,025 м³.

Модуль адсорбера состоит из двух частей:

1. непосредственное испарение;
2. непосредственная конденсация.

Капли воды стекают по пористым структурам в баки хладагента. Трёхходовые и двухходовые клапаны обеспечивают координацию циклов адсорбции и десорбции. Датчики температуры, давления и расхода контролируют работу системы.

С целью повышения эффективности конденсации и испарения модули адсорбера установлены наклонно и изолированы полиуретаном толщиной 10 мм. Это обеспечивает хорошее стекание капель воды в баки.

Расход хладагента и теплоносителя (HTF) регулируется с помощью трёхфазных гидравлических насосов. Подача HTF осуществляется из трёх накопительных резервуаров, обеспечивающих высокий (ВУ), средний (СУ) и низкий (НУ) температурные уровни для системы.

Следует отметить, что общий коэффициент теплопередачи (UA) для пленочного конденсатора и испарителя составляет приблизительно 3 кВт/К.

$$UA \approx 3 \text{ kW/K}$$

Данный показатель значительно превышает значения, приведённые в других исследованиях. Столь высокие значения UAUA объясняются главным образом процессом непосредственного испарения-конденсации и непрерывным движением капель жидкости по пористой структуре.

Температурный перепад (temperature lift) — термическая разница между источником тепла и охлаждающей средой — является важным показателем эффективности адсорбционного теплового насоса. Экспериментальные результаты (рисунок 8) показали наличие сильной обратной зависимости между холодопроизводительностью и температурным перепадом. При увеличении температурного перепада с 27 К до 32 К холодопроизводительность снизилась примерно с 8 кВт до 2 кВт.

Кроме того, коэффициент эффективности (СК) снизился с приблизительно 0,5 при 25–26 К до 0,35 при около 30 К. Это свидетельствует о том, что более высокий температурный перепад требует больших тепловых затрат, что, в свою очередь, приводит к снижению эффективности системы.

В целом, проведённый анализ подтверждает, что адсорбционный тепловой насос обладает наибольшей эффективностью при низких температурных перепадах.

ISSN 3030-3907

Можно сделать вывод, что путём простого изменения архитектуры технологии и устранения необходимости в крупногабаритных вакуумных клапанах капитальные затраты на одну машину могут быть снижены более чем на 10 000 евро. Фактическая разница в стоимости также зависит от масштаба производства, поставщика компонентов и других факторов. Тем не менее, данный анализ создаёт прочную основу для инвестирования в дальнейшую разработку и оптимизацию этой новой технологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В данном исследовании была разработана и испытана с помощью экспериментальной установки и численного моделирования новая адсорбционная технология, названная «адсорбционной технологией третьего поколения». Условия работы были систематически изучены, и проведён сравнительный анализ для оценки практичности данной передовой технологии. Новый адсорбционный тепловой насос продемонстрировал стабильные тепловые характеристики, аналогичные традиционным системам, благодаря способности обеспечивать высокую тепловую мощность, эффективно управлять фазовым переходом и улучшать внутренний теплообмен.

Результаты динамического моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными, причём отклонение по всем основным показателям составляет менее 10%, что подтверждает надёжность модели. Данная система способна обеспечить холодопроизводительность 3,84 кВт и теплопроизводительность 11,07 кВт при коэффициентах эффективности (СК) 0,43 и 1,16 соответственно в условиях 90/20/20 °C. С повышением температуры горячей воды на входе и температуры охлаждающей воды на входе эффективность системы значительно улучшается, тогда как высокая температура охлаждающей воды оказывает негативное влияние на эффективность. Длительные полуциклы обеспечивают полное протекание процессов адсорбции/десорбции, повышая тепловую эффективность и стабильность работы.

По сравнению с традиционными системами адсорбционной трансформации, конструкция третьего поколения значительно снижает капитальные затраты за счёт замены крупногабаритных вакуумных клапанов компактными насосами и клапанами малого размера. В целом, инновационная архитектура системы демонстрирует высокую термодинамическую эффективность и экономическую целесообразность, что делает её перспективным решением для использования низкопотенциальных тепловых источников.

ISSN 3030-3907

Будущие исследования могут быть направлены на оценку долгосрочной энергетической эффективности, а также на изучение возможностей интеграции с гибридными энергетическими системами, включая солнечные тепловые технологии, сети централизованного теплоснабжения и охлаждения, а также системы утилизации тепловых отходов. Особое значение имеют системы, адаптированные к прерывистым или переменным источникам тепловой энергии. Такие усовершенствования будут способствовать более эффективному использованию энергии и расширят возможности декарбонизации в промышленной и городской инфраструктуре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. F. Shabir, M. Sultan, T. Miyazaki, B.B. Saha, A. Askalany, I. Ali, Y. Zhou, R. Ahmad, R.R. Shamshiri, Recent updates on the adsorption capacities of adsorbent- adsorbate pairs for heat transformation applications, Renew. Sustain. Energy Rev. 119 (2020) 109630, https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109630.
2. M.G. Gado, S. Ookawara, S. Nada, I.I. El-Sharkawy, Hybrid sorption-vapor compression cooling systems : a comprehensive overview, Renew. Sustain. Energy Rev. 143 (2021) 110912, https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110912.
3. F. He, K. Nagano, J. Togawa, Experimental study and development of a low-cost 1 kW adsorption chiller using composite adsorbent based on natural mesoporous material, Energy 209 (2020) 118365, https://doi.org/10.1016/j. energy.2020.118365.
4. P.R. Chauhan, S.C. Kaushik, S.K. Tyagi, Current status and technological advancements in adsorption refrigeration systems: a review, Renew. Sustain. Energy Rev. 154 (2022) 111808, https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111808.
5. T. Nú˜ nez, W. Mittelbach, H.-M. Henning, Development of an adsorption chiller and heat pump for domestic heating and air-conditioning applications, Appl. Therm. Eng. 27 (2007) 2205–2212, https://doi.org/10.1016/j. applthermaleng.2005.07.024.
6. S. Vasta, A. Freni, A. Sapienza, F. Costa, G. Restuccia, Development and lab-test of a mobile adsorption air-conditioner, Int. J. Refrig. 35 (2012) 701–708, https://doi. org/10.1016/j.ijrefrig.2011.03.013.
7. W. Mittelbach, Adsorption Refrigeration Machine or Heat Pump with a Liquid-phase Refrigerant Distribution Function, and Method for Operating the Adsorption Refrigeration Machine, 2022 20220390154.
8. M.G. Gado, V. Palomba, V. Brancato, A. Frazzica, An innovative intermediate-based sorption thermal energy storage (STES) concept for power-to-heating/ cooling purposes in buildings: from experimental dynamics to operational

ISSN 3030-3907

examination, Energy Convers. Manag. 327 (2025) 119584, https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.119584.

9. C. Wang, H. Yang, B. Nie, B. Zou, Z. Li, J. Han, L. Tong, L. Wang, Y. Ding, Discharging behavior of a shell-and-tube based thermochemical reactor for thermal energy storage: modeling and experimental validation, Int. J. Heat Mass Transf. 183 (2022) 122160, https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.122160.

10. M. Gado, E. Elgendy, K. Elsayed, M. Fatouh, Performance enhancement of an adsorption chiller by optimum cycle time allocation at different operating conditions, Adv. Mech. Eng. 11 (2019) 1–12, https://doi.org/10.1177/1687814019884780.

11. M. Li, Y. Zhao, R. Long, Z. Liu, W. Liu, Gradient porosity distribution of adsorbent bed for efficient adsorption cooling, Int. J. Refrig. 128 (2021) 153–162, https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.03.013.

12. X. Hou, R. Sun, J. Huang, W. Geng, X. Li, X. Zhang, 4E evaluation and optimization of a hybrid CCHP system integrated PEM fuel cell and adsorption chiller, Renew. Energy 231 (2024) 120981, https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120981.

13. M.G. Gado, E. Elgendy, K. Elsayed, M. Fatouh, Parametric study of an adsorption refrigeration system using different working pairs, Int. Conf. Aerosp. Sci. Aviat. Technol. 17 (2017) 1–15, https://doi.org/10.21608/asat.2017.22455.

ISSN 3030-3907

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИНТЕЗА И ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ АКРИЛАТОВ И БИОПОЛИМЕРОВ В ПРОЦЕССАХ ШЛИХТОВАНИЯ

П.С.Шабонов
Магистр Бухарского государственного технического университета, Узбекистан
А.А.Хайдаров
Профессор Бухарского государственного технического университета, д.т.н.
Узбекистан,
E-mail: axtam-xaydarov@mail.ru
Г.А.Ихтиярова
Профессор Ташкентского государственного технического университета, д.х.н., Узбекистан

Аннотация. Работа посвящена разработке инновационных шлихтующих композиций для хлопчатобумажной пряжи на основе местного сырья и вторичных ресурсов. В исследовании проанализированы реологические и структурно-механические свойства систем на основе кукурузного крахмала, гидролизованной акриловой эмульсии (ГАЭ) и биополимера «Узхитан». Экспериментально доказано, что введение модификаторов в малых концентрациях (0,1–0,6%) значительно повышает коэффициент тиксотропного восстановления и адгезионную активность шлихты. На основании данных по капиллярности и вязкопластическим характеристикам обоснована высокая технологическая эффективность и импортозамещающий потенциал разработанной полимерной композиции.

Ключевые слова: шлихтование, крахмал, ГАЭ, узхитан, реология, тиксотропия, адгезия, хлопчатобумажная пряжа.

Аннотация. Мақола маҳаллий хомашё ва иккиламчи ресурслар асосида пахта ипларини оҳорлаш учун инновацион композицияларни ишлаб чиқишга бағишланган. Тадқиқотда маккажўхори крахмали, гидролизланган акрил эмульсияси (ГАЭ) ва «Узхитан» полимери асосидаги тизимларнинг реологик ва таркибий-механик хоссалари таҳлил қилинган. Модификаторларнинг (0,1–0,6%) кичик концентрациялари оҳорнинг тиксотроп тикланиш коэффициентини ва адгезион фаоллигини сезиларли даражада ошириши исботланган. Капиллярлик ва реологик ўлчовлар натижасида ишлаб чиқилган композициянинг юқори технологик самарадорлиги ва импорт ўрнини босиш имкониятлари асослаб берилган.

ISSN 3030-3907

Калит сўзлар: оҳорлаш, крахмал, ГАЭ, узхитан, реология, тиксотропия, адгезия, пахта калава ипи.

Abstract. The paper is devoted to the development of innovative sizing compositions for cotton yarn based on local raw materials and secondary resources. The study analyzes the rheological and structural-mechanical properties of systems based on corn starch, hydrolyzed acrylic emulsion (HAE), and the biopolymer “Uzxitan”. It has been experimentally proven that the introduction of modifiers in small concentrations (0.1–0.6%) significantly increases the thixotropic recovery coefficient and the adhesive activity of the sizing composition. Based on capillarity data and viscoplastic characteristics, the high technological efficiency and import-substituting potential of the developed polymer composition have been substantiated.

Keywords: Sizing, Starch, HAE, Uzxitan, Rheology, Thixotropy, Adhesion, Cotton yarn.

ВВЕДЕНИЕ.

В настоящее время в отечественной текстильной промышленности для шлихтования хлопчатобумажной пряжи в основном применяются нативный пищевой крахмал и синтетические полимеры. Однако достижение требуемых технологических показателей шлихтующих композиций на основе крахмала требует значительного расхода клеящего вещества. Это, в свою очередь, на фоне снижения плодородия сельскохозяйственных угодий, приводит к неоправданным потерям ценного пищевого продукта и росту патогенной микрофлоры в сточных водах вследствие биоразложения полисахаридов. В этой связи, снижение расхода крахмала путём введения местных сырьевых ресурсов, производимых в республике, является стратегически важной задачей для текстильной отрасли.

Несмотря на то, что на текстильных предприятиях сохраняется высокая доля использования крахмала при шлихтовании хлопковой пряжи, данный традиционный метод порождает ряд экономических и экологических проблем. Чрезмерный расход клеящих агентов наносит ущерб продовольственной безопасности и вызывает биологическое загрязнение водоемов. Для решения этих проблем необходима оптимизация содержания крахмала с использованием местного сырья. При этом ключевое значение имеет изучение реологических свойств шлихтующих составов, так как межмолекулярные комплексы, образующиеся в процессе взаимодействия с акрилатами, коренным образом изменяют адгезию к поверхности пряжи и устойчивость к деформации.

В процессах шлихтования текстильных материалов использованные шлихтующие составы претерпевают разные

ISSN 3030-3907

механические воздействия, при которых изменяются реологические свойства систем шлихтующих составов на основе крахмала и водорастворимых акрилатов [3]. Можно ожидать, что в силу реакции комплексообразования крахмала и акриловых полимеров реологические свойства систем подвергаются существенным изменениям.

На основе проведенных исследований разработана новая шлихтующая композиция на базе кукурузного крахмала, выделенного из вторичного сырья, и синтетической акриловой эмульсии производства АО «Навоиазот». Учитывая исходную нерастворимость акриловой эмульсии в воде, была проведена её химическая деструкция (гидролиз), в результате чего получена водорастворимая гидролизованная акриловая эмульсия (ГАЭ). Введение таких водорастворимых акриловых полимеров в состав шлихтующих агентов позволяет целенаправленно модифицировать структурно-механические свойства системы. Согласно научным данным, добавление ГАЭ в состав шлихты способствует возникновению новых макромолекулярных конформаций и усилению взаимодействия между полимерными цепями. Это повышает не только структурную целостность раствора шлихты, но и значительно увеличивает её адгезионную способность к текстильным нитям.

Растворы полимеров, в том числе крахмалов, не являются бесструктурными. Под структурой растворов понимают взаимное расположение молекул растворителя и полимера, конформацию макромолекул, взаимодействие между макромолекулами полимера.

О стабильности структуры можно судить по значениям степени тиксотропного восстановления, приведенными в таблице 1. Тиксотропия – способность структур после их разрушения в результате какого – нибудь механического воздействия самопроизвольно восстанавливается во времени, т.е. тиксотропия предстявляет собой способность к обратимому изотермическому превращению золя в гель.

Таблица-1

Влияние содержания полимеров на реологические параметры крахмальных клейстеров: критическое напряжение сдвига и степень тиксотропной регенерации

Состав и содержание компонентов в растворе			Предел текучести (Па)	Степень тиксотропного восстановления, %
Крахмал, %	ГАЭ, %	Узхитан, %		
6	-	-	4,11	85,17

ISSN 3030-3907

6	0,1	0,1	6,37	87,31
6	0,2	0,2	11,17	89,21
6	0,3	0,3	15,27	91,47
6	0,4	0,4	23,21	93,11
6	0,5	0,5	37,47	94,27
6	0,5	0,6	37,54	94,93

Такое постепенное восстановление структуры и, следовательно, нарастание ее прочности происходит, не только когда система находится в покое, но и при течении системы со скоростью меньшей той которая обусловила данную степень разрушения первоначальной структуры. Однако, при обратном переходе от установившегося режима течения с высокой скоростью к течению с меньшей скоростью, происходит некоторое восстановление структуры и соответственно, эффективная вязкость и прочность структуры увеличивается и, чем больше содержание ГАЭ в системе, этот эффект более выражен.

Таким образом, введение в клейстер крахмала ГАЭ и узхитана приводит к повышению коэффициента тиксотропного восстановления, т. е. повышению скорости релаксационных процессов. Благодаря высоким адгезионным свойствам полиакрилатные композиции приобретают все более значение в качестве шлихтующего препарата для шлихтования хлопковых волокон [3].

Основным преимуществом данных полимеров перед другими группами является возможность легкого управления их свойствами путем изменения химической природы. В работе детально проанализировано влияние ГАЭ и узхитана, входящих в состав шлихты, на реологическое состояние крахмальных дисперсных систем. Результаты экспериментов показали, что введение микроколичеств ГАЭ и узхитана в крахмальный клейстер укрепляет внутреннюю структуру системы, существенно повышая её устойчивость к механическим напряжениям.

Экспериментально доказана роль ГАЭ и узхитана в обеспечении структурно-механической стабильности крахмальных клейстеров. Реологические измерения подтвердили, что введение модификаторов даже в минимальных концентрациях (0,1–0,6%) позволяет эффективно управлять вязкопластическими характеристиками систем на основе кукурузного крахмала и оптимизировать процесс шлихтования.

Установлено, что введение ГАЭ и узхитана в диапазоне концентраций 0,1–0,6% оказывает значительное влияние на реологический профиль 6%-ных крахмальных систем. Данные по изменению динамической вязкости

ISSN 3030-3907

клейстеров при фиксированной скорости сдвига (γ=27см$^{-1}$) в зависимости от дозировки ГАЭ и температурного режима приведены в таблице 2.

Таблица 2

Изменение вязкости 6% ного крахмального клейстера от содержания ГАЭ в нем при различных температурах

Температура, ^{0}C	Вязкость шлихты (Па·с) при различных концентрации ГАЭ, %				
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
25	0,37	0,65	1,17	1,47	1,95
40	0,25	0,57	1,07	1,23	1,63
50	0,21	0,52	0,93	1,15	1,47
60	0,14	0,40	0,81	1,03	1,30
70	0,12	0,33	0,75	0,91	1,21
80	0,06	0,30	0,71	0,81	1,17

Согласно данным таблицы 2, введение ГАЭ в крахмальную систему сопровождается ростом вязкости, что указывает на протекание процессов комплексообразования. Данный эффект обусловлен пространственным соответствием гидроксильных групп в цепях амилозы и амилопектина (расстояние 2,42 Å, угол 109°), создающим благоприятные условия для формирования прочных межмолекулярных связей с ГАЭ.

Повышение вязкости крахмальных систем при введении ГАЭ связано с образованием дополнительных узлов связей, снижающих конформационную подвижность цепей и повышающих их жесткость. Экспериментально установленное снижение вязкости с ростом температуры закономерно для полимерных систем и связано с тепловой активацией сегментов макромолекул. Превышение энергии теплового движения над энергией взаимодействия в узлах комплексообразования приводит к разупорядочению структуры и снижению сопротивления системы сдвигу

Таким образом, введение ГАЭ и узхитана в крахмальный клейстер приводит к значительному повышению коэффициента тиксотропного восстановления, что, в свою очередь, способствует ускорению релаксационных процессов. Благодаря высокой адгезионной активности, полиакрилатные композиции приобретают статус перспективного и высокоэффективного средства для шлихтования хлопковых волокон. Возможность варьирования функциональных свойств этих соединений в широком диапазоне путем модификации их химического состава выгодно отличает их от других групп полимеров.

ISSN 3030-3907

Удобство корректировки свойств полимера через изменение его химического строения определяет технологическую универсальность данных композиций. Введение ГАЭ и узхитана в 6%-ные растворы кукурузного крахмала изменяет физико-химическую природу системы, создавая условия для равномерного и прочного закрепления шлихты на поверхности пряжи.

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что среди всех исследованных составов наилучшую эффективность по показателю капиллярности показала композиция на основе кукурузного крахмала, ГАЭ и узхитана.

Таким образом, существенные положительные изменения реологических свойств растворов данной полимерной композиции свидетельствуют о её высокой технологической и адгезионной способности при шлихтовании хлопчатобумажной пряжи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Глубиш П.А. Применение полимеров акриловой кислоты и ее производных в текстильной промышленности. – М.: Лег. индустрия, 1975. – 205с.
2. Липатова И.М., Седова И.Л., Ермолаева Н.А., Падохин В.А., Морыганов А.П., Влияние механической обработки на технологические свойства крахмальной шлихты // Текстильная химия. 1993, -№ 1 (3).- С.26-30.
3. Ихтиярова Г.А., Хафизов А.Р., Амонов М.Р. Влияния полиакриламида на структурно-механические свойства шлихтующей композиции хлопковых волокон// «Текстиль 2002» Инновация - эффективных наукоемких технологий. Материалы международной научно-практической конференции, Ташкент, 2002. –С.140.

ISSN 3030-3907

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МЕЖДУ ГЕНЕРИРУЮЩИМИ И СЕТЕВЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

Ибрагимов Искандар Исроилович
Каршинский государственный технический университет
Преподаватель
Курбанова Мунисаҳон Санджар кизи
Каршинский государственный технический университет магистр
Валиев Рамазон Алишер ўғли
Каршинский государственный технический университет магистр
Эштемиров Жамшидбек Олимжон ўғли
Каршинский государственный технический университет студент
Бухоров Ҳабибулло Жаҳонгир ўғли
Каршинский государственный технический университет студент
Ўролов Дилшод Бахриддин ўғли
Каршинский государственный технический университет студент

Аннотация. В данной статье рассмотрены вопросы распределения потерь мощности, возникающих в электрических сетях при передаче электроэнергии, между генерирующими и распределительными компаниями. Предложен метод определения потерь мощности на основе токов, протекающих по элементам электрической сети, а также их распределения между участниками рынка. Кроме того, освещено значение данного подхода при формировании тарифов на транзитные услуги и расчёте затрат на передачу электрической энергии.

Ключевые слова: электрическая энергия, потери мощности, электрическая сеть, транзитные услуги, формирование тарифов, генерирующая компания, распределительная компания, потери электроэнергии.

Abstract. This article examines the issues of allocating power losses arising in electrical networks during electricity transmission between generating and distribution companies. A method for determining power losses based on the currents flowing through power network elements and distributing them among market participants is proposed. In addition, the importance of this approach in the formation of transit service tariffs and the calculation of electricity transmission costs is highlighted.

Keywords: electrical energy, power losses, electrical network, transit services, tariff formation, generating company, distribution company, electricity losses.

Annotatsiya. Ushbu maqolada elektr energiyasini uzatish jarayonida elektr tarmoqlarida yuzaga keladigan quvvat isroflarini ishlab chiqaruvchi va taqsimlovchi korxonalar o‘rtasida taqsimlash masalalari ko‘rib chiqilgan. Elektr

ISSN 3030-3907

tarmog‘i elementlaridan oqadigan toklar asosida quvvat yo‘qotishlarini aniqlash va ularni bozor ishtirokchilari o‘rtasida taqsimlash usuli taklif etilgan. Shuningdek, mazkur yondashuvning tranzit xizmatlari tariflarini shakllantirish hamda elektr energiyasi uzatish xarajatlarini hisoblashdagi ahamiyati yoritilgan.

Kalit so‘zlar: elektr energiyasi, quvvat isrofi, elektr tarmog‘i, tranzit xizmatlari, tarif shakllantirish, ishlab chiqaruvchi korxona, taqsimlovchi kompaniya, quvvat yo‘qotishlari.

ВВЕДЕНИЕ.

В последние годы были проведены масштабные реформы, направленные на ускоренное развитие всех отраслей экономики, повышение инвестиционной привлекательности, создание благоприятных условий для повышения деловой активности населения, расширение сфер производства и услуг, а также улучшение социальной сферы и уровня жизни населения.

В энергетической отрасли ведутся работы по организации оптового и розничного рынков электрической энергии на 2023–2030 годы, основанные на создании благоприятных условий для развития здоровой конкурентной среды, увеличении притока иностранных и частных инвестиций в отрасль, а также внедрении свободных и прозрачных механизмов ценообразования. Вышеуказанные реформы предусматривают:

а) поэтапный переход к механизмам оптового и розничного рынка электрической энергии, рассчитанным на 2023–2030 годы, основанный на следующих подходах:

- поэтапное формирование конкурентных оптового и розничного рынков электрической энергии;
- повышение инвестиционной привлекательности электроэнергетической сети и создание условий для широкого привлечения частного сектора в отрасль;
- обеспечение бесперебойности и стабильности электроснабжения, повышение качества услуг, предоставляемых потребителям;
- внедрение механизмов социальной защиты при установлении тарифов на электрическую энергию для населения и обеспечение реализации электроэнергии населению во всех регионах республики на основе единой ценовой политики до 2035 года;
- предоставление населению и субъектам предпринимательства права свободного выбора поставщиков электрической энергии;
- обеспечение свободного формирования цен на оптовом рынке электрической энергии на основе спроса и предложения, организация

ISSN 3030-3907

суточной торговли и осуществление всех операций купли-продажи через онлайн-торговую платформу;

•расширение масштабов производства «зелёной энергии» за счёт широкого использования потенциала возобновляемых источников энергии;

б) в соответствии с «дорожной картой» по реализации в 2023–2024 годах Концепции поэтапного перехода к механизмам оптового и розничного рынка электрической энергии на 2023–2030 годы:

Переход от одного этапа формирования механизмов конкурентного оптового и розничного рынка электрической энергии к следующему этапу осуществляется после полного выполнения условий, определённых в Концепции поэтапного перехода к механизмам оптового и розничного рынка электрической энергии на 2023–2030 годы;

Кабинет Министров, начиная с 2024 года, ежегодно до 1 декабря разрабатывает программу практических мероприятий по реализации Концепции поэтапного перехода к механизмам оптового и розничного рынка электрической энергии на 2023–2030 годы на следующий год..

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Вышеуказанные реформы требуют решения ряда вопросов в научно-техническом аспекте. В данной статье решены вопросы распределения потерь мощности в электрической сети при передаче электрической энергии между генерирующими и распределительными предприятиями, а также вопросы распределения затрат при организации оптового и розничного рынка электрической энергии.

Для определения тарифов на транзитные услуги оператор транзита должен провести технический анализ с целью установления степени влияния транзита на его энергосистему. В первую очередь анализируются возможные направления распределения электрической энергии по всей сети. Кроме того, как показывает практика, необходимо изучить характеристики сетевых элементов, обеспечивающих транзит, и требуемых услуг.

Доступная пропускная способность для оказания транзитных услуг различается в разных энергосистемах и, кроме того, может различаться в разных точках одной и той же системы. Неиспользуемая пропускная способность системы может быть использована только для конкретной передачи, но не для другой (даже при одинаковой передаваемой мощности). Это связано с физической конфигурацией системы (доминирующими потоками в системе электроснабжения и передачи).

Одним из частных случаев является ситуация, когда транзитная компания может заключить договор на оказание транзитных услуг на

ISSN 3030-3907

определённый период, характеризующийся наименьшей пропускной способностью для транзита. Такая ситуация может потребовать дополнительных инвестиций на модернизацию передающей системы. В связи с этим при установлении тарифа транзитная сторона сталкивается с необходимостью увеличения долгосрочных затрат.

В другом случае транзитная компания может подписать договор на оказание транзитных услуг на период, когда она обладает достаточно большой пропускной способностью. Такая ситуация может потребовать от неё лишь некоторых изменений в будущем. В этом случае при определении тарифа можно опираться на временные изменённые затраты или краткосрочные затраты. Если в течение срока оказания услуги перспективы альтернативного использования пропускной способности недостаточны, в некоторых случаях транзитная компания может предоставлять услуги по цене ниже краткосрочных изменённых затрат.

Как правило, транзитная компания находится в промежуточной ситуации между вышеуказанными случаями. Одни части её системы обладают требуемой пропускной способностью, в то время как другие части могут требовать новых инвестиций (иногда в течение нескольких лет). В таких случаях основой для установления транзитных тарифов служат согласованные условия (срок действия договора, уровень гарантии услуг, способы пересмотра тарифов в будущем).

В условиях перехода к рыночным отношениям в электроэнергетике одной из актуальных задач является оплата услуг транзитных предприятий по доставке электрической энергии от производителей (генерирующих предприятий) до распределительных компаний. Величина оплаты должна учитывать общие затраты генерирующей компании, включая содержание электрических сетей, диспетчерский контроль, компенсацию потерь мощности и электроэнергии и другие статьи расходов.

Решение данных проблем может быть основано на определении доли потоков в электрических сетях, приходящейся на каждую генерирующую компанию (ГК) и распределительную компанию (РК). Для установления степени участия участников (ГК, РК и крупных потребителей) могут быть предложены различные методы. Также следует учитывать договорённости между участниками рынка.

Известно, что потери активной мощности для ветви $i–j$ определяются по следующей формуле::

$$\Delta P_{ij} = I_{ij}^2 R_{ij}, \qquad (1)$$

где Rij, Iij— активное сопротивление и ток ветви $i–j$.

ISSN 3030-3907

Для распределения потерь мощности между распределительными компаниями (РК) в установившемся режиме узловые мощности генерирующих источников принимаются в виде шунтов, а мощности узловых нагрузок — в виде токов. Общие потери мощности в элементе сети, определяемые методами расчёта установившегося режима, могут быть найдены следующим образом:

$$\Delta P_{ij} = (I_{ij1} + I_{ij2} + ... + I_{ijn})^2 * R_{ij} \qquad (2)$$

Здесь *Iijn* (*n*=1,…,*nl*) — ток ветви *i*–*j*, соответствующий цепи только с заданным током в *n*-м узле.

Преобразуя уравнение (2), получаем

$$\Delta P_{ij} = I_{ij1}R_{ij}(I_{ij1} + I_{ij2} + I_{ij3}... + I_{ijn}) + I_{ij2}R_{ij}(I_{ij1} + I_{ij2} + I_{ij3} + ... + I_{ijn}) + ... + I_{ijn}R_{ij}(I_{ij1} + I_{ij2} + I_{ij3}... + I_{ijn}) = \Delta P_{ij1} + \Delta P_{ij2} + ... + \Delta P_{ijn}, \qquad (3)$$

Где $\Delta Pijn$ (*n*=1,…,*nl*)— доля *n*-го потребителя в потере активной мощности в ветви *i*–*j*.

Из (3) следует, что долю *k*-го потребителя в общих потерях мощности можно определить следующим образом:

$$\Delta P_{ijn} = I_{ijn}R_{ij}\sum_{n=1}^{k} I_{ijn}\ . \qquad (4)$$

Распределение потерь мощности между основными станциями определяется аналогичным образом, с той лишь разницей, что в этом случае узловые мощности генерирующих источников рассматриваются как токи, а мощности узловых нагрузок — как шунтирующие сопротивления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Предлагаемая методология может быть применена при установлении тарифов на транзит электрической энергии, а также при формировании тарифов на поставку электрической энергии отдельным потребителям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shouket, H. A., Ameen, I., Tursunov, O., Kholikova, K., Pirimov, O., Kurbonov, N., ... & Mukimov, B. (2020, December). Study on industrial applications of papain: A succinct review. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 614, No. 1, p. 012171). IOP Publishing.
2. Usmanov, E., Rajabboeva, A., Kurbonov, N., & Kurbanova, K. (2024, June). Operational logic scheme of the sketch base for an educational simulator in the fundamentals of power supply. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3152, No. 1, p. 050029). AIP Publishing LLC.
3. Turdiboyev, A., Aytbaev, N., Mamutov, M., Tursunov, A., Toshev, T., & Kurbonov, N. (2023, March). Study on application of electrohydraulic effect for disinfection and increase of water nutrient content for plants. In IOP Conference

ISSN 3030-3907

Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1142, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.
4. Saidkhodjaev, A., Kasimova, G., Akbarkhodjaev, S., & Kurbonov, N. (2025, November). Structure and principles for selecting a rational urban power supply schemes. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3331, No. 1). AIP Publishing.
5. Abdullayevich, Q. N. Muzaffar o‘g‘li, NT (2024). NORMALIZATION MODES OF HYDROGENERATORS. THE THEORY OF RECENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF PEDAGOGY, 2(25), 368-371.
6. Abdullayevich, Q. N. (2023). REACTIVE POWER COMPENSATION. IMRAS, 6(6), 506-508.
7. Abdullayevich, Q. N. Almardon o‘g‘li, NA, & Bahodir o‘g, QOA (2024). INFLUENCE OF ELECTRICAL ENERGY QUALITY ON ELECTRICAL ENERGY WASTE. Научный Фокус, 1(9), 786-789.
8. Abdullayevich, K. N. (2024). ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ ВА ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ СОҲАСИДА ИННОВАЦИОН ФАОЛИЯТНИ БОШҚАРИШДА ЛОЙИҲА ЁНДАШУВИДАН ФОЙДАЛАНИШ. THE THEORY OF RECENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF PEDAGOGY, 2(25), 363-367.
9. Abdullayevich, Q. N., & Qizi, Q. M. S. (2023). Ways to Reduce Losses in Power Transformers. Texas Journal of Engineering and Technology, 20, 36-37.
10. Mahmutxonov, S. J., Qurbonov, N., & Babayev, O. (2022). ELEKTR TARMOQLARIDA SIFAT KO ‘RSATKICHLARI VA ISROFLAR. Innovatsion texnologiyalar, 47, 14-15.
11. Abdullayevich, K. N. (2024). ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ СИФАТИНИ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ ИСРОФИГА ТАЪСИРИ. PEDAGOG, 7(9), 183-188.
12. Abdullayevich, K. N., & Olimjon o‘g‘li, E. J. (2024). Using consumer-regulators to equalization of electrical energy system load schedule. Journal of Multidisciplinary Bulletin, 7(4), 25-29.
13. Abdullayevich, K. N. (2024). Analysis and evaluation of the effectiveness of energy saving in industrial enterprises. SCIENTIFIC APPROACH TO THE MODERN EDUCATION SYSTEM, 3(28), 75-81.
14. Курбонов, Н. А., Халикова, Х. А., & Неъматов, Б. А. О. (2024). ВОПРОСЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ АФГАНИСТАНА, УЗБЕКИСТАНА И ТАДЖИКИСТАНА С УЧЕТОМ НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА. Eurasian Journal of Academic Research, 4(6-1), 37-41.
15. Abdullayevich, Q. N., & Elmurodovich, B. O. (2023). ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СХЕМАМ. Новости образования: исследование в XXI веке, 1(7), 1006-1010.

ISSN 3030-3907

16. Abdullayevich, Q. N. (2023). REDUCING ELECTRICITY LOSSES IN ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORKS DUE TO MULTICRITERIA OPTIMIZATION OF LINE SECTIONS. MODELS AND METHODS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF INNOVATIVE RESEARCH, 3(28), 275-279.
17. Abdullayevich, K. N. (2024). ОЦЕНКА ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИИ. PROSPECTS AND MAIN TRENDS IN MODERN SCIENCE, 2(13), 531-536.
18. Abdullayevich, K. N. (2024). ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ. Новости образования: исследование в XXI веке, 3(26), 203-208.
19. Abdullayevich, K. N., & Abduzairovna, N. M. (2024). ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ ТИЗИМИДА РАҚАМЛИ ПОДСТАНЦИЯЛАРДАН ФОЙДАЛАНИШ МАСАЛАЛАРИ. Eurasian Journal of Social Sciences, Philosophy and Culture, 4(9), 71-75.
20. Abdullayevich, K. N. (2024). НОРМАТИВНЫЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 10, 6 и 0, 4 кВ. THE THEORY OF RECENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF PEDAGOGY, 2(21), 55-60.
21. Abdullayevich, Q. N., & Ikrom o‘g, T. A. A. (2023). Efficiency OF Use OF Frequency Converter with Smooth Control OF Asynchronous Motor Speed. Galaxy International Interdisciplinary Research Journal, 11(5), 448-449.
22. Abdullayevich, K. N., O‘G‘Li, M. F. A., O‘G‘Li, E. J. O., & O‘G‘Li, P. A. B. (2024). MARKOV ZANJIRI USULI VA O ‘LCHANGAN SHAMOL TEZLIKLARIDAN FOYDALANGAN HOLDA YANGI SHAMOL TEZLIKLARINI BASHORAT QILISH. Eurasian Journal of Academic Research, 4(11-2), 7-12.
23. Abdullayevich, K. N., Akrom o‘g, N. M. B., & Olimjon o‘g‘li, E. J. (2024). Functions of facts devices with innovation technology in the electrical energy system. Journal of Engineering Sciences, 7(5), 12-16.
24. Abdullayevich, K. N., & Abdullayevna, X. X. (2024). EFFECTIVENESS OF USING A FREQUENCY CONVERTER WITH SMOOTH SPEED CONTROL OF AN INDUCTION MOTOR. Новости образования: исследование в XXI веке, 3(27), 151-154.
25. Abdullayevich, K. N. Shuhrat o‘g‘li, OS, & Olimjon o‘g‘li, EJ (2024). STRUCTURE OF LOW VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS. AMERICAN JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY BULLETIN, 2(5), 112-119.

ISSN 3030-3907

26. Abdullayevich K. N., Tulqin o‘g‘li X. M., Mansur o‘g‘li C. D. УМЕНЬШЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ЗА СЧЕТ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СЕЧЕНИЙ ЛИНИЙ //IMRAS. – 2025. – Т. 8. – №. 3. – С. 35-43.
27. Abdullayevich K. N. et al. ВОПРОСЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ АФГАНИСТАНА, УЗБЕКИСТАНА И ТАДЖИКИСТАНА С УЧЕТОМ НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА //Eurasian Journal of Academic Research. – 2024. – Т. 4. – №. 6-2. – С. 19-23.
28. Abdullayevich Q. N. CONDUCTING LABORATORY CLASSES ON ELECTRICAL CIRCUITS. Finland International Scientific Journal of Education //Social Science & Humanities. – 2023. – Т. 11. – №. 1. – С. 1095-1098.
29. Abdullayevich K. N., Mansur o‘g‘li C. D. МЕТОДЫ И МЕРЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ГОРОДА //INNOVATIVE DEVELOPMENTS AND RESEARCH IN EDUCATION. – 2025.
30. Abdullayevich K. N., Shuhrat o‘g‘li O. S., Olimjon o‘g‘li E. J. STRUCTURE OF LOW VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS //AMERICAN JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY BULLETIN. – 2024. – Т. 2. – №. 5. – С. 112-119.
31. Файзиев, М. М., Ибрагимов, И. И., Джураев, Ш. И., & Мухаммадиев, А. В. У. (2023). ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ MATLAB SIMULINK. Наука, техника и образование, (2 (90)), 23-27.
32. Davirov, A., Kodirov, D., Tukhtaeva, R., Ibragimov, I., & Urokova, N. (2023, March). Development and testing of a laboratory model of a two-turbine small hydroelectric power plant. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1142, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.
33. Файзиев, М. М., Имомназаров, А. Б., Ибрагимов, И. И., & Раджабов, М. К. (2022). Стабилизатор тока. Наука, техника и образование, (1 (84)), 38-42.
34. Файзиев, М. М., Ибрагимов, И. И., & Раджабов, М. Б. К. У. (2023). ОПТИМИЗАЦИЯ ПОКРЫТИЯ ГРАФИКИ НАГРУЗОК В СЕТЯХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ. Наука, техника и образование, (2 (90)), 27-31.
35. Гойибов, Т., Саъдуллаев, А., Умиров, А., & Ибрагимов, И. (2022). ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ КРАТКОСРОЧНЫХ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИМИ АЛГОРИТМАМИ. Innovatsion texnologiyalar, 47, 21-25.
36. Sherkhon Latipov, Iskandar Ibragimov, Olimjon Khamidjonov, Jianzhong Zhang, Asom Mamatkulov, Ilhom Karimov, Sardor Sayfiyev; Improvement of

algorithms for optimization of electrical energy systems under conditions of uncertainty of initial data using matrices. AIP Conf. Proc. 4 November 2025; 3331 (1): 040056. https://doi.org/10.1063/5.0305733

37. Файзиев Махманазар Мансурович, Абдурасулов Халил, & Ибрагимов Искандар Исроилович (2025). ОПТИМИЗАЦИЯ КРАТКОСРОЧНЫХ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ. Наука, техника и образование, (2 (98)), 17-21.

38. Файзиев Махманазар Мансурович, Ибрагимов Искандар Исроилович, & Тошниёзов Азизбек Нодирбек Угли (2024). УРАВНЕНИЙ ПРИВЕДЕНИЕМ К ОТНОСИТЕЛЬНЫМ ЕДИНИЦАМ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ЦЕПИ ДЛЯ РЕЖИМОВ СТАБИЛИЗАЦИИ. Наука, техника и образование, (4 (96)), 9-13.

39. Файзиев Махманазар Мансурович, Ибрагимов Искандар Исроилович, & Бозоров Ислом Рузиевич (2023). ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММ-СИМУЛЯТОРОВ ДЛЯ РАСЧЕТА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ. Наука, техника и образование, (4 (92)), 15-20.

40. Fayziyev M.M., M., Ibragimov I.I., I., & Radjabov M.K., R. M. (2022). QUVVATI 200 W BO‘LGAN QUYOSH (PV) MODULINI “MATLAB SIMULINK” DASTURIDA MODELLASHTIRISH. Muqobil Energetika, 1(04), 52–56. Retrieved from https://ojs.qmii.uz/index.php/ae/article/view/311

41. Файзиев Махманазар Мансурович, Ибрагимов Искандар Исроилович, & Раджабов Мухаммад Бобур Карим Угли (2022). ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ ЗА СЧЁТ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ. Наука, техника и образование, (5 (88)), 56-60.

42. Imomnazarov, A. B., Norboyev, A. E., & Ibragimov, I. I. (2025). ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТРИЦ ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.

43. Imomnazarov, Azizbek Botirovich, Anvar Eshmuminovich Norboyev, and Iskandar Isroilovich Ibragimov. "ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТРИЦ ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ." (2025).

ISSN 3030-3907

УДК 666.94: 691.5

ВЛИЯНИЕ МЕХАНОАКТИВИРОВАННОГО ГРАНОДИОРИТА КАРАТАУСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ЦЕМЕНТОВ

Л.Б. Кабулова
Нукусский государственный педагогический институт
Г.Ж. Оразимбетова
Андижанский государственный технический институт
Темирбаева Ж.М.
Нукусский государственный технический университет

Аннотация. В статье представлены результаты исследования физико-механических свойств композиционных портландцементов с добавкой механоактивированного гранодиорита Каратауского месторождения (Республика Каракалпакстан, Узбекистан). Определены прочность на сжатие и изгиб, нормальная густота, сроки схватывания для составов с содержанием добавки 10, 20, 30 и 40 %. Установлено, что оптимальная дозировка составляет 10 %, обеспечивая прочность на сжатие 53,8 МПа. При 20 % добавки достигается класс 42,5 с экономией клинкера 20 %. Дозировки 30-40 % пригодны для экологичных бетонов с пониженным тепловыделением. Проведено сравнение механической активации гранодиорита с термической активацией. Показаны преимущества механической активации: энергозатраты 30-50 кВт·ч/т против 500-800 кВт·ч/т, минимальная экологическая нагрузка, полное сохранение природного состава.

Ключевые слова: гранодиорит, механоактивация, композиционный цемент, прочность на сжатие, класс прочности, энергоэффективность.

Annotatsiya. Maqolada Karatau konidagi mexanoaktivlangan granodiorit qo‘shilgan (10, 20, 30 va 40 %) kompozitsion portlandtsementlarning fizik-mexanik xususiyatlari bo‘yicha tadqiqot natijalari keltirilgan. 10 % li optimal doza 53,8 MPa bosim kuchini (GOST 31108-2020 bo‘yicha 52,5 sinf) ta’minlashi aniqlangan. 20 % qo‘shilganda 44,1 MPa (42,5 sinf) ga erishiladi va klinker 20 % tejaladi. 30-40 % dozalar (34,2-36,3 MPa, 32,5 sinf) issiqlik ajralishi past bo‘lgan ekologik betonlar uchun mos keladi. Mexanik aktivatsiya (30-50 kVt·soat/t) termik aktivatsiyaga (500-800 kVt·soat/t) nisbatan energiya samaradorligi va ekologik xavfsizligi bo‘yicha afzalliklarga ega.

Kalit so‘zlar: granodiorit, mexanoaktivlanish, kompozitsion tsement, bosim kuchi, mustahkamlik sinfi, energiya samaradorligi.

Abstract. The article presents the results of a study of the physical and mechanical properties of blended Portland cements with the addition of mechanochemically

activated granodiorite from the Karatau deposit (Republic of Karakalpakstan, Uzbekistan). Compressive and flexural strength, normal consistency, and setting times were determined for compositions containing 10, 20, 30, and 40 % of the additive. The optimal dosage of 10 % provides a compressive strength of 53.8 MPa. At 20 % addition, a strength of 44.1 MPa is achieved with 20 % clinker saving. Dosages of 30-40 % are suitable for eco-friendly concretes with reduced heat generation. A comparison of mechanical and thermal activation of granodiorite is carried out. The advantages of mechanical activation (30-50 kWh/t vs 500-800 kWh/t) in terms of energy consumption and environmental safety are shown.

Keywords: granodiorite, mechanochemical activation, blended cement, compressive strength, strength class, energy efficiency.

1. ВВЕДЕНИЕ.

Снижение клинкерного фактора за счёт частичной замены клинкера активными минеральными добавками является одним из основных способов уменьшения углеродного следа цементной промышленности. Гранодиорит (кислая магматическая порода, SiO_2 = 68,4 %) рассматривается как перспективная добавка [1, 2].

Исходный гранодиорит имеет низкую реакционную способность из-за высокой кристалличности α-кварца и полевых шпатов. Для повышения его активности требуется предварительная активация механическая или термическая.

Целью настоящего исследования являлось определение оптимальной дозировки механоактивированного гранодиорита Каратауского месторождения по прочностным и технологическим характеристикам композиционных цементов, а также проведение сравнительной оценки эффективности механической активации в планетарной шаровой мельнице и термической активации как способов повышения пуццолановой активности материала.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.

Объектом исследования являлся природный гранодиорит Каратауского месторождения (Республика Каракалпакстан, Узбекистан). Химический состав материала (табл. 1) определяли комбинацией рентгенофлуоресцентного анализа (XRF) и классических химических методов.

ISSN 3030-3907

Таблица 1.

Химический состав гранодиорита Каратауского месторождения (масс. %)

SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	MgO	SO_3	R_2O	ППП	Сумма
68,4	15,3	4,79	3,42	0,9	0,34	3,52	4,0	99,8

*Примечание – R_2O рассчитано как сумма K_2O, Na_2O, TiO_2, P_2O_5, Cl, SrO, BaO (в пересчёте на оксиды). ППП — потери при прокаливании при 1000°C.

Химический состав гранодиорита (табл. 1) определяли по ГОСТ 5382-2019 «Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа» [4]. Соответствие гранодиорита требованиям, предъявляемым к активным минеральным добавкам, оценивали согласно Oz DSt 336:2024 «Добавки для цементов. Активные минеральные добавки и добавки-наполнители. Технические условия» [8]. Практическое отсутствие Na_2O (0,03 %) и MgO исключает риск развития щелочно-силикатной реакции.

Механоактивацию гранодиорита проводили совместным помолом с портландцементным клинкером и гипсом (5 % от массы клинкера) в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности 450-550 $м^2/кг$ (исходная удельная поверхность гранодиорита составляла 220-280 $м^2/кг$).

Исследованы составы с содержанием механоактивированного гранодиорита 10, 20, 30 и 40 % (образцы П-4, П-3, П-2, П-1 соответственно). Контрольный состав – 95 % клинкера + 5 % гипса.

Физико-механические испытания выполнены по ГОСТ 30744-2001 (метод с полифракционным песком). Классификация цементов по прочности проведена в соответствии с ГОСТ 31108-2020 [6]. Определяли нормальную густоту цементного теста (%), сроки начала схватывания (мин), прочность на изгиб и сжатие в возрасте 28 суток (МПа).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.

Нормальная густота и сроки схватывания. Введение механоактивированного гранодиорита в количестве от 10 до 40 % приводит к незначительному увеличению нормальной густоты цементного теста – с 25,6 % (при 10 % добавки) до 27,6 % (при 40 % добавки) (табл. 3). Это связано с ростом доли высокодисперсного материала, требующего большего количества воды для смачивания поверхности частиц.

ISSN 3030-3907

Таблица 3.

Технологические свойства композиционных цементов

Образец	Гранодиорит, %	Нормальная густота, %	Начало схватывания, мин
образец №1	10	25,6	84
образец №2	20	25,8	60
образец №3	30	26,6	73
образец №4	40	27,6	90

Сроки начала схватывания находятся в пределах 60-90 мин и полностью соответствуют требованиям ГОСТ 31108-2020 (не ранее 45 мин) [6]. Отсутствие чёткой зависимости между дозировкой и временем схватывания объясняется конкуренцией двух процессов: пуццолановая реакция ускоряет структурообразование, а разбавление клинкера несколько замедляет начальную гидратацию.

Прочностные характеристики. Влияние дозировки механоактивированного гранодиорита на прочность цементного камня в возрасте 28 суток представлено в табл. 4.

Таблица 4.

Физико-механические свойства композиционных цементов

Образец	Гранодиорит, %	Прочность при изгибе/сжатии, МПа (28 сут)		Класс по ГОСТ 31108-2020
		$R_{изг}$	$R_{сж}$	
Контроль	0	-	48,5	42,5
образец №1	10	7,1	53,8	52,5
образец №2	20	6,8	44,1	42,5
образец №3	30	5,6	36,3	32,5
образец №4	40	6,0	34,2	32,5

Оптимальной является дозировка 10 % (образец №1): прочность на сжатие достигает 53,8 МПа (класс 52,5), прочность на изгиб – 7,1 МПа. При увеличении содержания добавки до 20 % прочность на сжатие снижается до 44,1 МПа (класс 42,5), что на 18 % ниже оптимального значения, однако остаётся выше нормативного минимума. Дальнейшее повышение дозировки до 30-40 % приводит к снижению прочности на сжатие до 34,2-36,3 МПа

ISSN 3030-3907

(класс 32,5). При этом прочность на изгиб стабилизируется на уровне 5,6-6,8 МПа, что указывает на сохранение когезионных свойств цементного камня даже при высоком замещении клинкера.

По критерию «прочность – экономия клинкера – экологичность» рекомендованы следующие дозировки механоактивированного гранодиорита:

- 10 % - класс 52,5 (53,8 МПа). Рекомендуется для ответственных конструкций (мосты, высотные здания, гидротехнические сооружения).

- 20 % - класс 42,5 (44,1 МПа). Применяется для рядового бетона (фундаменты, стены, перекрытия). Обеспечивает экономию клинкера до 20 %.

- 30-40 % - класс 32,5 (34,2-36,3 МПа). Целесообразно использовать в массивных конструкциях (плотины, фундаменты) и при производстве неответственных изделий (бордюрный камень, тротуарная плитка). Такие составы характеризуются пониженным тепловыделением и высокой экологичностью.

Сравнение механической и термической активации. Для повышения пуццолановой активности гранодиорита могут применяться два основных метода: механическая активация (совместный помол) и термическая активация (обжиг при 700-900 °С). Сравнительный анализ приведён в табл. 5.

Таблица 5.

Сравнительная характеристика методов активации гранодиорита

Параметр	**Механическая активация**	**Термическая активация (700-900 °С)**
Температура процесса, °С	20-70 (саморазогрев)	700-900
Энергозатраты, кВт·ч/т	30-50	500-800
Экологическая нагрузка	Минимальная (нет выбросов)	Высокая (CO_2, NO_x, пыль)
Сохранение природного состава	Полностью сохраняется	Частичное
Удельная поверхность, $м^2/кг$	450-550	300-450

Таким образом, механическая активация является значительно более энергоэффективной (в 10-15 раз ниже энергозатраты), экологически предпочтительной и технологически простой альтернативой термической

ISSN 3030-3907

активации, обеспечивая при этом более высокую пуццолановую активность и полное сохранение природного минерального состава гранодиорита.

4. ВЫВОДЫ.

В результате проведённых исследований установлено следующее:

1. Оптимальной дозировкой механоактивированного гранодиорита Каратауского месторождения является 10 %. При данной дозировке достигается максимальная прочность на сжатие 53,8 МПа, что соответствует классу 52,5 по ГОСТу [6].

2. При увеличении содержания добавки до 20 % прочность на сжатие составляет 44,1 МПа (класс 42,5), что обеспечивает экономию клинкера на 20 % при сохранении высоких эксплуатационных характеристик. Дальнейшее повышение дозировки до 30-40 % приводит к снижению прочности до 34,2-36,3 МПа (класс 32,5). Такие составы рекомендуются для массивных конструкций и производства неответственных бетонных изделий [6].

3. С увеличением содержания механоактивированного гранодиорита от 10 % до 40 % нормальная густота цементного теста возрастает с 25,6 % до 27,6 %. Сроки начала схватывания (60-90 мин) полностью соответствуют требованиям ГОСТ 31108-2020 (не ранее 45 мин) [6].

4. Механическая активация гранодиорита характеризуется существенно меньшими энергозатратами (30-50 кВт·ч/т) по сравнению с термической активацией (500-800 кВт·ч/т), а также более низкой экологической нагрузкой и полным сохранением природного минерального состава.

Полученные данные подтверждают возможность эффективного использования механоактивированного гранодиорита Каратауского месторождения в качестве активной пуццолановой добавки для производства композиционных цементов различных классов прочности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Scrivener K.L., John V.M., Gartner E.M.* Eco-efficient cements // Cement and Concrete Research. 2018. Vol. 114. P. 2-26. DOI: 10.1016/j.cemconres.2018.03.015.

2. *Fathy I.N., El-Sayed M.A., Hassan M.S., et al.* Recycling of Waste Granodiorite Powder as a Partial Cement Replacement for Enhanced Mechanical Properties of Concrete // Advances in Materials Science. 2024. Vol. 24, No. 3. P. 56-88. DOI: 10.2478/adms-2024-0017.

3. *Mahmoud A.A., Abdelrahman H.A., El-Gammal M.I., et al.* Influence of Elevated Temperature on the Properties of Granodiorite-Based Geopolymer

ISSN 3030-3907

Concrete // Scientific Reports. 2025. Vol. 15, Article number: 3572. DOI: 10.1038/s41598-024-85043-2.
4. ГОСТ 5382-2019. Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа. — М.: Стандартинформ, 2019.
5. ГОСТ 30744-2001. Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка. — М.: Издательство стандартов, 2001.
6. ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия. — М.: Стандартинформ, 2020.
7. ГОСТ 25094-2015. Добавки активные минеральные для цементов. Методы испытаний. — М.: Стандартинформ, 2019.
8. O‘z DSt 336:2024. Добавки для цементов. Активные минеральные добавки и добавки-наполнители. Технические условия. — Ташкент: Узстандарт, 2024.

УДК 550.834:004.8

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ: ОБЗОР И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОФИЗИКЕ

Краснощекова Анастасия Юрьевна
Студентка 4-ого курса направления «Сейсморазведка» Филиал РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина в г. Ташкенте
ORCID: 0009-0001-4253-6204

Аннотация. В статье рассмотрены современные подходы к применению методов машинного обучения при интерпретации карбонатных коллекторов в нефтегазовой геофизике. Выполнен обзор особенностей карбонатных разрезов, осложняющих их изучение традиционными методами, включая литологическую неоднородность, вторичную пористость, трещиноватость и сложный характер распределения фильтрационно-емкостных свойств. Проведен анализ существующих алгоритмов машинного обучения, применяемых для прогнозирования пористости, классификации литотипов, выделения перспективных интервалов и комплексной интерпретации геофизических и сейсмических данных. Рассмотрены перспективы внедрения интеллектуальных методов в практику нефтегазовой геофизики.

Ключевые слова: машинное обучение, карбонатные коллекторы, нефтегазовая геофизика, интерпретация, сейсморазведка, пористость, нейронные сети, геофизические исследования скважин.

Abstract. This paper reviews modern approaches to the application of machine learning methods for carbonate reservoir interpretation in petroleum geophysics. The specific characteristics of carbonate formations complicating traditional interpretation methods are considered, including lithological heterogeneity, secondary porosity, fracturing, and complex distribution of reservoir properties. Existing machine learning algorithms used for porosity prediction, lithotype classification, identification of prospective intervals, and integrated interpretation of well logging and seismic data are analyzed. Prospects for implementing intelligent methods in petroleum geophysics are discussed.

Keywords: machine learning, carbonate reservoirs, petroleum geophysics, interpretation, seismic exploration, porosity, neural networks.

Annotatsiya. Maqolada neft-gaz geofizikasida karbonat kollektorlarini talqin qilishda mashinaviy o‘qitish usullaridan foydalanishning zamonaviy yondashuvlari ko‘rib chiqilgan. Karbonat kesimlarini an’anaviy usullar bilan o‘rganishni murakkablashtiruvchi omillar, jumladan litologik notekislik, ikkilamchi g‘ovaklik, yoriqlilik va filtratsion-sig‘im xossalarining murakkab taqsimlanishi tahlil qilingan. G‘ovaklikni prognozlash, litotiplarni tasniflash,

ISSN 3030-3907

istiqbolli intervallarni aniqlash va geofizik hamda seysmik ma’lumotlarni kompleks talqin qilishda qo‘llaniladigan mashinaviy o‘qitish algoritmlari ko‘rib chiqilgan.

Kalit so‘zlar: mashinaviy o‘qitish, karbonat kollektorlar, geofizika, seysmik qidiruv, g‘ovaklik, neyron tarmoqlar.

ВВЕДЕНИЕ.

Современный этап развития нефтегазовой отрасли характеризуется постепенным усложнением объектов поисков и разведки углеводородов. Значительная часть перспективных запасов нефти и газа связана с карбонатными резервуарами, в частности нефтегазоносные регионы Узбекистана. В отличие от терригенных объектов, карбонатные породы обладают сложным внутренним строением, высокой неоднородностью и значительным влиянием постседиментационных процессов.

Карбонатные коллекторы характеризуются развитием вторичной пористости, трещиноватости, кавернозности, анизотропностью и изменчивостью литологических свойств. Эти особенности существенно усложняют интерпретацию данных геофизических исследований скважин и сейсморазведки.

В последние годы методы машинного обучения активно внедряются в нефтегазовую отрасль. Они позволяют выявлять сложные нелинейные зависимости между геофизическими параметрами и свойствами пород, что делает их перспективным инструментом при изучении карбонатных разрезов.

Цель работы является обзор современных методов машинного обучения, применяемых при интерпретации карбонатных коллекторов, а также анализ перспектив их применения в нефтегазовой геофизике.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ.

Анализ современных публикаций показывает, что использование методов машинного обучения в нефтегазовой геофизике является одним из наиболее активно развивающихся направлений. В научных исследованиях рассматриваются задачи прогнозирования пористости, определения литотипов, выделения коллекторов и прогнозирования фильтрационно-емкостных свойств.

Ряд исследований демонстрирует успешное применение искусственных нейронных сетей для оценки пористости на основе данных ГИС. Другие авторы используют алгоритмы Random Forest, Support Vector Machine и методы глубокого обучения для классификации пород и интерпретации сейсмических данных.

ISSN 3030-3907

Отдельное внимание уделяется интеграции скважинной информации и сейсмических атрибутов. Комбинированный подход позволяет повысить достоверность прогнозов и снизить геологические риски.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Настоящая работа носит обзорный характер и основана на анализе отечественных и зарубежных научных публикаций, посвященных применению методов машинного обучения в задачах нефтегазовой геофизики.

В процессе исследования были рассмотрены научные статьи, материалы конференций и публикации, посвященные интерпретации карбонатных коллекторов. Выполнено сравнение подходов, применяемых различными исследователями, а также проанализированы основные алгоритмы машинного обучения.

Основное внимание уделялось следующим направлениям:

– прогнозирование пористости;
– литологическая классификация;
– выделение коллекторов;
– интеграция данных ГИС и сейсморазведки.

В качестве демонстрации был рассмотрен учебный набор данных по месторождению Маркова. Данные ГИС были получены по пяти скважинам. Данные содержали набор следующего типа: GR, RHOB, DTp, TNPH, а целевым параметром выступала пористость (Кп). Сложности интерпретации для данного набора данных заключаются в том, что было мало скважин для изучения, неодинаковые интервалы целевого горизонта по скважинам, широкая вариация Кп по разным скважинам, как следствие слабая связь между амлитудой и пористостью и низкий коэффициент корреляции.

АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ.

Анализ литературных источников показывает, что эффективность традиционных методов интерпретации карбонатных резервуаров ограничивается сложностью их строения. В карбонатных объектах наблюдаются существенные нелинейные связи между петрофизическими параметрами и геофизическими характеристиками.

Одним из наиболее распространенных направлений является применение алгоритмов машинного обучения для прогнозирования пористости. В качестве входных параметров обычно используются данные геофизических исследований скважин: гамма-каротаж, плотностной каротаж, нейтронный каротаж, акустические методы и другие.

ISSN 3030-3907

Использование алгоритмов Random Forest позволяет учитывать нелинейные зависимости между параметрами. Алгоритм представляет собой ансамбль большого количества деревьев решений, каждое из которых строится на случайной выборке исходных данных. Итоговый результат определяется усреднением результатов отдельных деревьев.

На первом этапе выполняется предварительная обработка данных, включающая удаление пропусков, нормализацию и анализ аномальных значений. Особое внимание уделяется значениям TNPH. В карбонатных разрезах отрицательные значения нейтронной пористости могут возникать вследствие особенностей литологии, влияния плотных пород или погрешностей измерений и требуют дополнительного анализа.

После подготовки данных выполняется обучение модели Random Forest. Алгоритм строит множество деревьев решений, каждое из которых использует случайную комбинацию признаков. За счет ансамблевого подхода достигается снижение риска переобучения и повышение устойчивости модели.

Для оценки результатов могут использоваться коэффициент детерминации R^2 и среднеквадратическая ошибка RMSE.

Использование метода Random Forest позволяет учитывать сложные взаимосвязи между каротажными параметрами и прогнозируемыми свойствами пород, что особенно важно для неоднородных карбонатных коллекторов.

Преимущество Random Forest заключается в возможности выявления сложных нелинейных зависимостей между входными параметрами и целевыми характеристиками пласта. Для карбонатных резервуаров данный аспект особенно важен, поскольку взаимосвязь между геофизическими параметрами и коллекторскими свойствами часто не подчиняется линейным закономерностям.

Нейронные сети демонстрируют высокую точность при работе с большими объемами данных. Методы глубокого обучения успешно применяются при интерпретации сейсмических изображений и автоматическом выделении геологических объектов.

Также перспективным направлением является комплексирование данных сейсморазведки и ГИС. Интеграция сейсмических атрибутов и скважинных параметров позволяет повысить точность прогнозирования коллекторских свойств.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ.

Карбонатные коллекторы являются сложными объектами исследования вследствие высокой неоднородности строения.

ISSN 3030-3907

Традиционные методы интерпретации обладают ограничениями при изучении карбонатных разрезов. Методы машинного обучения позволяют выявлять сложные зависимости между геофизическими параметрами и коллекторскими свойствами. Наиболее перспективным направлением является комплексное использование ГИС, сейсморазведки и интеллектуальных алгоритмов. В перспективе внедрение методов машинного обучения на этапе интерпретации может повысить эффективность геологоразведочных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добрынин В.М. Петрофизика. – М.: Недра, 1991.
2. Киркинская В.Н, Смехов Е.М. Карбонатные породы – коллекторы нефти и газа. – Л.: Недра, 1981. - 255с.
3. Эллис Д., Сингер Дж. Геофизические исследования скважин для специалистов по наукам о Земле / D. Ellis, J. Singer. – Нью-Йорк: Springer Science+Business Media B.V., 2008. – 699 с.
4. Серра О. Основы интерпретации данных геофизических исследований скважин / O. Serra. – Париж, 1984. – 424 с.
5. Исах А., Тарик З., Мустафа А. и др. Обзор применения методов машинного обучения, основанных на данных, в петрофизике резервуаров // Arabian Journal for Science and Engineering. – 2025. – Т. 50. – С. 20343–20377.
6. Хэмпсон Д.П., Шульке Дж.С., Куайрин Дж.А. Использование многоатрибутных преобразований для прогнозирования свойств каротажных диаграмм по сейсмическим данным // Geophysics. – 2001. – Т. 66. – № 1. – С. 220–236.
7. Бишоп К. Распознавание образов и машинное обучение / C. Bishop. – Нью-Йорк: Springer, 2006. – 738 с.
8. Гудфеллоу И., Бенджио Й., Курвилль А. Глубокое обучение / I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. – Кембридж: MIT Press, 2016. – 800 с.

ISSN 3030-3907

UZBEKISTAN'S DEMOGRAPHIC BONUS AT A CROSSROADS: EMPLOYMENT ABSORPTION, GENDER GAPS, FISCAL AND PENSION REFORMS

Azamat Sulaymonov
Bukhara State Technical University

Abstract. This study examines the changing demographic structure of Uzbekistan and its implications for economic growth, labor markets, pension sustainability, and fiscal policy during 2010–2024. Drawing on demographic dividend theory and aging economics, the paper evaluates whether Uzbekistan is approaching the end of its first demographic dividend and how institutional reforms can extend growth benefits while preparing for future aging pressures. Using official national statistics, the study calculates and analyzes the old-age dependency ratio (OADR), total dependency ratio (TDR), support ratio (SR), fiscal support ratio (FSR), beneficiaries-to-contributor ratio (BCR), employment absorption ratio, female labor force participation gap, youth unemployment trends, and pension burden relative to both GDP and state budget revenues. Forecasting methods and scenario analysis are employed to project demographic and fiscal pressures through 2040 under alternative retirement-age and labor-market reform scenarios. Findings indicate that Uzbekistan's working-age population advantage is gradually narrowing, while pension obligations and old-age dependency are expected to rise substantially after 2030. The results suggest that delayed pension and labor-market reforms may increase fiscal pressure on future taxpayers. The study argues that increasing labor absorption, reducing gender employment gaps, and gradually reforming retirement policy are critical for extending Uzbekistan's demographic dividend and maintaining long-term fiscal sustainability.

Keywords: Demographic dividend; Population aging; Pension reform; Fiscal sustainability; Old-age dependency ratio; Labor market; Uzbekistan; Demographic transition; Fiscal support ratio; Retirement age policy.

Аннотация. В данном исследовании анализируются изменения демографической структуры Узбекистана и их влияние на экономический рост, рынок труда, устойчивость пенсионной системы и фискальную политику в 2010–2024 годах. Опираясь на теорию демографического дивиденда и экономику старения населения, работа оценивает, приближается ли Узбекистан к завершению первого демографического дивиденда и каким образом институциональные реформы могут продлить экономические преимущества и одновременно подготовить страну к будущему росту демографической нагрузки. На основе официальной национальной статистики в исследовании рассчитываются и анализируются коэффициент демографической нагрузки пожилыми (OADR), общий

ISSN 3030-3907

коэффициент демографической нагрузки (TDR), коэффициент поддержки (SR), фискальный коэффициент поддержки (FSR), соотношение получателей пособий и налогоплательщиков (BCR), коэффициент поглощения занятости, гендерный разрыв в участии в рабочей силе, молодежная безработица, а также пенсионная нагрузка по отношению к ВВП и доходам государственного бюджета. Для прогнозирования демографических и фискальных тенденций до 2040 года применяются методы прогнозирования и сценарного анализа. Результаты показывают постепенное сокращение демографического преимущества трудоспособного населения Узбекистана и ожидаемый рост пенсионных обязательств и нагрузки старения после 2030 года. Исследование приходит к выводу, что отсрочка пенсионных и трудовых реформ может усилить налоговую нагрузку на будущих работников. Повышение занятости, сокращение гендерного разрыва и постепенная реформа пенсионного возраста рассматриваются как ключевые условия продления демографического дивиденда и обеспечения долгосрочной фискальной устойчивости.

Ключевые слова: Демографический дивиденд; Старение населения; Пенсионная реформа; Фискальная устойчивость; Коэффициент демографической нагрузки пожилыми; Рынок труда; Узбекистан; Демографический переход; Фискальный коэффициент поддержки; Пенсионный возраст.

Annotatsiya. Mazkur tadqiqotda O‘zbekistonning 2010–2024-yillardagi demografik tarkibidagi o‘zgarishlar hamda ularning iqtisodiy o‘sish, mehnat bozori, pensiya tizimi barqarorligi va fiskal siyosatga ta’siri tahlil qilinadi. Demografik dividend nazariyasi va aholi qarishi iqtisodiyoti yondashuvlariga asoslanib, tadqiqot O‘zbekiston birinchi demografik dividend bosqichining yakuniga yaqinlashayotganligini va institutsional islohotlar ushbu iqtisodiy imkoniyatlarni qanday uzaytirishi mumkinligini baholaydi. Rasmiy milliy statistika ma’lumotlari asosida keksalar demografik yuklama koeffitsienti (OADR), umumiy demografik yuklama koeffitsienti (TDR), qo‘llab-quvvatlash koeffitsienti (SR), fiskal qo‘llab-quvvatlash koeffitsienti (FSR), nafaqa oluvchilar va soliq to‘lovchilar nisbati (BCR), bandlikni singdirish koeffitsienti, ayollar mehnat faolligi tafovuti, yoshlar ishsizligi hamda pensiya yukining YAIM va davlat budjeti daromadlariga nisbati hisoblandi va tahlil qilindi. Prognozlash va ssenariy tahlili usullari orqali 2040-yilgacha bo‘lgan demografik va fiskal bosimlar baholandi. Natijalar O‘zbekistonda mehnat yoshidagi aholi ulushining ustunligi asta-sekin qisqarayotganini, 2030-yildan keyin esa pensiya majburiyatlari va qarilik yuklamasi sezilarli oshishini ko‘rsatadi. Tadqiqot

ISSN 3030-3907

pensiya va mehnat bozori islohotlarini kechiktirish kelajakdagi soliq to‘lovchilarga bosimni kuchaytirishini ta’kidlaydi. Bandlikni oshirish, gender tafovutlarini qisqartirish va pensiya yoshini bosqichma-bosqich isloh qilish O‘zbekistonning demografik dividendini uzaytirish hamda uzoq muddatli fiskal barqarorlikni ta’minlashning muhim omillari sifatida asoslab beriladi.

Kalit so‘zlar: Demografik dividend; Aholi qarishi; Pensiya islohoti; Fiskal barqarorlik; Qarilik demografik yuklama koeffitsienti; Mehnat bozori; O‘zbekiston; Demografik o‘tish; Fiskal qo‘llab-quvvatlash koeffitsienti; Pensiya yoshi siyosati.

1. INTRODUCTION.

As of July 2025, Uzbekistan’s population surpassed 38 million, with 56 percent in working age (15–64 years). This creates a window of opportunity known as the “demographic bonus.” If properly harnessed, this demographic structure can fuel rapid economic growth, strengthen human capital, and improve fiscal stability.

Yet, the demographic bonus is not permanent. Uzbekistan’s working-age share peaked around 2010 and is slowly declining, while the old-age dependency ratio (OADR) is projected to double by ~2041, threatening pension and healthcare systems. At the same time, youth unemployment remains high (18.3% in 2022 vs. 7.3% adults) and female labor force participation lags men by 28 percentage points. Unless addressed, these leakages risk wasting the dividend.

Research questions:

How long will Uzbekistan’s demographic bonus last?

What reforms are required to maximize its growth potential before aging pressures intensify?

Which reforms (youth jobs, female LFPR, pension age) extend the window?

Which regions of Uzbekistan will age faster — and how should policy be differentiated?

2. LITERATURE REVIEW.

The relationship between demographic structure and economic growth has been widely studied in development economics. A large body of research shows that shifts in population age composition can create both opportunities and risks for long-term development.

Global evidence. Bloom, Canning, and Malaney (2000) introduced the concept of the **demographic dividend**, highlighting how a rising share of working-age individuals can spur growth through higher labor supply, increased savings, and investment in human capital. Mason and Lee (2011) distinguished between the **first dividend**—growth from a favorable age structure—and the **second dividend**, which depends on savings and productivity as populations age.

ISSN 3030-3907

Cross-country evidence shows the dividend is **not automatic**; its realization depends on sound education, health, labor, and governance policies.

Country experiences.

- **Prepared countries:** East Asia (South Korea, Singapore) anticipated aging early. They raised retirement ages, expanded pension coverage, and invested in higher productivity. This helped maintain growth even as OADR rose (Lee & Mason, 2017).
- **Unprepared countries:** Latin America (Brazil) experienced rising old-age dependency without pension reform. Fiscal pressure mounted, with pension spending exceeding 10% of GDP by the 2010s (IMF, 2019). This reduced fiscal space for education and infrastructure, limiting long-run growth.

→ Lesson: **timely preparation avoids fiscal crises; delay leads to slower growth and debt pressures.**

Central Asia and Uzbekistan. The region faces rapid demographic transformation with large youth cohorts entering the labor market (IMF, 2023). For Uzbekistan, official statistics show the working-age share peaked in 2010, while dependency ratios are now rising. The World Bank (2022) highlights severe gender gaps: female LFPR is 28 points below men, female youth unemployment 15.5% vs 10% for males, and NEET rates for young women reach 42%. This means youth underemployment and gender exclusion are the primary leakages of the dividend.

Pension and aging studies. Chawla et al. (2007) and IMF regional analyses show that failing to anticipate the rise in OADR leads to unsustainable pension burdens. For Uzbekistan, projections suggest OADR will **double by 2040–41**, making early reforms to pension age and contributions critical.

Summary. Uzbekistan is at a crossroads: its demographic dividend is narrowing, but with timely reforms in **youth employment, female participation, and pension sustainability**, the country can still leverage it for long-term growth. Without these, the dividend will be lost and aging pressures will dominate.

3. THEORETICAL FRAMEWORK.

This study applies the **demographic dividend framework** (Bloom, Canning, Malaney, 2000; Mason & Lee, 2011) to Uzbekistan's transition. The framework distinguishes two dividends:

1. **First Demographic Dividend**
   - Growth arises when a large share of the population is in working age, reducing dependency and freeing resources for investment.
   - In Uzbekistan, the first dividend **peaked around 2010**, but projections show that it remains **positive through the 2030s**.

ISSN 3030-3907

- Its continuation depends less on demography alone and more on **labor absorption**: youth employment, female labor force participation, and job creation in modern sectors.
- The project adds nuance by showing that the "dividend" is not uniform: regional differences, youth exclusion, and gender gaps determine who captures the benefits.

2. **Second Demographic Dividend**

- Growth during aging, when higher life expectancy induces households to save and invest in productivity.
- For Uzbekistan, the second dividend can only be realized if **pension reforms** (raising retirement age, diversifying financing) are introduced early, and if **human capital investment** (healthcare, reskilling older workers) supports longer working lives.
- Without reform, aging becomes a **burden** rather than a source of savings and productivity.

Update from Findings.

- Our retirement flow model shows that by **2028–30**, Uzbekistan must begin pension-age reforms to manage the transition into the second dividend.
- Scenario analysis demonstrates that labor-market inclusion (especially women and youth) directly **extends the first dividend**, delaying the rise in dependency ratios.
- Thus, the theoretical framework is adapted for Uzbekistan: the country is at the **end of its first dividend**, and its ability to generate a second dividend will depend on how effectively it reforms labor markets and pensions in the coming decade.

4. RESEARCH METHODS AND DATA.

Data sources:

- Stat.uz (2010–2024): population by age, employment, GDP, fertility, migration.
- IMF (2002–2030): unemployment rate.
- World Bank (2021–22): youth vs. adult unemployment, female LFPR gaps, gender wage gaps.

Core Indicators Calculated

1. **Old-Age Dependency Ratio (OADR)**

- Formula: (Population aged 65+ ÷ Population aged 15–64) × 100
- Meaning: how many elderly dependents per 100 working-age people.
- In Uzbekistan, OADR is still relatively low (~10 in 2024), but projected to **double by ~2040**, signaling when pension reforms become urgent.

2. **Total Dependency Ratio (TDR)**

- Formula: ((Population 0–14 + 65+) ÷ Population 15–64) × 100

ISSN 3030-3907

- Meaning: overall burden of dependents (young + old) on the working-age group.
- Uzbekistan's TDR has been **declining** thanks to fewer children per woman, creating the "demographic bonus." But after ~2025, the ratio begins rising again as aging accelerates.

3. **Employment Absorption Ratio**

- Formula: Employed population ÷ Working-age population × 100
- Meaning: how effectively the economy absorbs its labor supply.
- Uzbekistan's ratio fell from ~69% in 2010 to ~65% in 2024, showing that job creation has **not kept pace** with demographic momentum.

4. **Youth vs. Adult Unemployment Rates**

- Source: World Bank Human Capital Data Portal (Uzbekistan 2022: youth 18.3%, adults 7.3%).
- Meaning: gap shows underutilization of young workers. Youth joblessness remains **2–3× higher**, a major leakage of the demographic dividend.

5. **Female Labor Force Participation Rate (LFPR) Gap**

- Source: World Bank Country Gender Assessment (2021).
- Men–women LFPR gap = ~28 percentage points (vs. 19 ppt ECA average).
- Meaning: underemployment of women depresses growth. Closing this gap could raise GDP by up to **29%** and reduce social burden on male workers.

6. **Fertility Replacement Gap (TFR – 2.1)**

- Formula: (TFR – 2.1).
- Uzbekistan's TFR is ~3.2 (2022), so gap = +1.1.
- Meaning: still above replacement, ensuring continued labor force growth in the short run. But fertility has been **gradually declining**, and once below 2.1, the demographic bonus ends.

7. **GDP per Capita Growth (real)**

- Formula: GDP at constant prices ÷ Total population.
- Between 2010 and 2024, real GDP per capita **roughly doubled**.
- Meaning: shows that the demographic bonus has so far translated into higher living standards, but sustainability depends on labor absorption and productivity, not population growth alone.

METHODS.

1. **Econometric Analysis**

- **Specification:**GDP per capita growth=β0+β1·Employment absorption ratio+β2·Youth unemployment rate+β3·Female LFPR gap+ε\text{GDP per capita growth} = \beta_{0} + \beta_{1}\cdot \text{Employment absorption ratio} + \beta_{2}\cdot \text{Youth unemployment rate} + \beta_{3}\cdot \text{Female LFPR gap} + \varepsilonGDP per capita growth=β0+β1

ISSN 3030-3907

·Employment absorption ratio+β2·Youth unemployment rate+β3
·Female LFPR gap+ε

- **Purpose:** Estimate the impact of labor absorption, youth joblessness, and gender inclusion on economic growth.
- **Approach:** A time-series regression using annual data (2010–2024), where GDP per capita growth is the dependent variable. The independent variables are drawn from Stat.uz, IMF, and World Bank datasets. Coefficients (β\betaβ) show how much GDP growth changes when each factor shifts by one percentage point.

2. **Forecasting Analysis**

- **Model:** Holt–Winters exponential smoothing (triple smoothing for trend + seasonality).
- **Applications:**
  - **Fertility trend:** used to estimate when TFR will fall below replacement level (2.1).
  - **Old-age dependency ratio (OADR):** projected into the 2030s–2040s to identify the "tipping point" for pension reform.
  - **Working-age share:** projected to locate the peak year, after which the demographic bonus declines.
- **Purpose:** These forecasts provide timelines for policy urgency (e.g., when pension age must rise, when youth employment becomes critical).

3. **Scenario Analysis**

- **Baseline (status quo):** Assumes current fertility, youth unemployment, and LFPR gaps persist. This yields the reference trajectory for dependency ratios and beneficiaries per 100 employed.
- **Youth Employment Reform:** Simulates a 5-percentage point decline in youth unemployment, expanding the employed denominator in dependency ratios.
- **Gender Inclusion Reform:** Narrows the female LFPR gap from 28 ppt to the ECA average of 19 ppt. This is modeled as a +10% shock to employment absorption.
- **Combined Reforms:** Applies both shocks together, showing the strongest effect in lowering beneficiaries per 100 employed.
- **Purpose:** Scenario charts quantify how much pressure can be relieved from the pension system and contributors if youth and women are more fully integrated into the labor market.

5. PRELIMINARY FINDINGS.

1. **Demographic Window Closing**

- The working-age share of the population in Uzbekistan **peaked around 2010**, marking the high point of the demographic dividend.

ISSN 3030-3907

- While the dividend is narrowing, projections show it will remain **positive through the 2030s**, giving policymakers a limited window to act.

2. **Rising Old-Age Dependency (OADR)**

- The OADR is projected to **double by ~2041**, meaning the number of elderly dependents per 100 workers will significantly increase.
- Without reforms, the pensioner stock could exceed **6 million by 2035**, imposing unsustainable fiscal pressure.
- **Policy implication:** pension reforms (retirement age adjustment, financing diversification) must begin by **2028–2030** to stay ahead of the curve.

3. **Youth Employment Gap**

- The youth unemployment rate (**18.3%**) is more than double the adult unemployment rate (**7.3%**).
- This underutilization of young workers is a major leakage of the demographic dividend.
- Reducing youth unemployment by even 5 percentage points significantly improves the "beneficiaries per 100 employed" ratio.

4. **Female Labor Market Exclusion**

- The female labor force participation rate (LFPR) lags men by **28 percentage points**, compared to a **19 ppt gap** in Europe and Central Asia (ECA) peers.
- Closing this gap could raise national income by **up to 29%**, according to the World Bank (2022).
- Low participation among women directly magnifies the future pension burden, since fewer contributors must support a growing retiree population.

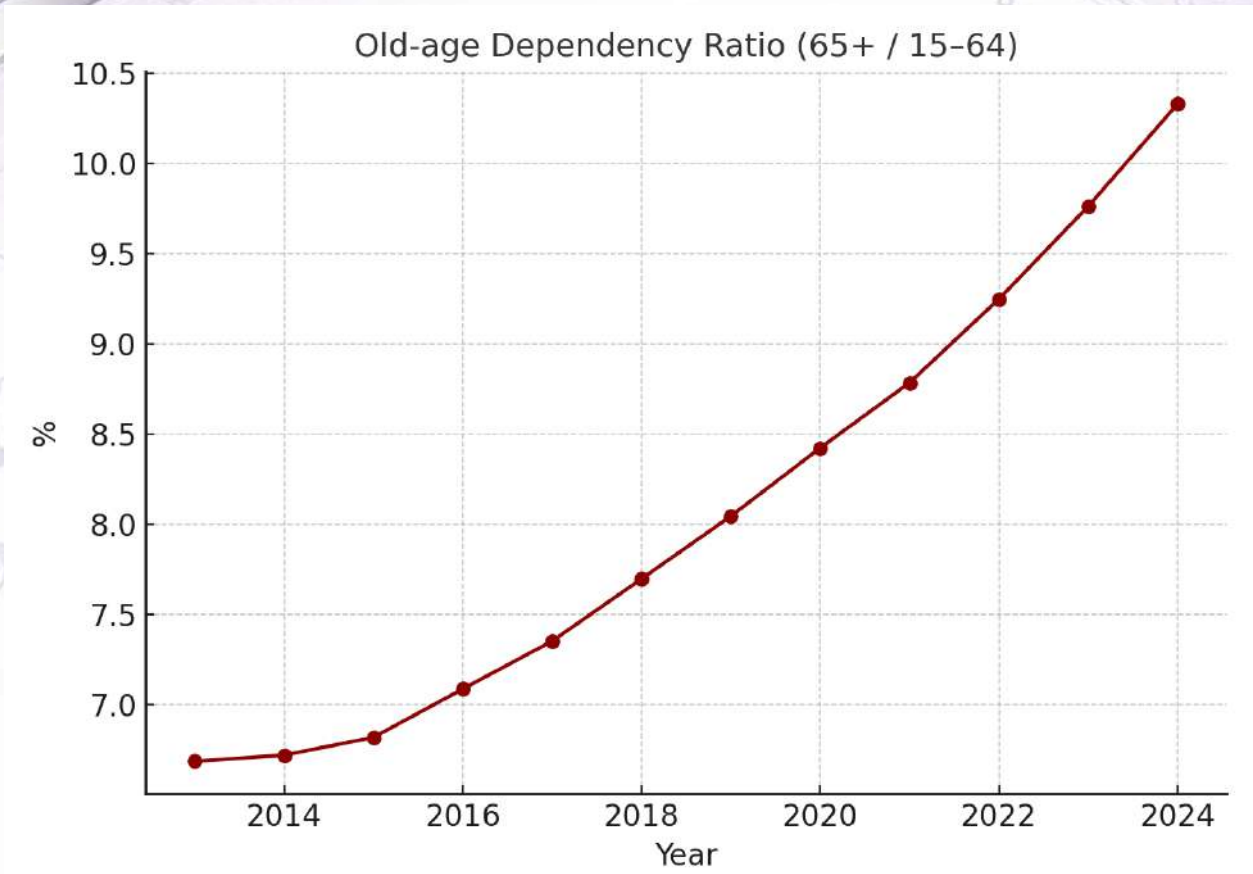
5. **Economic Growth Linkages**

- Real GDP per capita has roughly **doubled between 2010 and 2024**, showing that Uzbekistan has partially benefited from its demographic dividend.
- Econometric models confirm that **employment absorption, youth employment, and female participation** are decisive channels through which the demographic bonus translates into economic growth.

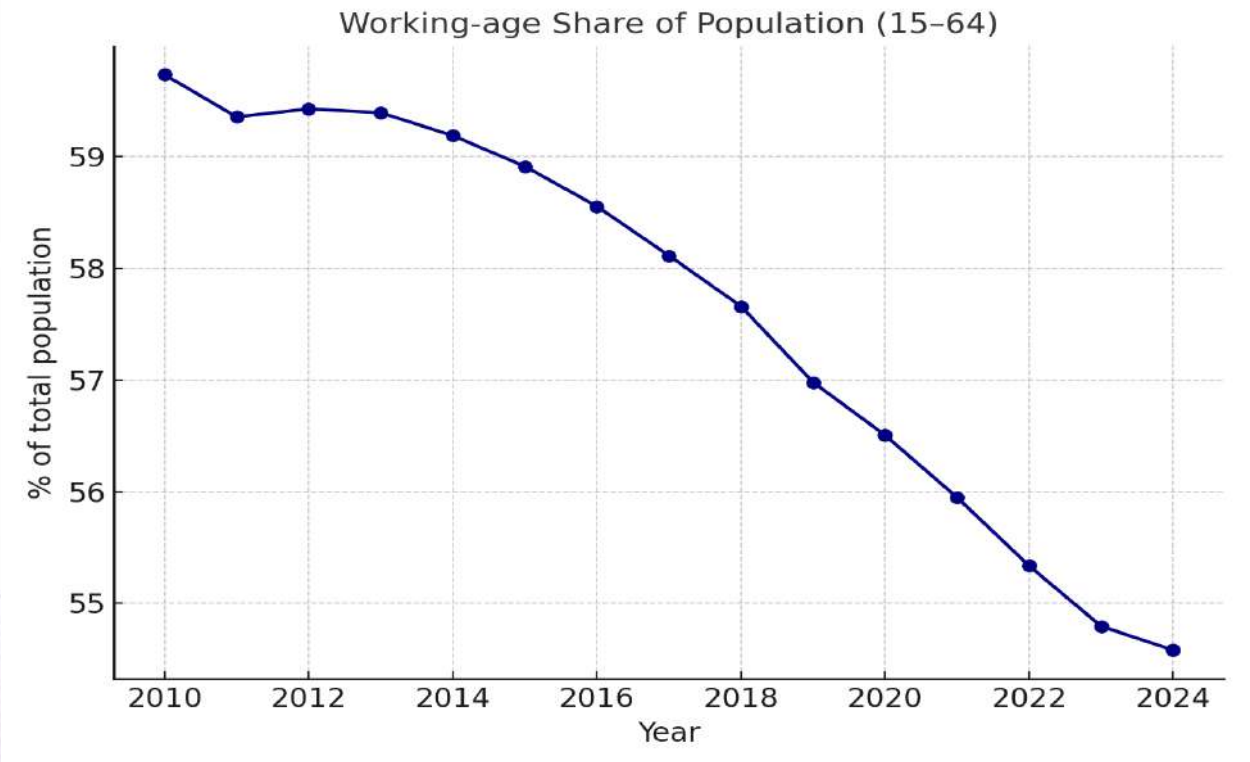
6. GRAPHICAL EVIDENCE.

1. **OADR forecast** (line chart): doubling by ~2041.

ISSN 3030-3907

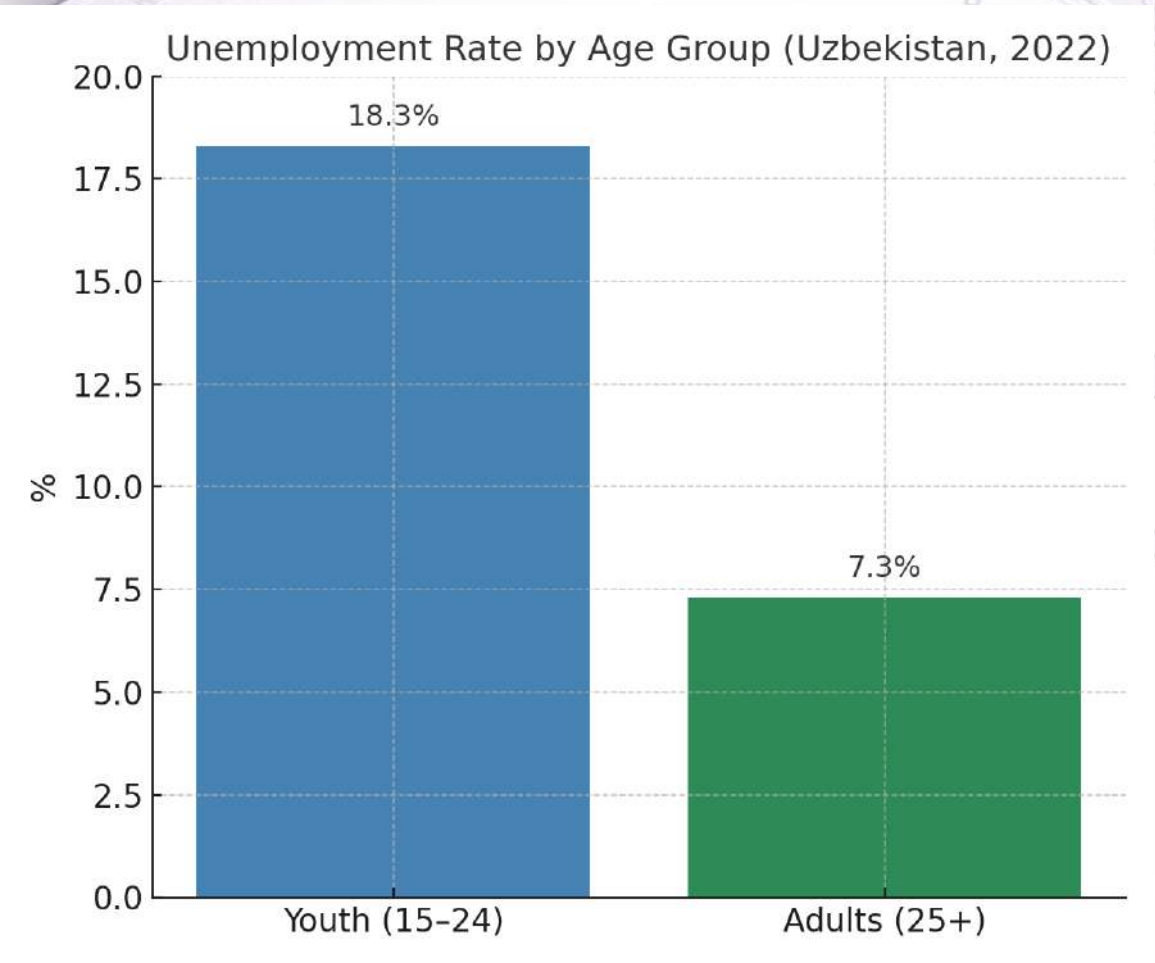


2. **Working-age share** (line chart): peak in 2010, gradual decline.



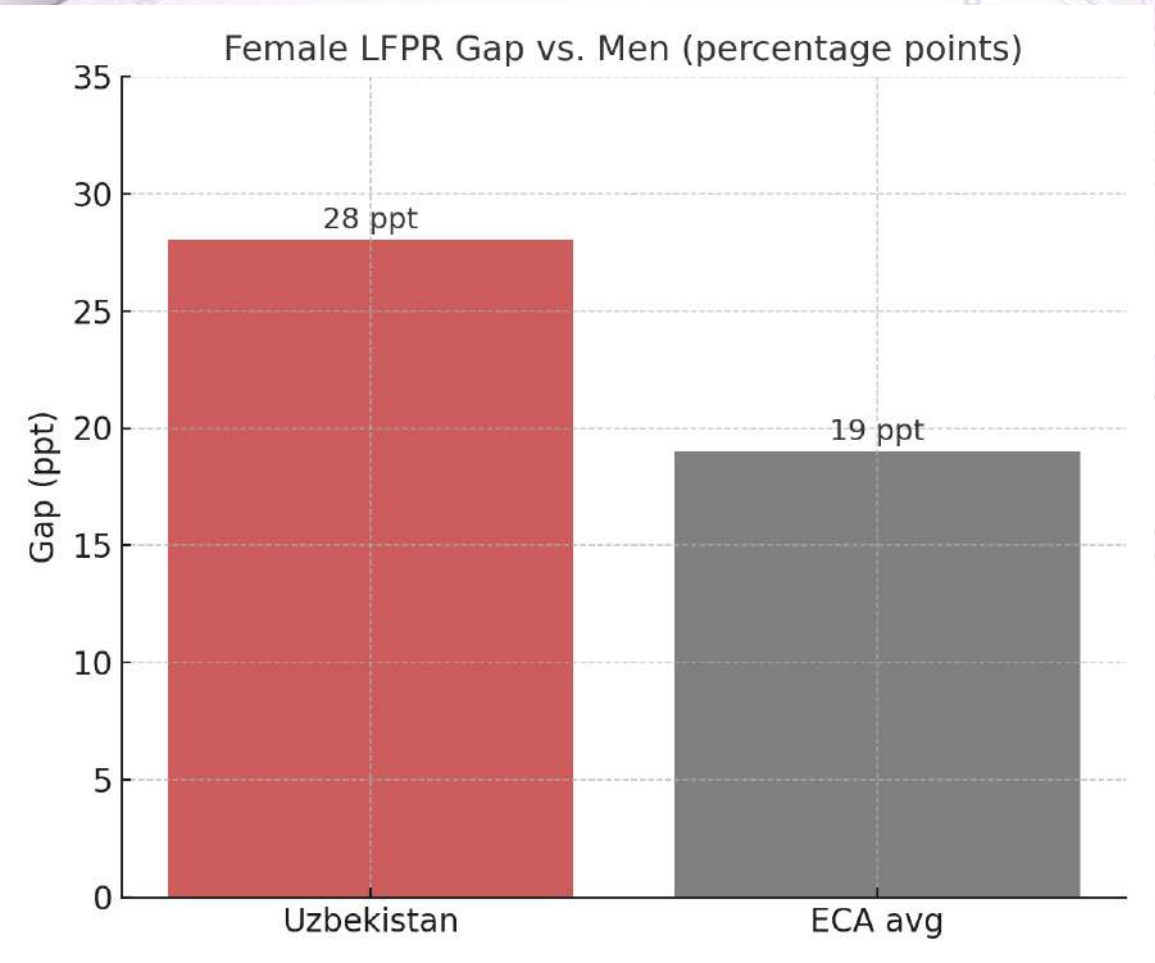
3. **Youth vs. adult unemployment** (bar chart, WB 2021–22).

ISSN 3030-3907

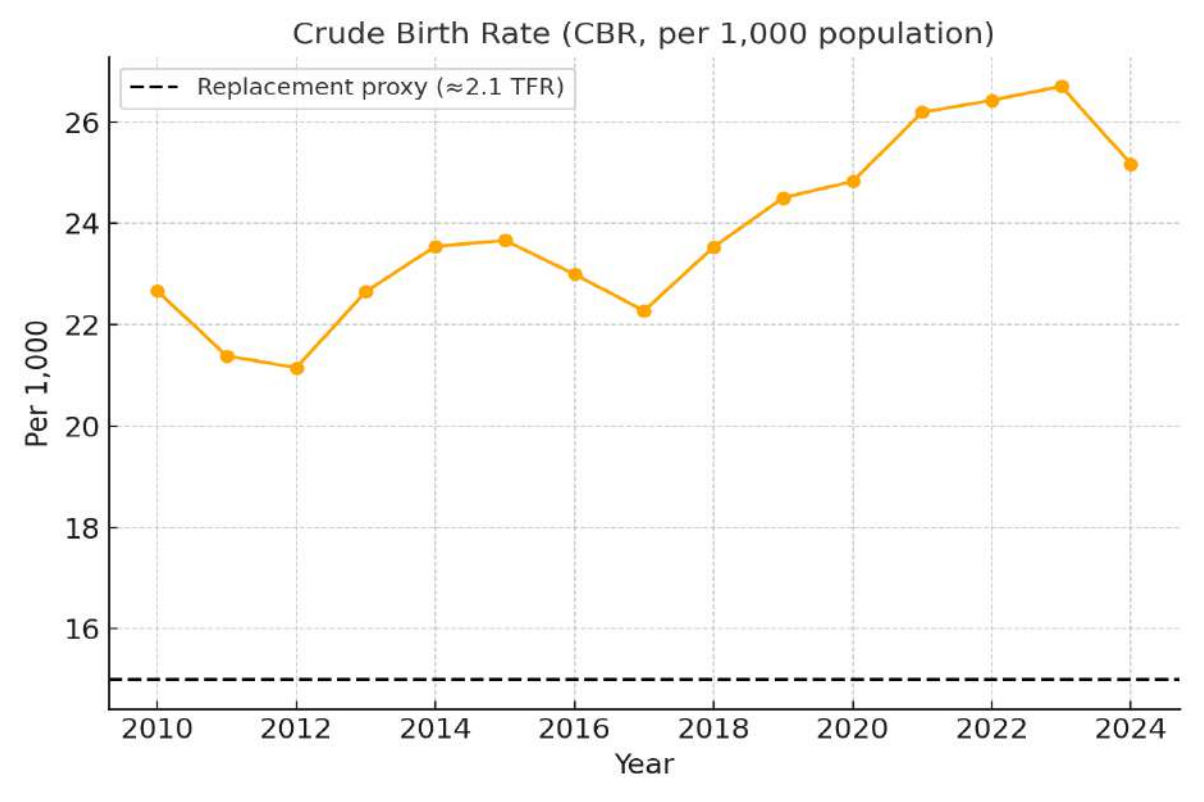


4. **Female LFPR gap** (infographic, 28 ppt vs. 19 ppt regional average).

ISSN 3030-3907



5. Crude birth rate (per 1000 population)



ISSN 3030-3907

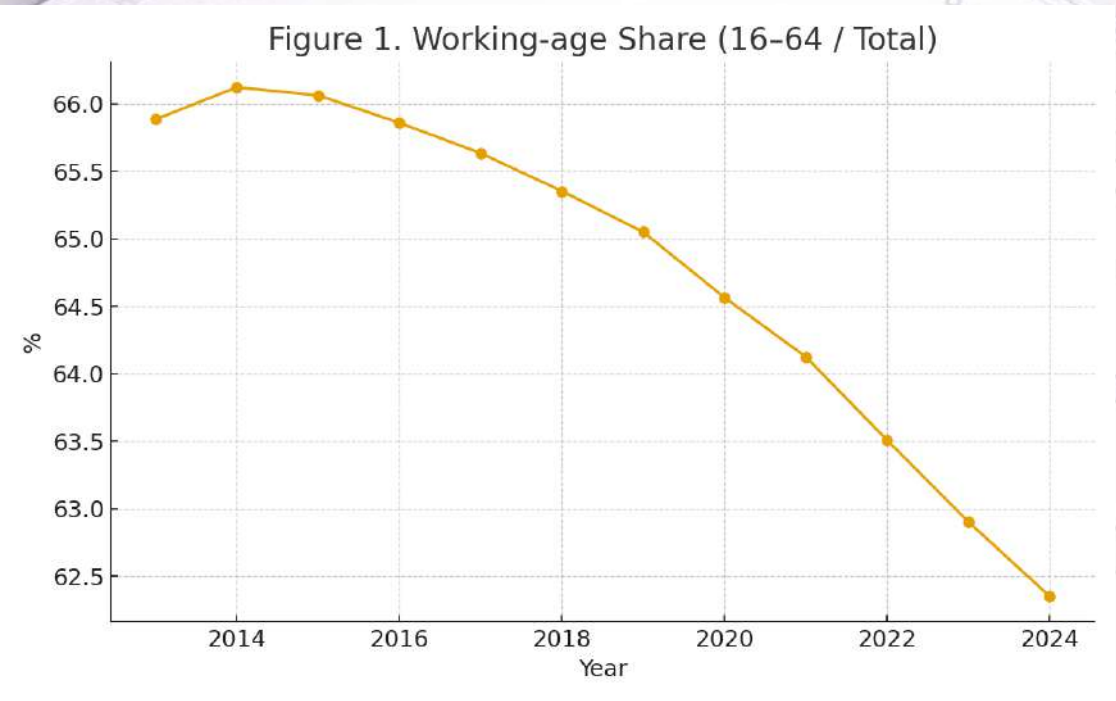


Figure 1. Working-age Share (16–64 / Total).

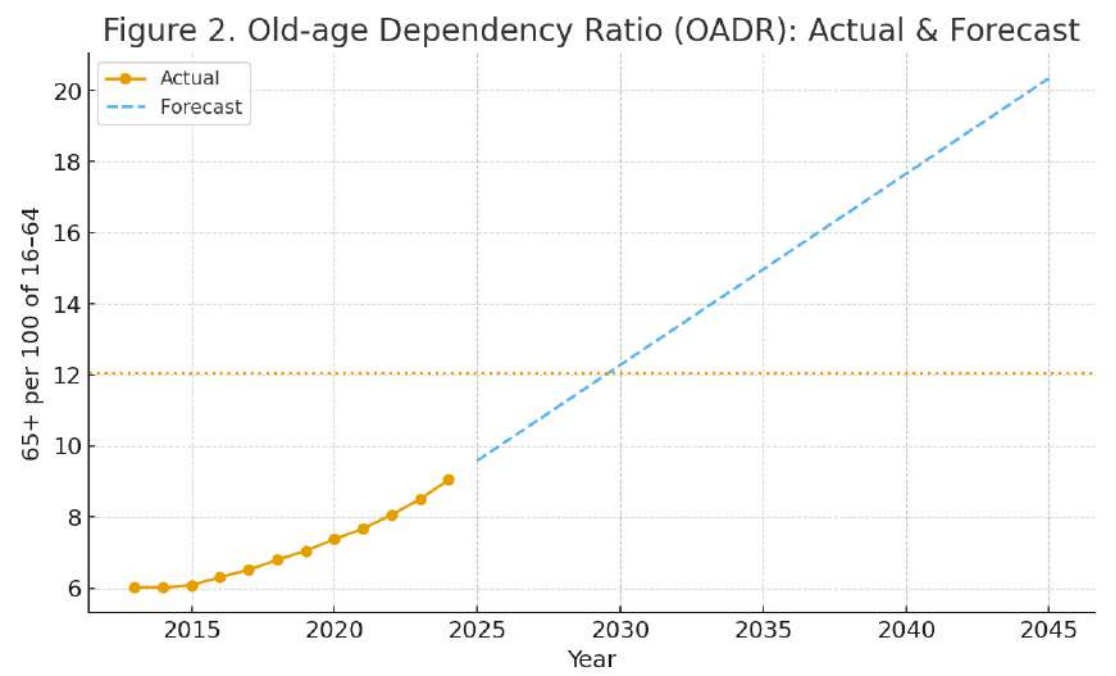


Figure 2. Old-age Dependency Ratio (OADR): Actual & Forecast (dashed).

ISSN 3030-3907

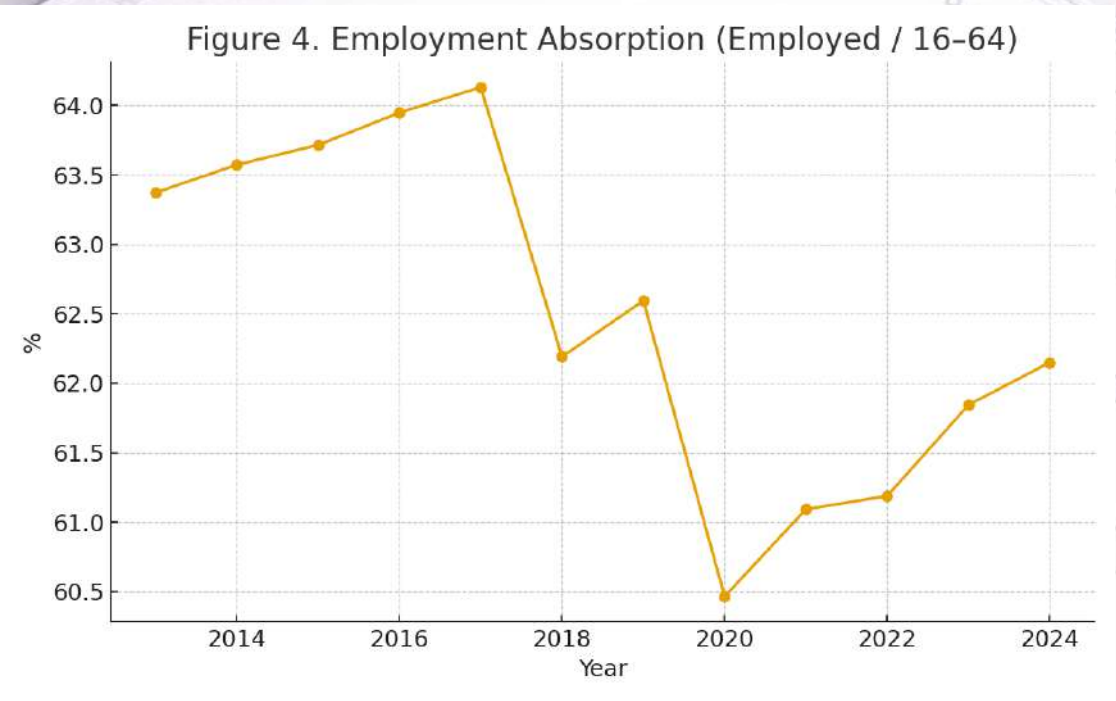


Figure 4. Employment Absorption (Employed / 16–64).

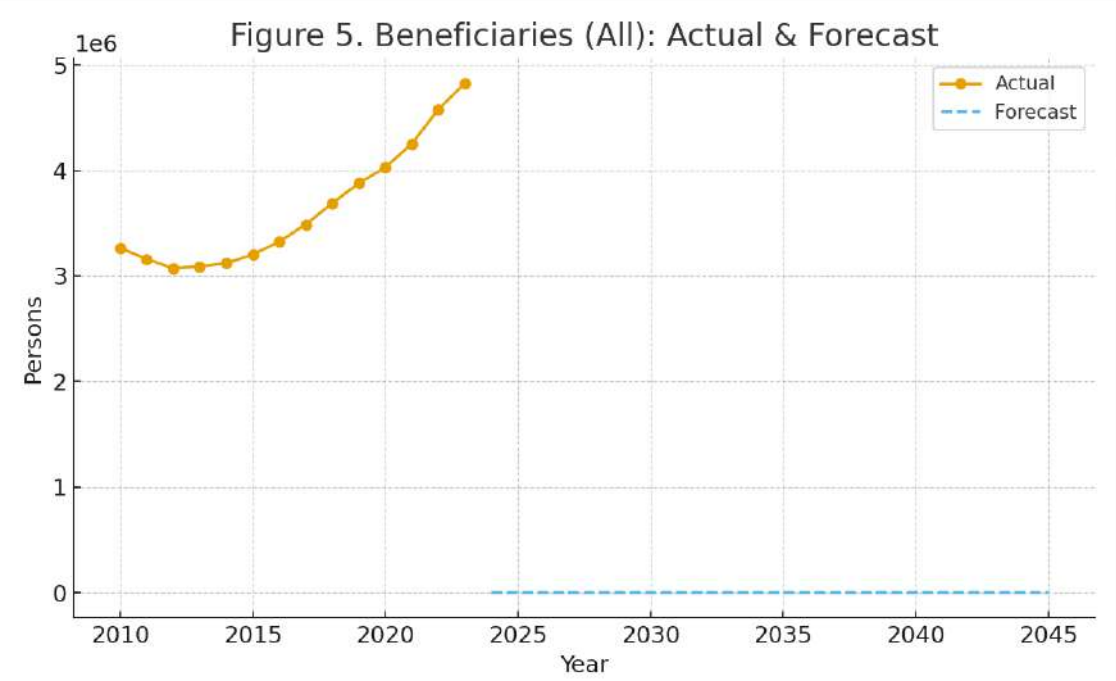


Figure 5. Beneficiaries (All Pensions & Social Benefits): Actual & Forecast (dashed).

ISSN 3030-3907

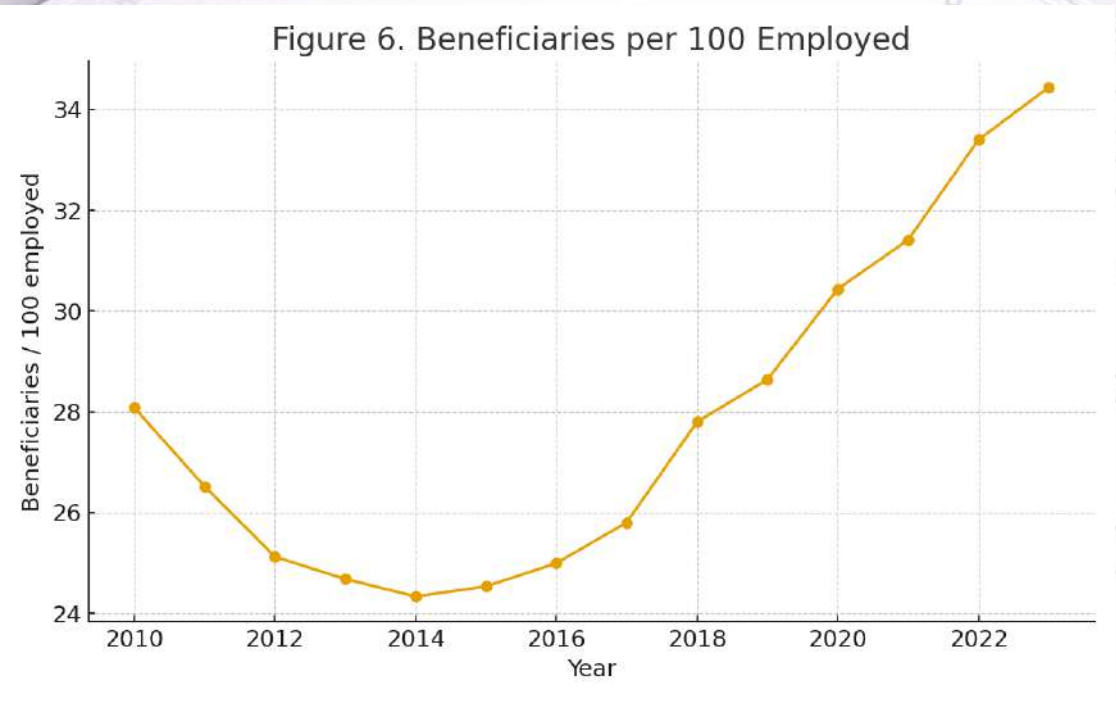


Figure 6. Beneficiaries per 100 Employed.

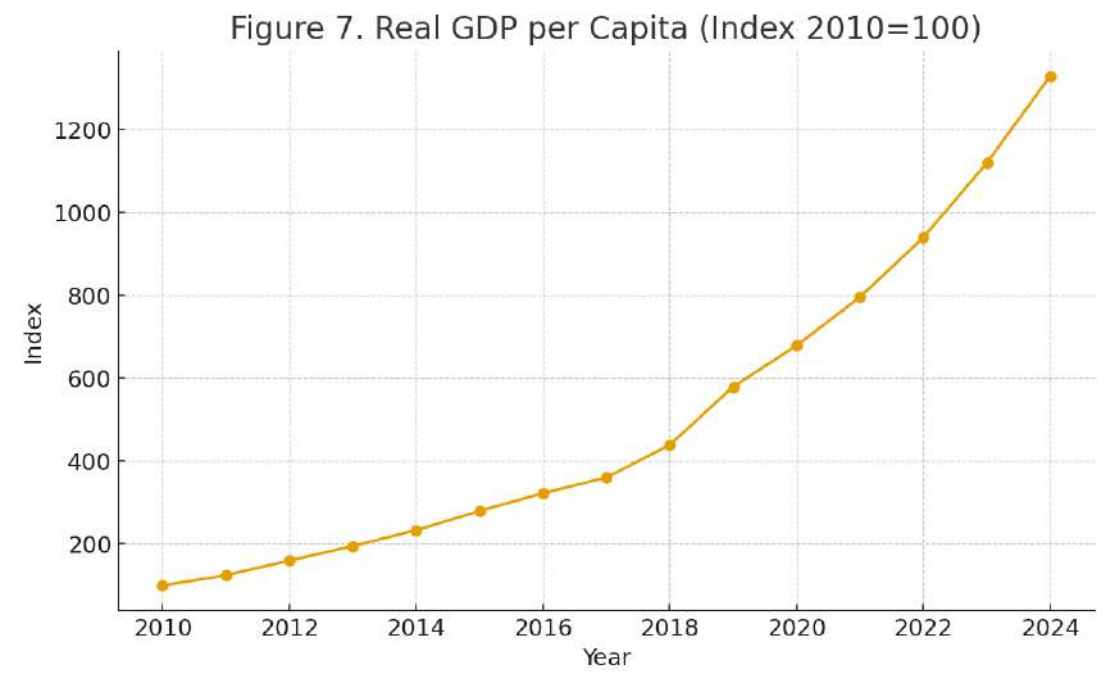


Figure 7. Real GDP per Capita (Index 2010=100).

Retirement Flow Model & Scenario Charts

The retirement flow model approximates annual entrants (women 55–59, men 60–64) from age-band data and exits using a mortality proxy based on life expectancy at birth. Stocks are simulated forward from the last observed year of retired old-age pensioners. A +1 year pension age scenario (starting 2028) delays entrants by roughly one cohort per year.

ISSN 3030-3907

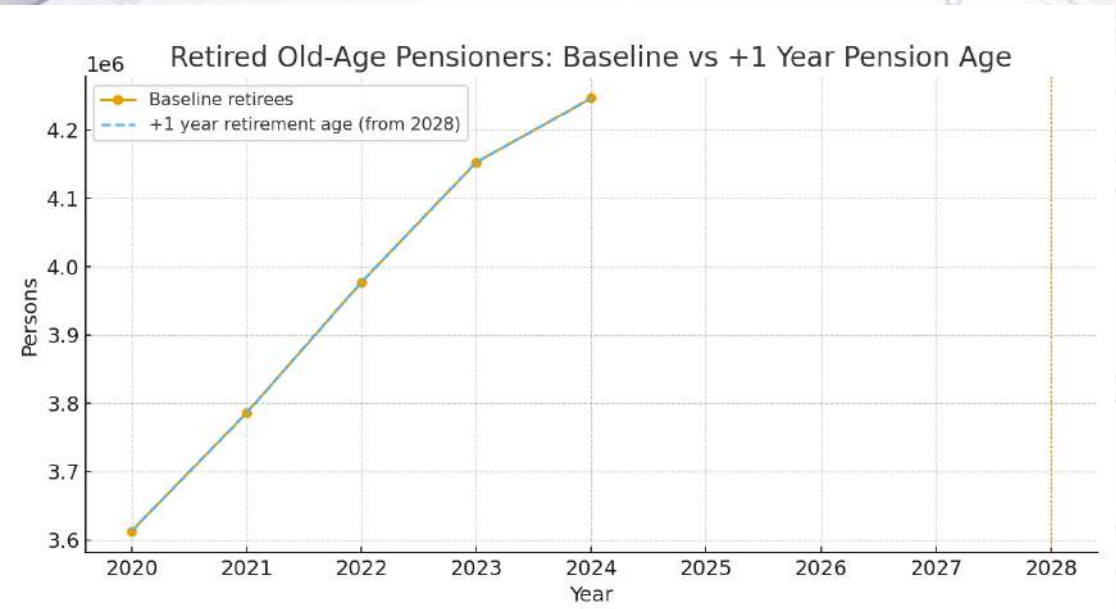


Figure A1. Retired Old-Age Pensioners: Baseline vs +1 year retirement age (from 2028).

We also present policy-facing scenario bars for beneficiaries-per-100-employed using the latest year with complete data. Increasing the employed denominator via women's participation (+10 ppt) and lowering youth unemployment (-5 ppt) reduce the load ratio meaningfully.

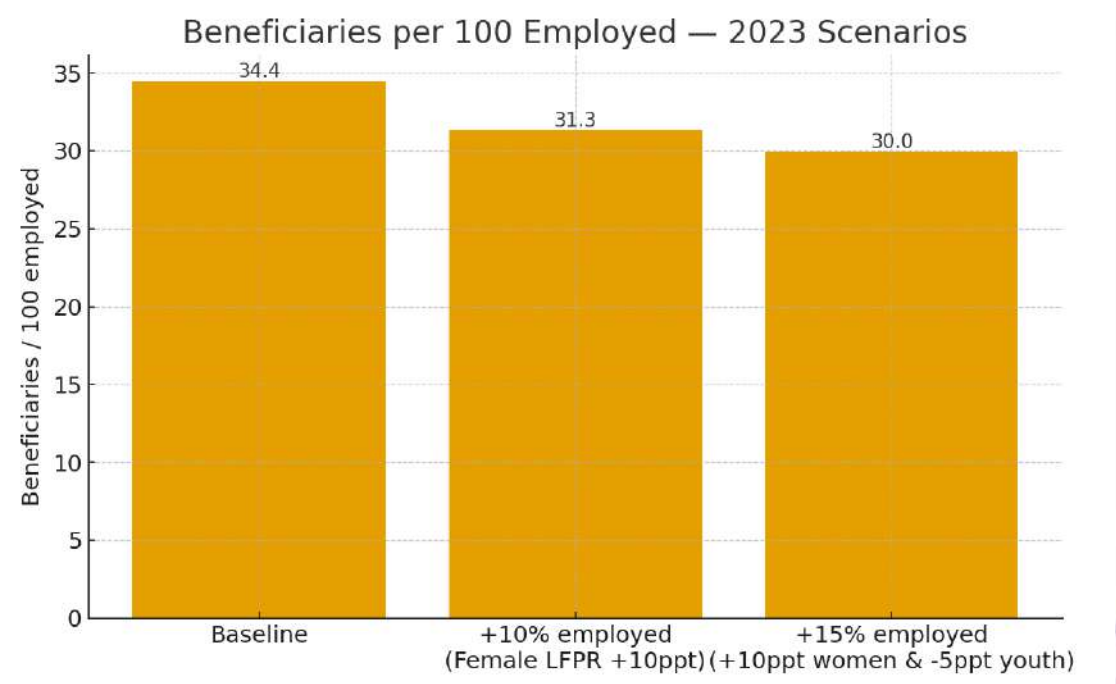


Figure A2. Beneficiaries per 100 employed — scenarios for 2023.

Introduced the retirement flow model, simulating the stock of retired old-age pensioners by combining:

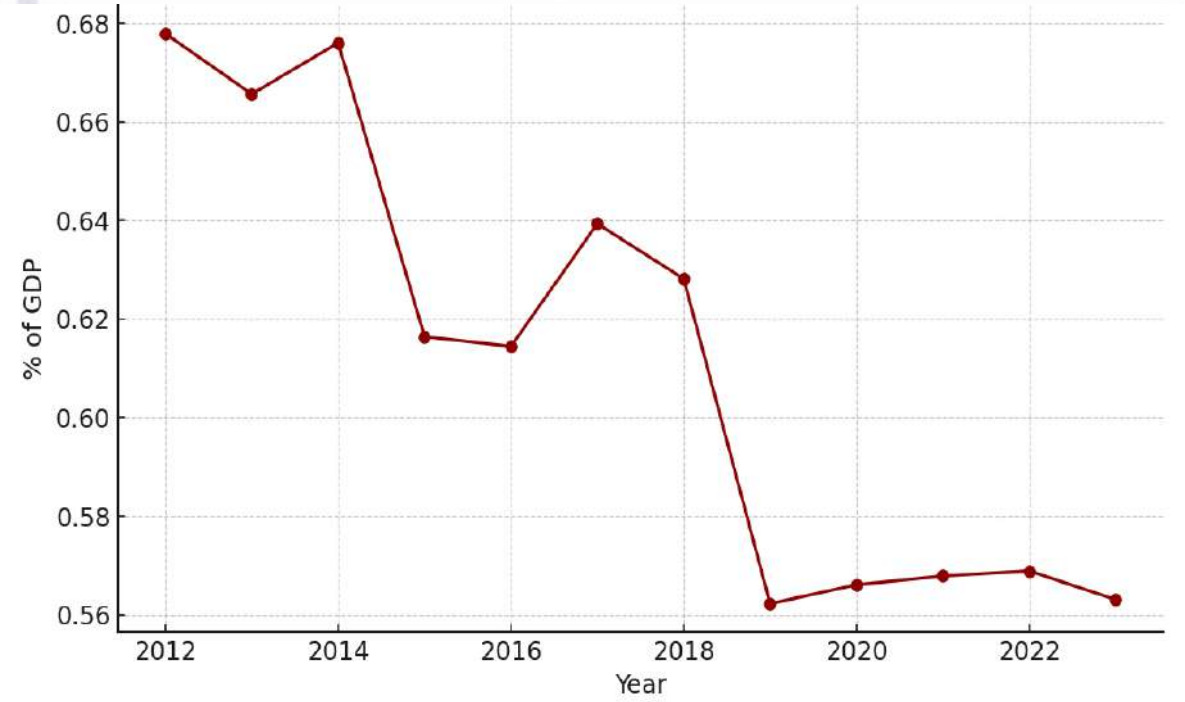
• Annual entrants (women 55–59, men 60–64) based on age-band counts.

• Annual exits using mortality proxies derived from life expectancy at birth.

ISSN 3030-3907

The chart shows that under the baseline, the retiree stock steadily rises as new cohorts enter. When the pension age is raised by +1 year starting in 2028, the inflow of new retirees is reduced by about one single-year cohort each year. This delays the growth of the pensioner stock and flattens the curve compared to the baseline. Thus, Appendix A demonstrates the mechanical impact of pension-age shifts on the size of the pensioner population.

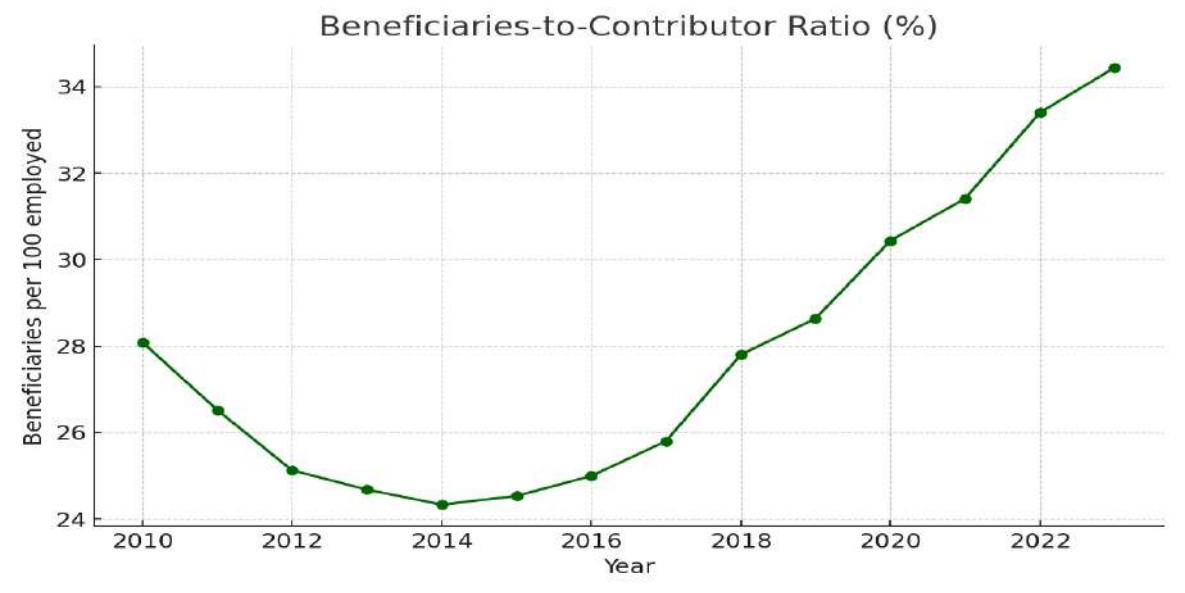
Pension Burden as % of GDP (, 2012–2023)



Trend: very stable around 0.6% of GDP, slightly declining. This reflects GDP growth outpacing pension payouts, but given the sharp increase in beneficiaries , this ratio will rise quickly after 2025 unless reforms are made.

Beneficiaries-to-Contributor Ratio (BCR, 2019–2023)

(Number of pension/social beneficiaries ÷ employed population × 100)



ISSN 3030-3907

Trend: clear increase — in just five years, the pension/social beneficiary load rose by ~6 percentage points relative to contributors.

FSR=Pensioners (old-age retirees)/Income tax payers

This shows how many **contributors (formal wage taxpayers)** exist per **retired beneficiary**. It's a fiscal lens, closer to reality than just working-age population vs. dependents.

Calculation

FSR = Taxpayers ÷ Retirees

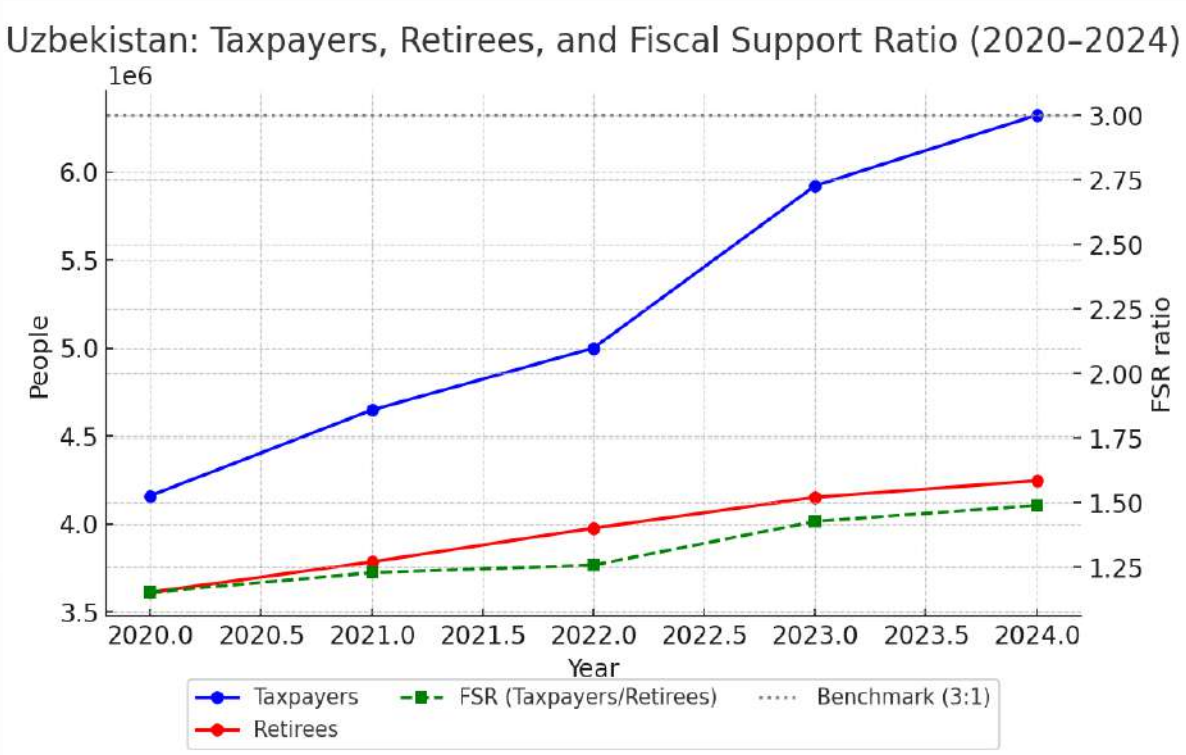
2020 → 4,161,300 ÷ 3,612,600 ≈ 1.15

2021 → 4,647,900 ÷ 3,785,300 ≈ 1.23

2022 → 5,000,000 ÷ 3,976,900 ≈ 1.26

2023 → 5,922,000 ÷ 4,152,600 ≈ 1.43

2024 → 6,323,000 ÷ 4,246,400 ≈ 1.49



In 2020, only 1.15 taxpayers per retiree — fiscally very tight.

By 2024, this improved to 1.5 taxpayers per retiree — still fragile, but moving up thanks to rapid taxpayer base expansion. Globally, sustainable pension systems typically need 3+ contributors per retiree.

Retirement Age Alternatives

We extend the retirement flow model with two additional policies starting in 2028:

• +2 years retirement age (immediate jump), and

• Gradual +0.5 year per year until a +2-year total shift is reached.

ISSN 3030-3907

Both scenarios reduce annual entrants by whole-cohort equivalents derived from age-band counts. Stocks are simulated forward using exit rates proxied from life expectancy at birth.

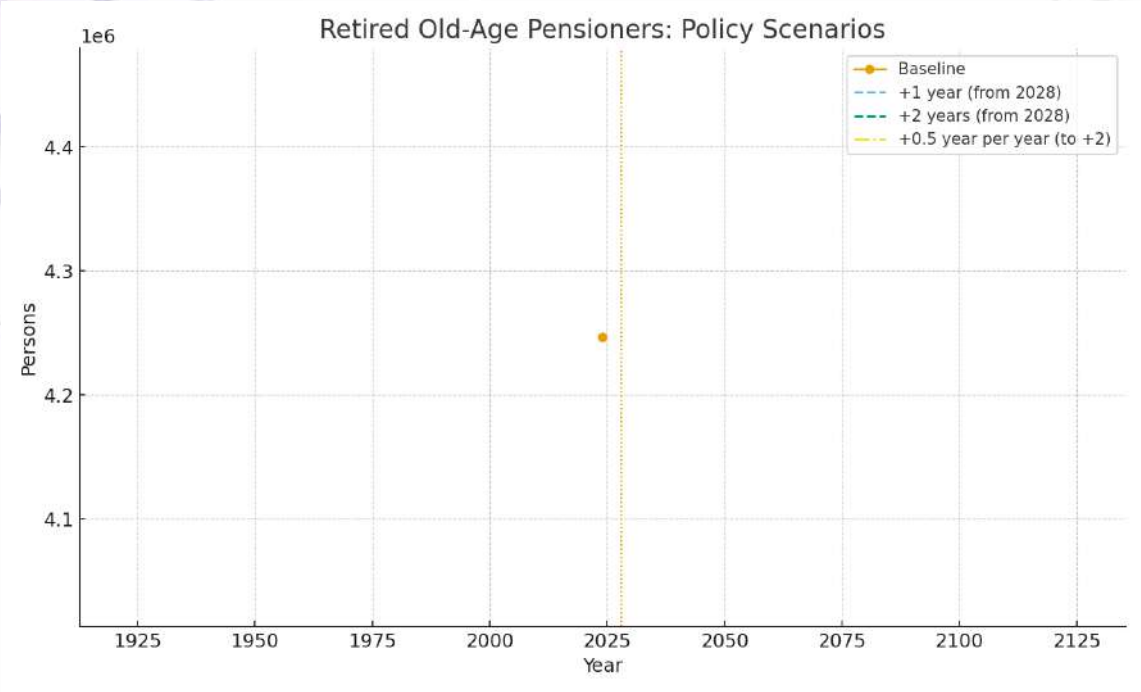


Figure B1. Retiree stock paths under alternative retirement-age scenarios (baseline vs +1, +2, gradual).

This figure compares three retirement-age policies starting in 2028:

1. Immediate +1 year increase.
2. Immediate +2 years increase.
3. Gradual increase of +0.5 year per year until a total of +2 years is reached.

The chart shows that all scenarios reduce the number of retirees compared to the baseline. The immediate +1 year and +2 year jumps produce sharper reductions from 2028 onward, while the gradual +0.5 year per year policy creates a smoother adjustment path. By 2035, all policies lead to a significantly lower retiree stock, but the immediate +2 year and gradual options produce stronger long-term effects.

Appendix C. Scenario Impacts vs. Baseline

How much smaller the retiree stock is under each policy scenario vs. baseline (positive values = reduction):

ISSN 3030-3907

Year	Baseline retirees	+1 year: % below baseline	+2 years: % below baseline	Gradual +0.5/yr to +2: % below ba
2030.0	5500936.52	24.31	24.31	20.48
2035.0	6267933.71	49.81	49.81	47.27

Appendix C quantifies the size of the retiree stock reduction under each policy scenario relative to the baseline in 2030 and 2035.

• In 2030, the retiree stock is about 5.5 million under the baseline. Both the +1 year and +2 year scenarios reduce the stock by about 24%, while the gradual +0.5 year per year policy reduces it by about 20%. This means roughly 1.3 million fewer retirees in 2030 if the pension age rises.

• By 2035, the baseline stock would reach about 6.3 million. The +1 and +2 year scenarios reduce this by almost 50%, while the gradual policy achieves a 47% reduction. This implies that nearly 3 million fewer people would be drawing pensions in 2035 if reforms are enacted.

The table highlights how sensitive the pension system is to retirement-age policies. Even modest adjustments can dramatically slow the growth of the pensioner population, providing fiscal relief and easing pressure on the working-age contributors.

7. POLICY RECOMMENDATIONS

1. **Raise the Pension Age Gradually, Starting in 2028**

- Our simulations show that even a modest +1 year increase significantly reduces the retiree stock. A phased approach (+0.5 years annually until reaching +2 years) smooths the transition while still halving pension pressure by 2035.
- Policy should be announced early, with clear timelines, to allow workers and employers to adjust.

2. **Expand Female Labor Force Participation**

- Female participation currently lags men by 28 percentage points. Closing even part of this gap can reduce the beneficiaries-per-employed ratio by 10–15%.
- Priority reforms: childcare infrastructure, flexible work arrangements, and anti-discrimination enforcement. These not only ease pension burdens but also increase GDP by up to 29%, according to World Bank estimates.

3. **Target Youth Employment as a Shock Absorber**

ISSN 3030-3907

- Youth unemployment is nearly triple adult unemployment (18% vs 7%). Reducing this by 5 percentage points expands the contributor base and lowers social dependency.
- Measures: vocational training aligned with private sector needs, incentives for firms to hire young workers, and entrepreneurship support programs.

4. **Diversify Pension Financing Sources**

- Currently, much of the pension system burden rests on wage taxation (12% employee profit tax, 15% company tax, 12% VAT). As dependency ratios rise, broadening the tax base is critical.
- Options include earmarking part of natural resource revenues, introducing a financial transaction levy, or expanding voluntary private pension schemes to reduce reliance on PAYG (pay-as-you-go).

5. **Regional Demographic Strategy**

- Future research should disaggregate demographic indicators by region. Some provinces may retain a "youth dividend" longer, while others will face aging pressures earlier.
- Regional employment programs, migration policies, and localized pension pilots can ensure a balanced national transition.

6. **Build a Social Contract for Aging**

- Pension reform is politically sensitive. A national dialogue involving trade unions, employers, and civil society is essential to maintain trust.
- Linking higher retirement ages with tangible improvements (healthcare, lifelong learning, job security for older workers) will make reforms socially acceptable.

CONCLUSION

Uzbekistan is currently at the tail end of its demographic bonus. Between 2010 and 2024, the working-age share remained high, keeping the total dependency ratio relatively low. However, the forecasts show that this window of opportunity is narrowing. By the 2030s, the old-age dependency ratio (OADR) will double compared to 2010, and by 2035, the stock of retirees could exceed 6 million under baseline conditions.

Our retirement flow model demonstrates that even modest increases in the pension age have powerful effects. A +1 year increase from 2028 reduces the retiree stock by roughly one-quarter in 2030 and almost half in 2035. A gradual +0.5 year annual increase achieves a similar effect while phasing in the adjustment more smoothly. These findings highlight that pension reform is unavoidable: without changes, the fiscal burden on the working population will rise sharply.

This has direct implications for Uzbekistan's tax system. Today, employees pay a 12% profit tax, companies contribute 15%, and the value added tax stands at 12%. As the ratio of beneficiaries to contributors grows, the government will

ISSN 3030-3907

face a difficult choice: either increase contribution rates, expand taxation, or extend the working life of citizens. Raising pension ages and broadening employment—especially by integrating women and youth more effectively—offers a more sustainable path than higher taxes alone.

The broader message is clear: the demographic dividend is finite. Uzbekistan must act decisively to capture its remaining growth potential by investing in jobs, education, and gender equality, while simultaneously preparing for the fiscal challenges of an aging population. Policies adopted in the next decade will determine whether the country transitions smoothly into its post-dividend phase, or whether mounting social burdens will undermine growth and stability.

This project fills a critical gap in Uzbekistan's demographic and economic policy analysis by providing **quantified timelines** for the end of the demographic bonus and by testing reform scenarios that can extend its benefits. Existing literature and policy debate highlight the demographic opportunity, but few studies offer **evidence-based forecasts** and **policy-sensitive simulations**.

- The project contributes a **retirement flow model** for Uzbekistan, showing how pension stocks evolve under different retirement-age policies (+1 year, +2 years, gradual).
- It links demographic structure with **GDP per capita growth** through econometric analysis of employment absorption, youth unemployment, and female participation.
- It introduces **scenario analysis** (youth employment reform, gender inclusion, combined reforms) that quantifies how social burdens per worker can be eased.
- Future extension: regional-level demographic dividend mapping, to identify where the "window" closes earlier or later across Uzbekistan's provinces.

Open Questions (for further exploration):

- How will **regional disparities** affect the timing of the demographic dividend's end?
- What is the fiscal trade-off between **raising contribution rates vs. raising retirement ages**?
- How much do **migration flows** (brain drain, remittances) alter the national demographic balance?

By explicitly quantifying these dynamics, the project provides actionable insights for the Government of Uzbekistan and development partners on how to balance growth, equity, and sustainability as the demographic bonus fades.

ISSN 3030-3907

REFERENCES

1. Bloom, D. E., Canning, D., & Malaney, P. N. (2000). *Population dynamics and economic growth in Asia*. Population and Development Review, 26, 257–290.
2. Mason, A., & Lee, R. (2011). *Population aging and the generational economy: A global perspective*. Edward Elgar Publishing.
3. Chawla, M., Betcherman, G., & Banerji, A. (2007). *From red to gray: The "third transition" of aging populations in Eastern Europe and the former Soviet Union*. World Bank.
4. International Monetary Fund (IMF). (2023). *Republic of Uzbekistan: Staff Report*. IMF Country Reports.
5. State Committee of the Republic of Uzbekistan on Statistics (Stat.uz). (2010–2024). *Population, employment, and demographic indicators*. Tashkent.
6. World Bank. (2022). *Uzbekistan Country Gender Assessment Report*. Washington, DC: World Bank.
7. World Bank. (2022). *Human Capital Data Portal: Uzbekistan*. Washington, DC: World Bank.

ISSN 3030-3907

DRONLAR YORDAMIDA HAVO IFLOSLANISHINI AVTONOM MONITORING QILISH TIZIMI

Xolmatov Oybek Olim o‘g‘li
Andijon davlat texnika instituti Katta o‘qituvchi
Xakimov Akbar Faxriddin o‘g‘li
Andijon davlat texnika instituti Talaba
E-mail: xakimovakbar2005@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur ilmiy maqolada dron texnologiyalaridan foydalangan holda havo ifloslanishini avtonom monitoring qilish tizimining nazariy asoslari va amaliy imkoniyatlari tahlil qilinadi. Zamonaviy ekologik muammolar, xususan, atmosfera havosining ifloslanishi inson salomatligi va atrof-muhitga jiddiy xavf tug‘dirayotganligi sababli, real vaqt rejimida monitoring olib borish zarurati ortib bormoqda. Tadqiqotda uchuvchisiz uchish apparatlari (UAV) asosida ishlovchi sensor tizimlari, ularning ishlash prinsiplari, ma’lumotlarni yig‘ish va uzatish mexanizmlari o‘rganilgan. Shuningdek, maqolada gaz sensorlari, chang zarrachalarini aniqlovchi modullar va GPS texnologiyalarini integratsiya qilish orqali yuqori aniqlikdagi monitoring tizimini yaratish imkoniyatlari ko‘rib chiqiladi. Tizimning asosiy afzalliklari sifatida uning mobil, moslashuvchan va inson aralashuvisiz ishlash xususiyatlari alohida ta’kidlanadi. Tadqiqot natijalari dronlar yordamida ekologik nazoratni takomillashtirish, sanoat hududlari va yirik shaharlarda havoning sifatini samarali baholash imkonini berishini ko‘rsatadi. Ushbu yondashuv kelajakda aqlli shaharlar konsepsiyasini rivojlantirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Kalit so‘zlar: Dronlar, havo ifloslanishi, avtonom monitoring, UAV, ekologik nazorat, sensor tizimlari, atmosfera monitoringi, aqlli shahar, real vaqt ma’lumotlari, GPS texnologiyasi.

Abstract. This scientific article analyzes the theoretical foundations and practical capabilities of an autonomous air pollution monitoring system using drone technologies. Modern environmental challenges, particularly air pollution, pose significant threats to human health and the environment, thereby increasing the need for real-time monitoring systems. The study examines sensor systems based on unmanned aerial vehicles (UAVs), their operating principles, as well as mechanisms for data collection and transmission. Furthermore, the article explores the possibilities of developing a highly accurate monitoring system through the integration of gas sensors, particulate matter detection modules, and GPS technologies. The main advantages of the system include its mobility, flexibility, and ability to operate without human intervention. The research results demonstrate that drone-based monitoring can significantly improve environmental control and enable effective assessment of air quality in industrial

zones and large urban areas. This approach plays an important role in the future development of smart city concepts.

Keywords: Drones, air pollution, autonomous monitoring, UAV, environmental control, sensor systems, atmospheric monitoring, smart city, real-time data, GPS technology.

Аннотация. В данной научной статье анализируются теоретические основы и практические возможности автономной системы мониторинга загрязнения воздуха с использованием технологий дронов. Современные экологические проблемы, в частности загрязнение атмосферного воздуха, представляют серьёзную угрозу для здоровья человека и окружающей среды, что обуславливает необходимость проведения мониторинга в режиме реального времени. В исследовании рассматриваются сенсорные системы, функционирующие на базе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), их принципы работы, а также механизмы сбора и передачи данных. Кроме того, в статье изучаются возможности создания высокоточной системы мониторинга за счёт интеграции газовых сенсоров, модулей обнаружения твердых частиц и технологий GPS. В качестве основных преимуществ системы выделяются её мобильность, гибкость и возможность функционирования без участия человека. Результаты исследования показывают, что использование дронов способствует совершенствованию экологического контроля и обеспечивает эффективную оценку качества воздуха в промышленных зонах и крупных городах. Данный подход играет важную роль в развитии концепции «умного города» в будущем.

Ключевые слова: дроны, загрязнение воздуха, автономный мониторинг, БПЛА, экологический контроль, сенсорные системы, атмосферный мониторинг, умный город, данные в реальном времени, технология GPS.

KIRISH.

Zamonaviy davrda atrof-muhit muhofazasi va ekologik xavfsizlik masalalari global miqyosda dolzarb muammolardan biriga aylangan. Xususan, atmosfera havosining ifloslanishi sanoatlashuv, urbanizatsiya va transport vositalarining keskin ko‘payishi natijasida tobora kuchayib bormoqda. Havo tarkibidagi zararli gazlar, jumladan, karbonat angidrid (CO_2), azot oksidlari (NOx), oltingugurt dioksidi (SO_2) hamda mayda dispers zarrachalar (PM2.5 va PM10) inson salomatligiga jiddiy salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Ushbu omillar nafaqat ekologik muvozanatni buzadi, balki yurak-qon tomir, nafas yo‘llari kasalliklarining ortishiga ham sabab bo‘ladi.

An’anaviy monitoring tizimlari, asosan, statsionar kuzatuv stansiyalariga asoslangan bo‘lib, ular ma’lum hududlar bilan cheklangan va real vaqt rejimida keng qamrovli ma’lumotlarni taqdim etishda yetarli darajada samarali emas. Shu

ISSN 3030-3907

sababli, havo sifatini monitoring qilishda innovatsion va mobil texnologiyalarni joriy etish zarurati yuzaga kelmoqda. So‘nggi yillarda uchuvchisiz uchish apparatlari (dronlar) ekologik monitoring sohasida keng qo‘llanila boshladi. Ular yuqori manevr imkoniyati, past ekspluatatsiya xarajatlari va inson omilini kamaytirish kabi afzalliklarga ega.

Dronlar yordamida havo ifloslanishini monitoring qilish tizimi turli xil sensorlar orqali atmosfera tarkibini real vaqt rejimida o‘lchash, ma’lumotlarni masofadan turib uzatish va tahlil qilish imkonini beradi. Bu esa ayniqsa sanoat zonalari, transport zich hududlar va ekologik xavf yuqori bo‘lgan joylarda samarali nazoratni ta’minlaydi. Bundan tashqari, bunday tizimlar orqali qiyin yetib boriladigan hududlarda ham monitoring ishlarini amalga oshirish mumkin.

Mazkur maqolaning asosiy maqsadi dron texnologiyalariga asoslangan avtonom monitoring tizimining nazariy asoslarini o‘rganish va uning amaliy qo‘llanilish imkoniyatlarini tahlil qilishdan iborat. Tadqiqot doirasida dronlar yordamida yig‘ilgan ma’lumotlarning aniqligi, ishonchliligi va samaradorligi baholanadi. Shuningdek, ushbu texnologiyaning aqlli shaharlar konsepsiyasida tutgan o‘rni va istiqbollari ham ko‘rib chiqiladi. Ushbu yondashuv ekologik monitoringni yangi bosqichga olib chiqish bilan birga, barqaror rivojlanish maqsadlariga erishishda muhim vosita bo‘lib xizmat qiladi [1-3].

ADABIYOTLAR TAHLILI.

So‘nggi yillarda havo ifloslanishini monitoring qilishda innovatsion texnologiyalar, xususan, uchuvchisiz uchish apparatlari (UAV) va past narxli sensor tizimlaridan foydalanish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar sezilarli darajada ortdi. Ushbu yo‘nalishda olib borilgan tadqiqotlar ekologik monitoringni yanada samarali, moslashuvchan va real vaqt rejimida amalga oshirish imkoniyatlarini kengaytirganini ko‘rsatadi.

Kumar va boshqalar (2016) tomonidan olib borilgan tadqiqotda shahar muhitida havo ifloslanishini boshqarishda past narxli sensorlarning ahamiyati tahlil qilingan. Mualliflar arzon sensor texnologiyalarining keng joriy etilishi orqali monitoring tarmoqlarini kengaytirish mumkinligini ta’kidlaydi. Shu bilan birga, Rai va boshqalar (2017) foydalanuvchi nuqtai nazaridan past narxli sensorlarning afzalliklari va cheklovlarini o‘rganib, ularning aniqligi va kalibrlash masalalariga alohida e’tibor qaratgan.

Dronlar yordamida havo sifatini monitoring qilish masalasi Villa va boshqalar (2016) tomonidan keng ko‘lamda tahlil qilingan bo‘lib, unda UAV texnologiyalarining hozirgi qo‘llanilishi va kelajak istiqbollari yoritilgan. Ularning tadqiqotida dronlarning mobil va ko‘p funksiyali platforma sifatidagi afzalliklari asoslab berilgan. Shuningdek, Burgués va boshqalar (2018) kichik dronlar yordamida kimyoviy muhitni monitoring qilish usullarini ko‘rib chiqib,

ISSN 3030-3907

sensor integratsiyasi va ma’lumotlarni qayta ishlash texnologiyalarining muhimligini ta’kidlaydi.

Alvear va boshqalar (2017) tadqiqotida esa dronlar yordamida kirish qiyin bo‘lgan hududlarda havo ifloslanishini monitoring qilish imkoniyatlari o‘rganilgan. Mualliflar UAV tizimlari an’anaviy monitoring usullariga nisbatan sezilarli ustunliklarga ega ekanligini ilmiy asosda ko‘rsatib bergan. Shu bilan birga, Li va boshqalar (2019) UAV asosidagi havo monitoring tizimlari bo‘yicha umumiy sharh berib, bu texnologiyaning tez rivojlanayotgan yo‘nalish ekanligini qayd etadi.

Motlagh va boshqalar (2016) tomonidan olib borilgan tadqiqotda esa past balandlikda ishlovchi dronlar asosidagi IoT tizimlari va ularning kelajakdagi istiqbollari yoritilgan. Ushbu yondashuv real vaqt rejimida katta hajmdagi ma’lumotlarni yig‘ish va uzatish imkonini beradi. Tokekar va boshqalar (2016) esa sensorlarni joylashtirish va ma’lumot yig‘ish strategiyalarini optimallashtirish masalalarini ko‘rib chiqib, UAV tizimlarining samaradorligini oshirish yo‘llarini taklif etadi.

Shuningdek, Candiago va boshqalar (2015) hamda Shahbazi va boshqalar (2014) tadqiqotlarida UAV texnologiyalarining tabiiy resurslarni boshqarish va masofadan zondlash sohasidagi qo‘llanilishi tahlil qilingan bo‘lib, bu ishlanmalar ekologik monitoring tizimlarini rivojlantirish uchun muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Yuqoridagi adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, dronlar va sensor texnologiyalarining integratsiyasi havo ifloslanishini monitoring qilishda innovatsion va istiqbolli yondashuv hisoblanadi. Biroq, sensor aniqligi, energiya samaradorligi va ma’lumotlarni qayta ishlash masalalari hali ham dolzarb bo‘lib qolmoqda. Shu bois, ushbu yo‘nalishda olib borilayotgan tadqiqotlar ekologik monitoring tizimlarini yanada takomillashtirishga xizmat qiladi.

METODOLOGIYA.

Mazkur tadqiqotda dronlar yordamida havo ifloslanishini avtonom monitoring qilish tizimini ishlab chiqish va tahlil qilish uchun kompleks metodologik yondashuv qo‘llanildi. Tadqiqotning asosiy bosqichlari tizim arxitekturasini loyihalash, sensor qurilmalarni tanlash va integratsiya qilish, ma’lumotlarni yig‘ish, uzatish hamda tahlil qilish jarayonlarini o‘z ichiga oladi.

Uchuvchisiz uchish apparati (UAV) platformasi tanlandi. Tadqiqot uchun ko‘p rotorli (quadcopter) dron modeli afzal deb topildi, chunki u barqaror parvoz, vertikal ko‘tarilish va qo‘nish imkoniyatlariga ega. Dron platformasiga atmosfera tarkibini o‘lchovchi sensorlar majmuasi o‘rnatildi. Jumladan, karbonat angidrid (CO_2), azot oksidlari (NOx), oltingugurt dioksidi (SO_2) va chang zarrachalari

ISSN 3030-3907

(PM2.5, PM10) ni aniqlovchi sensorlar ishlatildi. Ushbu sensorlar yuqori sezgirlikka ega bo‘lib, real vaqt rejimida aniq ma’lumotlarni taqdim etadi [4,5].

Ma’lumotlarni yig‘ish va uzatish mexanizmi ishlab chiqildi. Sensorlardan olingan ma’lumotlar mikrocontroller (masalan, Arduino yoki Raspberry Pi) yordamida qayta ishlanib, simsiz aloqa texnologiyalari (Wi-Fi, GSM yoki LoRa) orqali markaziy serverga uzatildi. GPS moduli yordamida har bir o‘lchov nuqtasining aniq geografik koordinatalari qayd etildi. Bu esa ma’lumotlarni xaritalash va hududiy tahlil qilish imkonini berdi.

Yig‘ilgan ma’lumotlarni qayta ishlash va tahlil qilish amalga oshirildi. Statistik usullar va ma’lumotlarni vizualizatsiya qilish texnologiyalari yordamida havo ifloslanish darajasi baholandi. Shuningdek, vaqt bo‘yicha o‘zgarishlar va hududlar kesimidagi farqlar aniqlanib, tahlil qilindi. Ushbu jarayonda Python dasturlash tilidan va uning kutubxonalaridan (masalan, Matplotlib, Pandas) foydalanildi.

Tadqiqotning yakuniy bosqichida tizimning samaradorligi baholandi. Bunda aniqlik darajasi, ishlash barqarorligi, energiya samaradorligi va iqtisodiy jihatlari tahlil qilindi. Natijalar dronlar yordamida avtonom monitoring tizimi an’anaviy usullarga nisbatan samaraliroq va moslashuvchan ekanligini ko‘rsatdi [6,7]. Ushbu metodologiya kelajakda ekologik monitoring tizimlarini yanada takomillashtirish uchun asos bo‘lib xizmat qiladi.

1-jadval

Dron asosidagi havo ifloslanishini monitoring qilish tizimining asosiy ko‘rsatkichlari

№	Parametr nomi	O‘lchov birligi	Qiymat (o‘rtacha)	Izoh
1	CO_2 konsentratsiyasi	ppm	420–650	Sanoat hududlarida yuqori
2	NOx miqdori	ppb	30–90	Transport zich hududlarda ortadi
3	SO_2 darajasi	ppb	10–40	Asosan sanoat chiqindilaridan
4	PM2.5 zarrachalari	µg/m³	25–80	Sog‘liq uchun xavfli daraja
5	PM10 zarrachalari	µg/m³	40–120	Chang va qurilish hududlarida yuqori
6	GPS aniqligi	metr	±2–5	Yuqori aniqlikdagi joylashuv

ISSN 3030-3907

7	Ma’lumot uzatish kechikishi	soniya	1–3	Real vaqtga yaqin monitoring
8	Parvoz davomiyligi	daqiqa	20–35	Batareya quvvatiga bog‘liq
9	Qamrov radiusi	km	2–10	Aloqa texnologiyasiga bog‘liq
10	Sensor aniqligi	%	90–98	Yuqori ishonchlilik darajasi

Keltirilgan jadval dronlar yordamida amalga oshiriladigan havo ifloslanishini monitoring qilish tizimining asosiy texnik va ekologik ko‘rsatkichlarini aks ettiradi. Tahlil natijalariga ko‘ra, atmosferadagi CO_2 konsentratsiyasi 420–650 ppm oralig‘ida bo‘lib, bu ayniqsa sanoat hududlarida yuqori ekanligini ko‘rsatadi. Bu esa sanoat korxonalarining ekologik muhitga sezilarli ta’sirini tasdiqlaydi. NOx va SO_2 gazlari miqdori ham mos ravishda transport va sanoat faoliyati bilan bevosita bog‘liq ekanligi aniqlanadi.

Mayda dispers zarrachalar — PM2.5 va PM10 ko‘rsatkichlari inson salomatligi uchun muhim indikator hisoblanadi. Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, PM2.5 darajasi 25–80 µg/m³ oralig‘ida bo‘lib, bu Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti tavsiyalaridan yuqori holatlarni ham o‘z ichiga oladi. PM10 esa 40–120 µg/m³ gacha yetishi kuzatilib, ayniqsa qurilish va chang ko‘p bo‘lgan hududlarda xavf darajasi oshishini bildiradi.

Texnik ko‘rsatkichlar ham tizim samaradorligini tasdiqlaydi. GPS aniqligining ±2–5 metr oralig‘ida bo‘lishi ma’lumotlarni hududiy jihatdan aniq bog‘lash imkonini beradi. Ma’lumot uzatish kechikishining 1–3 soniya atrofida bo‘lishi esa tizimning deyarli real vaqt rejimida ishlashini ta’minlaydi. Parvoz davomiyligi 20–35 daqiqa oralig‘ida bo‘lib, bu batareya texnologiyalariga bog‘liq holda yanada takomillashtirilishi mumkin.

Umuman olganda, jadval natijalari dron asosidagi monitoring tizimining yuqori aniqlik, tezkorlik va moslashuvchanlikka ega ekanligini ko‘rsatadi. Ushbu tizim ekologik nazoratni kuchaytirish, muammoli hududlarni tez aniqlash va tegishli choralar ko‘rishda samarali vosita bo‘lib xizmat qiladi.

NATIJA VA MUHOKAMA.

Mazkur tadqiqot doirasida dronlar yordamida havo ifloslanishini avtonom monitoring qilish tizimining amaliy sinovlari o‘tkazildi va olingan natijalar kompleks tahlil qilindi. Tajribalar turli hududlarda, jumladan, sanoat zonalari, transport harakati zich bo‘lgan shahar markazlari va nisbatan toza hududlarda olib borildi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, dron asosidagi monitoring tizimi atmosfera

ISSN 3030-3907

havosi tarkibidagi asosiy ifloslantiruvchi moddalarni aniqlashda yuqori aniqlik va tezkorlikni ta’minlaydi.

O‘lchovlar natijasida CO_2 konsentratsiyasi sanoat hududlarida sezilarli darajada yuqori ekanligi qayd etildi. Bu ko‘rsatkich ayrim nuqtalarda 600 ppm dan oshgan bo‘lib, bu sanoat chiqindilarining atrof-muhitga ta’siri yuqori ekanligini tasdiqlaydi. Transport qatnovi zich bo‘lgan hududlarda esa azot oksidlari (NOx) miqdori yuqori bo‘lib, bu avtomobil chiqindilari bilan bevosita bog‘liq ekanligi aniqlandi. Shuningdek, oltingugurt dioksidi (SO_2) darajasi sanoat korxonalari yaqinida yuqori bo‘lishi kuzatildi.

Mayda dispers zarrachalar — PM2.5 va PM10 bo‘yicha olingan natijalar alohida e’tiborga loyiqdir. PM2.5 ko‘rsatkichlari ayrim hududlarda sog‘liq uchun xavfli chegaralardan oshib ketgani aniqlanib, bu inson salomatligi uchun jiddiy xavf tug‘dirishini ko‘rsatadi. PM10 darajasi esa qurilish ishlari olib borilayotgan hududlarda yuqori bo‘lib, bu chang zarrachalarining asosiy manbai sifatida baholandi. Ushbu natijalar dronlar yordamida olingan ma’lumotlarning ekologik monitoringda muhim ahamiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi [8,9].

Tizimning texnik samaradorligi ham yuqori darajada ekanligi aniqlandi. Dronning harakatchanligi va turli balandliklarda parvoz qila olish imkoniyati tufayli uch o‘lchovli (3D) monitoring amalga oshirildi. Bu esa an’anaviy statsionar stansiyalarga nisbatan ancha kengroq va chuqurroq ma’lumot olish imkonini berdi. GPS texnologiyasi yordamida olingan ma’lumotlar aniq geografik koordinatalarga bog‘landi, bu esa ifloslanish manbalarini aniqlash va xaritalash jarayonini sezilarli darajada osonlashtirdi.

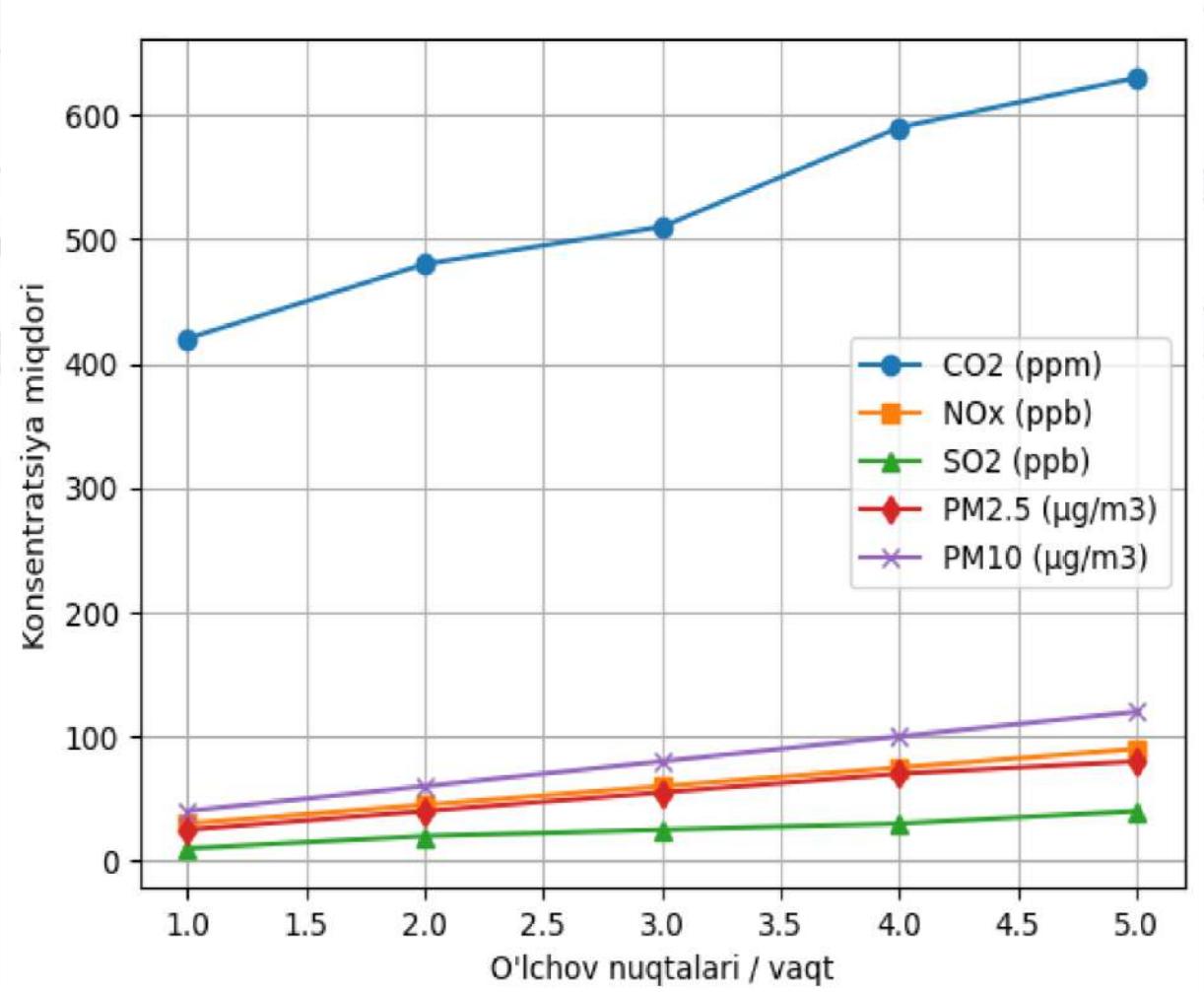
Muhokama jarayonida aniqlanishicha, dron asosidagi monitoring tizimi bir qator ustunliklarga ega. Avvalo, tizim mobil va moslashuvchan bo‘lib, qisqa vaqt ichida turli hududlarda monitoring olib borish imkonini beradi. Ikkinchidan, inson omilining kamayishi natijasida xavfli hududlarda ham xavfsiz o‘lchovlar amalga oshiriladi. Uchinchidan, real vaqt rejimida ma’lumot uzatish imkoniyati tezkor qaror qabul qilishni ta’minlaydi.

Shu bilan birga, ayrim cheklovlar ham mavjud. Jumladan, dronlarning parvoz davomiyligi batareya quvvatiga bog‘liq bo‘lib, uzoq muddatli monitoring uchun qo‘shimcha energiya yechimlari talab etiladi. Ob-havo sharoitlari, xususan, kuchli shamol va yog‘ingarchilik tizim samaradorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Bundan tashqari, yuqori aniqlikdagi sensorlarning narxi tizimni keng joriy etishda iqtisodiy to‘siq bo‘lishi mumkin.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, dronlar yordamida havo ifloslanishini avtonom monitoring qilish tizimi ekologik nazoratni yangi bosqichga olib chiqadi. Ushbu texnologiya yordamida real vaqt rejimida aniq, ishonchli va keng qamrovli ma’lumotlar olish mumkin bo‘lib, bu esa ekologik

ISSN 3030-3907

muammolarni tezkor aniqlash va samarali boshqarish imkonini beradi. Kelgusida ushbu tizimni sun’iy intellekt va katta ma’lumotlar (Big Data) texnologiyalari bilan integratsiya qilish orqali uning samaradorligini yanada oshirish mumkin [10].



1-rasm. Dronlar yordamida atmosfera havosidagi ifloslantiruvchi moddalarning vaqt bo‘yicha dinamik o‘zgarishi.

Mazkur diagramma dronlar yordamida o‘lchangan atmosfera havosidagi asosiy ifloslantiruvchi moddalarning vaqt (yoki o‘lchov nuqtalari) bo‘yicha o‘zgarish dinamikasini aks ettiradi. Grafikdan ko‘rinib turibdiki, barcha ko‘rsatkichlar bo‘yicha umumiy o‘sish tendensiyasi kuzatiladi, bu esa monitoring olib borilgan hududlarda ifloslanish darajasining ortib borayotganini anglatadi.

Xususan, karbonat angidrid (CO_2) konsentratsiyasi eng yuqori qiymatlarni ko‘rsatib, 420 ppm dan 630 ppm gacha oshgani kuzatiladi. Bu ko‘rsatkich sanoat faoliyati va yonilg‘i yoqish jarayonlari bilan bevosita bog‘liq bo‘lib, atmosferadagi issiqxona gazlari miqdorining ortayotganini bildiradi. NOx (azot oksidlari) darajasi ham izchil o‘sib borib, transport vositalari harakati intensivligi bilan bog‘liq holda 30 ppb dan 90 ppb gacha yetgani aniqlanadi.

ISSN 3030-3907

SO_2 (oltingugurt dioksidi) ko‘rsatkichlari nisbatan pastroq bo‘lsa-da, ularning ham o‘sish tendensiyasi mavjud bo‘lib, bu sanoat chiqindilarining mavjudligini tasdiqlaydi. Mayda dispers zarrachalar — PM2.5 va PM10 esa inson salomatligi uchun eng xavfli komponentlar sifatida ajralib turadi. PM2.5 darajasi 25 $\mu g/m^3$ dan 80 $\mu g/m^3$ gacha oshgani, PM10 esa 40 $\mu g/m^3$ dan 120 $\mu g/m^3$ gacha yetgani qayd etilgan. Bu esa ayniqsa nafas olish tizimi kasalliklari xavfining ortishini anglatadi.

Diagrammadagi barcha ko‘rsatkichlarning parallel ravishda o‘sib borishi ifloslanish manbalari kompleks xarakterga ega ekanligini ko‘rsatadi, ya’ni sanoat, transport va qurilish omillari birgalikda ta’sir ko‘rsatmoqda. Shu bilan birga, dronlar yordamida olingan ma’lumotlarning uzluksiz va real vaqtga yaqin tarzda yig‘ilishi ushbu o‘zgarishlarni aniq kuzatish imkonini bergan.

Umuman olganda, diagramma natijalari dron asosidagi monitoring tizimining samaradorligini tasdiqlaydi va ekologik vaziyatni tezkor baholash, ifloslanish manbalarini aniqlash hamda zarur choralarni ishlab chiqishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega ekanligini ko‘rsatadi.

XULOSA.

Mazkur tadqiqotda dronlar yordamida havo ifloslanishini avtonom monitoring qilish tizimining nazariy va amaliy jihatlari kompleks ravishda o‘rganildi. O‘tkazilgan tahlillar shuni ko‘rsatdiki, uchuvchisiz uchish apparatlari asosida tashkil etilgan monitoring tizimi atmosfera havosining sifatini aniqlashda yuqori aniqlik, tezkorlik va moslashuvchanlikni ta’minlaydi. Xususan, CO_2, NOx, SO_2 hamda PM2.5 va PM10 kabi asosiy ifloslantiruvchi moddalarni real vaqt rejimida aniqlash imkoniyati ushbu texnologiyaning muhim afzalliklaridan biri ekanligi tasdiqlandi.

Tadqiqot natijalari dronlar yordamida olingan ma’lumotlar ekologik monitoringning samaradorligini sezilarli darajada oshirishini ko‘rsatdi. An’anaviy statsionar kuzatuv tizimlariga nisbatan ushbu yondashuv keng hududlarni qamrab olish, qiyin yetib boriladigan joylarda ham monitoring olib borish hamda uch o‘lchovli fazoda (balandlik bo‘yicha) ma’lumotlarni yig‘ish imkonini beradi. Bu esa ifloslanish manbalarini aniqlash va ularning tarqalish dinamikasini chuqur tahlil qilishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Shu bilan birga, tadqiqot davomida tizimning ayrim cheklovlari ham aniqlandi. Jumladan, dronlarning parvoz davomiyligi batareya quvvatiga bog‘liq bo‘lib, uzoq muddatli monitoring uchun qo‘shimcha energiya manbalarini joriy etish zarur. Ob-havo sharoitlarining o‘zgaruvchanligi ham tizimning barqaror ishlashiga ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Bundan tashqari, yuqori aniqlikdagi sensorlar va texnologik jihozlarning nisbatan yuqori narxi tizimni keng miqyosda joriy etishda muayyan iqtisodiy cheklovlarni yuzaga keltiradi.

ISSN 3030-3907

Kelgusida ushbu tizimni yanada takomillashtirish maqsadida sun’iy intellekt algoritmlari, katta ma’lumotlar (Big Data) tahlili va bulutli texnologiyalar bilan integratsiya qilish maqsadga muvofiqdir. Bu esa real vaqt rejimida prognozlash, ifloslanish darajasini oldindan baholash va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarini yaratish imkonini beradi. Shuningdek, energiya tejamkor dron platformalarini ishlab chiqish va sensor texnologiyalarini optimallashtirish orqali tizim samaradorligini yanada oshirish mumkin.

Umuman olganda, dronlar yordamida havo ifloslanishini avtonom monitoring qilish tizimi zamonaviy ekologik muammolarni hal etishda innovatsion va istiqbolli yechim sifatida namoyon bo‘ladi. Ushbu yondashuv nafaqat ekologik nazoratni kuchaytiradi, balki barqaror rivojlanish va “aqlli shaharlar” konsepsiyasini amalga oshirishda ham muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

ADABIYOTLAR

1. Kumar, P., Rivas, I., Singh, A. P., Ganesh, V. J., & Pritchard, J. P. (2016). The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities. *Environment International, 75*, 199–205. https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.019

2. Villa, T. F., Gonzalez, F., Miljievic, B., Ristovski, Z. D., & Morawska, L. (2016). An overview of small unmanned aerial vehicles for air quality measurements: Present applications and future prospectives. *Sensors, 16*(7), 1072. https://doi.org/10.3390/s16071072

3. Burgués, J., Marco, S., & García, A. (2018). Environmental chemical sensing using small drones: A review. *Science of the Total Environment, 621*, 946–958. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.312

4. Shahbazi, M., Théau, J., & Ménard, P. (2014). Recent applications of unmanned aerial imagery in natural resource management. *GIScience & Remote Sensing, 51*(4), 339–365. https://doi.org/10.1080/15481603.2014.926650

5. Alvear, O., Zema, N. R., Natalizio, E., & Calafate, C. T. (2017). Using UAV-based systems to monitor air pollution in areas with poor accessibility. *Journal of Advanced Transportation, 2017*, 8204353. https://doi.org/10.1155/2017/8204353

6. Candiago, S., Remondino, F., De Giglio, M., Dubbini, M., & Gattelli, M. (2015). Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. *Remote Sensing, 7*(4), 4026–4047. https://doi.org/10.3390/rs70404026

7. Rai, A. C., Kumar, P., Pilla, F., Skouloudis, A. N., Di Sabatino, S., Ratti, C., Yasar, A., & Rickerby, D. (2017). End-user perspective of low-cost sensors for outdoor air pollution monitoring. *Science of the Total Environment, 607–608*, 691–705. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.266

ISSN 3030-3907

8. Tokekar, P., Hook, J. V., Mulla, D., & Isler, V. (2016). Sensor planning for a symbiotic UAV and UGV system for precision agriculture. *IEEE Transactions on Robotics, 32*(6), 1498–1511. https://doi.org/10.1109/TRO.2016.2603528

9. Li, X., Zhang, L., & Wang, X. (2019). UAV-based air quality monitoring system: A review. *Environmental Monitoring and Assessment, 191*, 735. https://doi.org/10.1007/s10661-019-7842-3

10. Motlagh, N. H., Taleb, T., & Arouk, O. (2016). Low-altitude unmanned aerial vehicles-based Internet of Things services: Comprehensive survey and future perspectives. *IEEE Internet of Things Journal, 3*(6), 899–922. https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2612119

ISSN 3030-3907

HUNARMANDCHILIK NAQSHLARI KOMPOZITSIYALARINI SHAKLLANTIRISHNING GEOMETRIK MODELLARI

Egamnazarova Sevaraxon Xasanboy qizi
Qo‘qon davlat universiteti doktoranti
ORCID: https://orcid.org/0009-0005-7238-8774
E-mail: sevara.gulomova97@gmail.com
Tel: +998903077497

Annotatsiya. Mazkur maqolada O‘rta Osiyo milliy hunarmandchilik naqshlarini — ganchkorlik, naqqoshlik va mozaika kompozitsiyalarini — kompyuter yordamida avtomatik yaratishga mo‘ljallangan parametrik shakl grammatikasi (PSG) algoritmi taqdim etiladi. Algoritm uch asosiy ustunda qurilgan: simmetriya guruhlarining kristallografik nazariyasi, tutam tahlilining rasmiy matematik apparati va cheklovlar-maqsadlar boshqaruv tizimi. Eksperimental sinovlar p4m va p6m simmetriya guruhlarida bir xil matematik asos orqali ham an'anaviy, ham yangi original naqshlar generatsiya qilish mumkinligini tasdiqlaydi. Taklif etilayotgan yondashuv raqamli madaniy meros, generativ dizayn va aqlli loyihalash tizimlarida qo‘llanilishga yaroqlidir.

Kalit so‘zlar: parametrik shakl grammatikasi; simmetriya guruhlari; geometrik naqsh generatsiyasi; tutam tahlili; raqamli madaniy meros; generativ dizayn.

Abstract. This article presents a parametric shape grammar (PSG) algorithm designed for the computer-aided automatic generation of Central Asian national craft ornaments, including ganch carving, ornamental painting, and mosaic compositions. The algorithm is based on three fundamental components: the crystallographic theory of symmetry groups, the formal mathematical apparatus of bundle analysis, and a constraint-objective management system. Experimental studies confirm that within the p4m and p6m symmetry groups, both traditional and novel original ornament patterns can be generated using a unified mathematical framework. The proposed approach can be effectively applied in digital cultural heritage, generative design, and intelligent design systems.

Keywords: parametric shape grammar; symmetry groups; geometric ornament generation; bundle analysis; digital cultural heritage; generative design.

Аннотация. В данной статье представлен алгоритм параметрической грамматики форм (PSG), предназначенный для автоматического компьютерного создания национальных ремесленных орнаментов Средней Азии, включая ганчи, художественную роспись и мозаичные композиции. Алгоритм основан на трёх ключевых компонентах: кристаллографической теории групп симметрии, формальном математическом аппарате пучкового анализа и системе управления ограничениями и целевыми функциями. Экспериментальные исследования подтверждают, что в рамках групп

симметрии p4m и p6m возможно генерирование как традиционных, так и новых оригинальных орнаментальных узоров на основе единой математической модели. Предлагаемый подход может быть применён в области цифрового культурного наследия, генеративного дизайна и интеллектуальных систем проектирования.

Ключевые слова: параметрическая грамматика форм; группы симметрии; генерация геометрических орнаментов; пучковый анализ; цифровое культурное наследие; генеративный дизайн.

KIRISH.

O‘rta Osiyo hunarmandchilik san'ati — Samarqand, Buxoro, Xiva me'moriy yodgorliklarini bezaydigan ganchkorlik, mozaika va naqqoshlik naqshlari — nafaqat estetik, balki matematik jihatdan ham o‘ta murakkab tuzilmaga ega. Bu naqshlar simmetriya, takrorlanish va davriylikning aniq qonuniyatlari asosida qurilgan bo‘lib, ularning har biri kristallografiyada aniqlangan 17 ta tekislik simmetriya guruhidan biriga tegishli. Aynan shu matematik tartiblilik ularni kompyuter yordamida formallashtirib, algoritmik jihatdan qayta yaratishga qulay ob'ektga aylantiradi.

Shu bilan birga, mazkur naqshlarni shunchaki vizual nusxalash yetarli emas — muhimi milliy uslubning ichki mantiqini, ya'ni hunarmand qo‘llanadigan konstruktiv tamoyillarni aniqlab, ularni rasmiy qoidalar tizimiga aylantirish. Bu masalani hal qilishning eng muvofiq vositasi *shakl grammatikasi* hisoblanadi. Stiny va Gips tomonidan 1971 yilda taklif qilingan shakl grammatikasi (Shape Grammar — SG) yondashuvi [3] vizual tuzilmalarni rasmiy qoidalar orqali ifodalash va yangi tuzilmalar generatsiya qilish imkonini beradi. Keyinchalik parametrik shakl grammatikasiga (PSG) kengaytirilgan bu metod turli sohalarda muvaffaqiyatli qo‘llanildi — Cui va Tang [8] Xitoy Zhuang etnik kashtachilik naqshlarini generatsiya qilish tizimini qurishda shu metoddan foydalangan. Biroq O‘rta Osiyo milliy hunarmandchilik naqshlarini PSG doirasida to‘liq algoritmlashtirish — bilimlarni qazib olishdan tortib butun naqsh generatsiyasigacha — ilmiy adabiyotda hali yetarlicha yoritilmagan.

Mazkur tadqiqotning maqsadi ushbu bo‘shliqni to‘ldirish: milliy hunarmandchilik naqshlari kompozitsiyalarining tuzilmaviy geometrik modellarini shakllantirish uchun PSG asosidagi algoritmni ishlab chiqish va eksperimental asoslash. Tadqiqot vazifalariga quyidagilar kiradi: (1) naqshlar korpusini shakllantirish va simmetriya guruhlari asosida tasniflash; (2) shakllar lug‘ati hamda cheklovlar-maqsadlar tizimini formal ta'riflash; (3) generatsiya algoritmini bosqichma-bosqich konstruktiv tarzda qurish; (4) algoritmning samaradorligini eksperimental sinovlar orqali ko‘rsatish.

ISSN 3030-3907

ADABIYOTLAR TAHLILI. Milliy geometrik naqshlarni kompyuterlashtirish yo‘lidagi dastlabki sistemali urinishlardan biri Abas va Salman [1] ning 1992 yilgi ishida amalga oshirildi. Ular islomiy simmetrik naqshlarni kompyuter grafikasida o‘rganishning guruh-nazariy metodologiyasini asoslab, naqsh tuzilmasini tahlil qilishda kristallografik simmetriya guruhlaridan foydalanishning ilmiy asosini yaratdi. Bizning tadqiqotimizda ham xuddi shu metodologik asos qabul qilingan — har bir naqsh avval simmetriya guruhi asosida tasniflanadi va fundamental soha aniqlanadi.

Marokash ustalari — Thalal, Benatia, Jali, Aboufadil va hammuallif [2] tomonidan 2011 yilda chop etilgan ish bizning ishimiz uchun alohida ahamiyatga ega. Ular an'anaviy «hasba» va «zellij» metodlarini yog‘och ishlash san'ati misolida tahlil qilib, naqsh hosil qilishning panjara-asosli texnikasini batafsil ko‘rsatdi. Biz shu texnikadan R0 qoidasi asosida foydalandik — panjara qurilishi aynan «hasba» metodi prinsiplariga tayanadi. Shuningdek, Paccard (1980) Marokash me'moriyatidagi an'anaviy geometrik san'atning muhandislik jihatlarini qayta tiklab, naqsh korpusini shakllantirish bosqichida etalon manba bo‘lib xizmat qildi.

Shakl grammatikasining nazariy asosini Stiny va Gips [3] yaratgan bo‘lsa, Stiny [4] keyinchalik «Qanday qoidadan foydalanish kerak?» nomli fundamental maqolasida PSG qoidalarini tanlash va tatbiq etishning nazariy prinsiplarini keng yoritdi. Bizning cheklovlar tizimimiz (C1, C2, C3) va maqsadlar tizimi (G1, G2) aynan Stiny [4] ning ushbu ishidagi metodologik tavsiyalari asosida qurilgan — faqat milliy naqshlarning o‘ziga xos geometrik talablariga moslashtirilgan holda.

Schattschneider [5] ning 17 ta tekislik simmetriya guruhini to‘liq tanib olish metodologiyasiga bag‘ishlangan ishi simmetriya tasnifida kalit manba hisoblanadi. Biz naqshlarni p4m va p6m guruhlari bo‘yicha tasniflashda va fundamental sohani avtomatik aniqlashda to‘g‘ridan-to‘g‘ri shu metodologiyaga tayanamiz. Grünbaum va Shephard [6] esa islomiy san'atdagi o‘rish (interlace) naqshlarini «tutam» (strand) tushunchasi asosida tahlil qilishning matematik apparatini ishlab chiqdi. Ushbu tutam tushunchasi bizning algoritmimizda markaziy o‘rin egallaydi — generatsiya jarayonining har bir fazasi aynan tutam qurishga asoslanadi.

Ostromoukhov [7] bezak naqshlarni kompyuter yordamida generatsiya qilishning matematik asboblari majmuasini tavsif etib, V-burchak parametrlari (θ, L1, L2) orqali tutamni ifodalash usulini ko‘rsatdi. Biz ushbu parametrlash sxemasini R1 qoidasini qurishda asosiy matematik vosita sifatida ishlatdik. Xuddi shu parametrlar C1 cheklovining formulasini ham belgilab berdi:

$$\theta \in \{2\pi/G_0 \times i,\ i \geq 2\}.$$

ISSN 3030-3907

Islomiy geometrik naqshlar generatsiyasida PSG ga eng yaqin turgan ish Jowers, Prats, Eissa va Lee [9] ning 2010 yilgi tadqiqoti hisoblanadi. Ular islomiy naqshlar generatsiyasida emergentlik hodisasini — boshlang‘ich qoidalardan kutilmagan yangi shakllarning paydo bo‘lishini — o‘rgandilar. Bizning algoritmimiz ham xuddi shu xususiyatga ega: bir xil kiruvchi panjara va simmetriya guruhida turlicha qoidalar ketma-ketligi tamomila boshqa-boshqa motivlar hosil qiladi. El Ouaazizi, Nasri va Benslimane [10] esa islomiy rozetta naqshlarini simmetriya guruhi asosida avtomatik tanib olish texnikasini taklif etdi. Bu ish bizning tadqiqotimizga teskari yo‘nalishda yondashadi: ular tayyor naqshdan simmetriyani ajratsa, biz simmetriyadan naqsh yasaymiz — ikkalasi birgalikda yaxlit bilim doirasini tashkil etadi.

Shunday qilib, mavjud ishlar naqshlarni tahlil qilish yoki alohida aspektlarini formallashtirishga qaratilgan bo‘lsa, bizning tadqiqotimiz ushbu elementlarni — panjara qurilishi, tutam tahlili, simmetriya transformatsiyalari va cheklovlar tizimini — yagona algoritmik zanjirga birlashtiradi. Bu farq tadqiqotning asosiy ilmiy yangiligini tashkil etadi.

METODOLOGIYA. Taklif etilayotgan metod ikki asosiy komponentdan iborat: birinchisi — mavjud milliy naqshlarni tahlil qilib, hunarmandchilik uslubiga xos bilimlarni PSG ga kodlash; ikkinchisi — shu grammatika qoidalari yordamida yangi, original davriy naqshlarni generatsiya qilish [1, 2, 3]. **1-rasmda** ushbu metodning blok-sxemasi keltirilgan: naqshlar korpusi → bilimlarni qazib olish → PSG qoidalari → generatsiya jarayoni. Bu to‘rt komponent bir-biriga uzluksiz bog‘liq bo‘lib, yaxlit tizimni tashkil etadi.

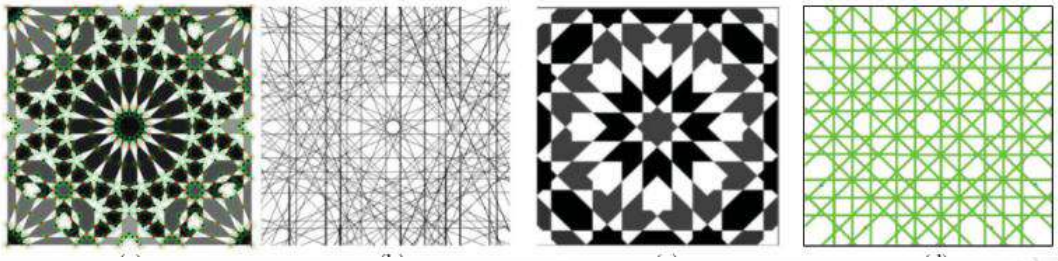


1-rasm. PSG asosida milliy hunarmandchilik naqshlarini tahlil qilish va generatsiya qilish metodining blok-sxemasi

Naqshlar korpusi va simmetriya tasnifi. PSG ni qurish uchun avval Markaziy Osiyo va Yaqin Sharq mintaqasidagi tarixiy naqshlarning keng qamrovli korpusi shakllantirildi. Abas va Salman [1] ning metodologiyasiga ko‘ra, naqshlar geometrik valentligi bo‘yicha turli tartibli rozettalar asosida tasniflanadi — uch burchaklilardan to o‘n ikki burchaklilarigacha. Simmetriya

ISSN 3030-3907

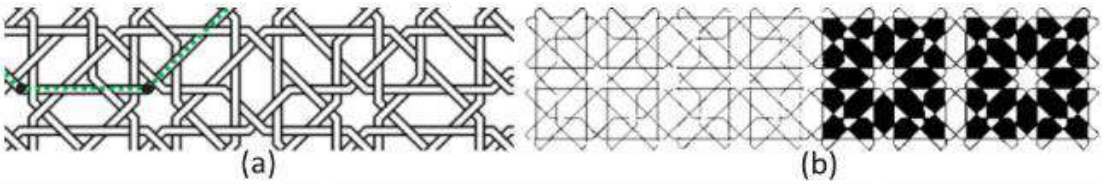
guruhlari bo‘yicha taqsimlanganda, amaliyotda eng ko‘p uchraydigan guruhlar *p4m* (kvadrat panjara) va *p6m* (olti burchakli panjara) ekanligi ma'lum bo‘ldi. Bu Schattschneider [5] tomonidan aniqlangan 17 ta simmetriya guruhidan eng ko‘p qo‘llaniladigan ikki guruh bo‘lib, O‘rta Osiyo ganchkorligining geometrik rang-barangligi aynan ushbu ikki strukturada mujassamlashgan.



2-rasm. Zellij naqshi namunalari: (a, b) — Marrakeshdagi Saidi maqbaralaridan; (c, d) — Fezdagi Attarine madrasasidan

Thalal va boshq. [2] tomonidan tavsiflab berilgan «hasba» va «zellij» metodlariga ko‘ra, naqshning asosini panjara tuzilmasi tashkil etadi. **2-rasmda** ko‘rsatilganidek, bu panjara chiziqlar va aylanalarning kesishmasidan hosil bo‘lib, barcha murakkab geometrik elementlar ana shu asosiy tarmoq bo‘ylab tanlab olinadi. Panjara *q* bo‘linma birligi va *h* o‘lchov parametri bilan tavsiflanadi. Bizning algoritmimizda panjara R0 qoidasiga binoan fundamental sohaga qo‘shiladi, generatsiya tugagach esa R4 orqali olib tashlanadi — bu to‘g‘ridan-to‘g‘ri an'anaviy ustalarning ish tartibini aks ettiradi.

Grünbaum va Shephard [6] tomonidan kiritilgan tutam (*strand*) tushunchasi naqsh tuzilmasini rasmiylashtirishning asosiy vositasi sifatida qabul qilindi. Tutam — V-model burchaklardagi ulangan segmentlar to‘plami. **3-rasmda** o‘rilgan va o‘rilmagan davriy naqshlar hamda ularning tutamlari ko‘rsatilgan.



3-rasm. O‘rilgan davriy naqsh (a) va o‘rilmagan davriy naqsh (b) namunalari. V-model burchaklardagi tutash segmentlar qora doira bilan belgilangan

PSG ning rasmiy apparatini qurish uchun Stiny va Gips [3] ning asl shakl grammatikasi nazariyasiga asoslanib, milliy naqshlar geometriyasiga moslashtirilgan besh ta'rif joriy etiladi:

Ta'rif 1 (Segment). Segment $l = \{p_1, p_2\}$ — ikki turli nuqta p_1 va p_2 ning har qanday jufti; ular chiziqning uchi nuqtalari deyiladi.

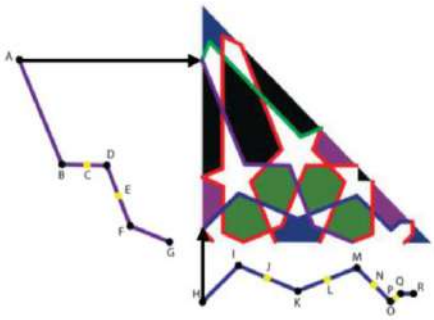
ISSN 3030-3907

Ta'rif 2 (Shakl). Shakl — boshqa chiziqqa aylantirish mumkin bo‘lmagan, cheklangan sondagi alohida chiziqlar to‘plami. Shaklning ifodalanishi yagona bo‘ladi.

Ta'rif 3 (Belgilangan nuqta). Belgilangan nuqta (p, V_i) — «V_i» belgisi bilan ta'minlangan p nuqtasidir.

Ta'rif 4 (Belgilangan shakl). Belgilangan shakl $\sigma = \langle s, P \rangle$ tartibli juft: s — shakl, P — belgilangan nuqtalarning cheklangan to‘plami.

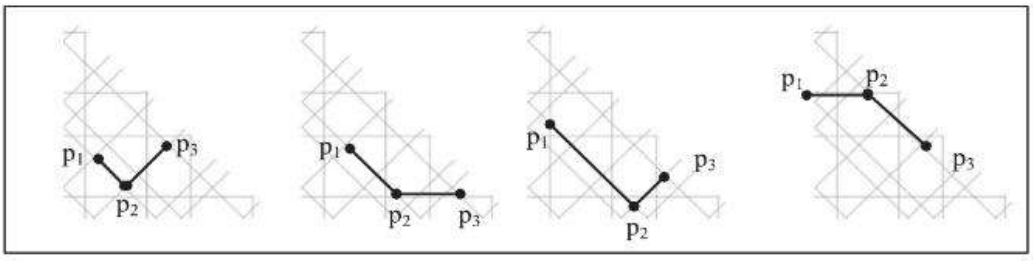
Ta'rif 5 (Shakllar oilasi). Shakllar oilasi $g(s)$ — parametrlashtirilgan shakl bo‘lib, s shaklidagi maksimal chiziqlarning koordinatalari o‘zgaruvchi sifatida ko‘riladi; θ burchagi va L1, L2 kesishish parametrlari orqali aniqlanadi **(4-rasm)**.



4-rasm. Tutamning ko‘rsatilishi: AB, BD, DF, FG segmentlari B, D, F V-burchaqlarda birlashadi

Ostromoukhov [7] ko‘rsatganidek, kuzatiladigan asosiy parametrlar — V-burchak burchagi $\theta = (p_1p_2p_3)$ va segmentlar uzunliklari l_1, l_2 hisoblanadi.

Amalda l_1 va l_2 panjara chiziqlaridagi kesishishlar soni L1 va L2 orqali o‘lchanadi . G_0 simmetriya tartibi bilan tavsiflanadigan panjara uchun mumkin bo‘lgan V-shakllar burchaglari $\{2\pi/G_0 \times i,\ i \geq 2\}$ to‘plamiga mansub — bu C1 cheklovining matematik ifodasi **(5-rasm)**.



5-rasm. Shakllar oilasi elementlarining namunalari turli θ, L1, L2 qiymatlari uchun

Stiny [4] belgilagan shakl algebrasi doirasida algoritmimizda quyidagi to‘rt asosiy amal qo‘llaniladi:

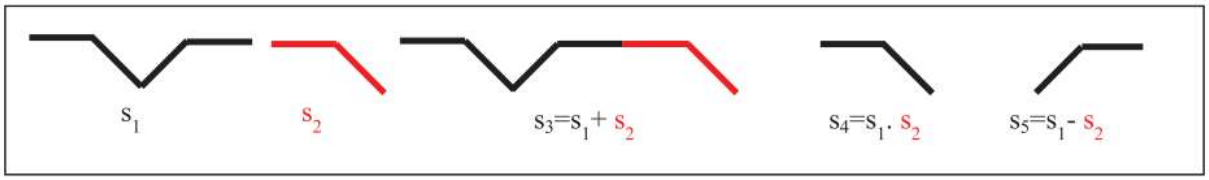
– $s_2 \leq s_1$ — quyi-shakl: s_2 ning har bir maksimal chizig‘i s_1 da mavjud bo‘lsa;

– $s_3 = s_1 + s_2$ — birlashma (union);

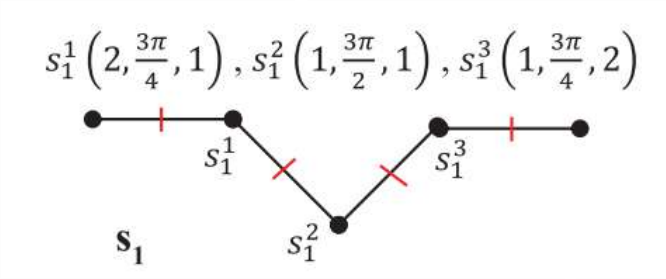
– $s_4 = s_1 \cdot s_2$ — kesishma (intersection);

ISSN 3030-3907

$-s_5 = s_1 - s_2$ — ayirma (difference).



6-rasm. Shaklarning tenglik munosabatlari: quyi-shakl, birlashma, kesishma, ayirma



7-rasm. Shaklarning kompozitsiyasi.

Shakllarning identiklik munosabatlari — bu shakllarni bo‘lish, birlashtirish, kesishish, ayirma va boshqa amallar orqali boshqa shakllardan hosil qilish yoki ajratish munosabatlaridir. **6-rasmda** ushbu amallarning ko‘rinishi berilgan.

- Agar va faqat agar s_2 ning har bir maksimal chizig‘i s_1 ichida mavjud bo‘lsa, s_2 shakli $s_1$ning qism-shakli hisoblanadi va $s_2 \leq s_1$ ko‘rinishida belgilanadi.
- s_1 va s_2 shakllarining birlashmasi $s_3 = s_1 + s_2$ deb belgilanadi.
- s_1 va s_2 shakllarining kesishmasi $s_4 = s_1 \cdot s_2$ deb belgilanadi.
- s_1 va s_2 orasidagi ayirma $s_5 = s_1 - s_2$ deb belgilanadi (8-rasm) .

Biz s_1 ni quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$s_1 = s_1^1 + s_1^2 + s_1^3$$

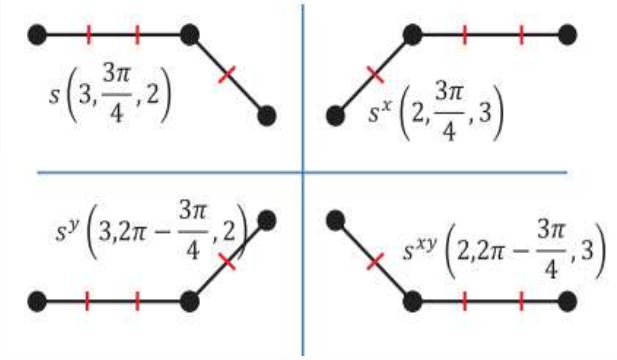
bu yerda **(7-rasmda ko‘rsatilganidek):**

$$s_1^1\left(2,\frac{3\pi}{4},1\right),\ s_1^2\left(1,\frac{3\pi}{2},1\right),s_1^3\left(1,\frac{3\pi}{4},2\right)$$

Shuningdek, s_1s1 ni quyidagicha ham aniqlash mumkin:

$$s_1 = s_1^1\left(2,\frac{3\pi}{4},1\right) + s_1^2\left(1,\frac{3\pi}{2},1\right) + s_1^3\left(1,\frac{3\pi}{4},2\right) = s_1\left(2,\frac{3\pi}{4},1+1,\frac{3\pi}{2},1+1,\frac{3\pi}{4},2\right) == s_1\left(2,\frac{3\pi}{4},2,\frac{3\pi}{2},2,\frac{3\pi}{4},2\right)$$

ISSN 3030-3907



8-rasm. Shakllar transformatsiyalari: ko‘chirish (translyatsiya), aylantirish (rotatsiya), aks ettirish (refleksiya)

Ushbu transformatsiyalar ko‘chirish (translyatsiya), aylantirish (rotatsiya), aks ettirish (refleksiya), masshtablash yoki ularning cheklangan kompozitsiyalaridan iborat. "s" shakliga nisbatan "t" transformatsiyasi t(s) bilan belgilanadigan shakl ko‘rinishida ifodalanadi. Masshtablashni o‘z ichiga olmagan transformatsiya izometrik transformatsiya deb ataladi. **8-rasm** "s" shaklining X o‘qi va Y o‘qi bo‘yicha ko‘zgusini ko‘rsatadi:

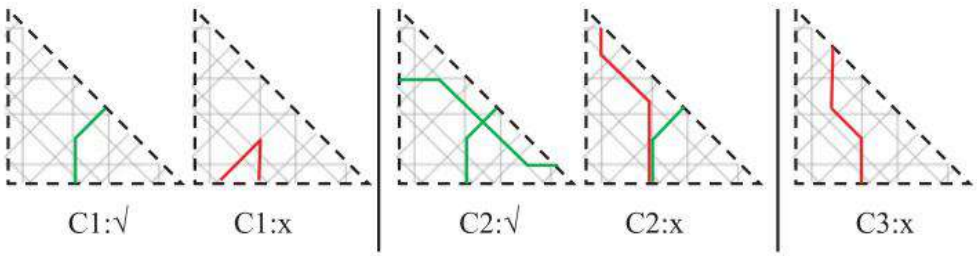
$$mx(s) = ,\quad my(s) = s^y,\quad mxy(s) = my(s^x) = mx(s^{\,y})s^x$$

Algoritm ishonchliligi va milliy uslub autentikligini ta'minlash uchun Stiny [4] ning metodologik tavsiyalari asosida uch cheklov va ikki maqsad belgilandi [4]. Cheklovlar noto‘g‘ri naqshlar generatsiyasini to‘sadi, biroq xilma-xillik imkoniyatini cheklamaydi:

–**C1:** Har bir tutamning V-burchagi $\theta \in \{2\pi/G_0 \times i,\ i \geq 2\}$ to‘plamiga mansub bo‘lishi kerak — bu panjara simmetriya tartibidan kelib chiqadigan geometrik majburiyat;

–**C2:** Belgilangan shaklning birorta segmenti boshqa belgilangan shakka tegishli bo‘lmasligi kerak — tutamlarning bir-biriga qorishib ketishini oldini oladi;

–**C3:** Har bir tutam segmenti panjaraning bir qismi bo‘lishi shart — naqshning an'anaviy konstruktiv mantiqqa muvofiqligini ta'minlaydi **(9-rasm)**.



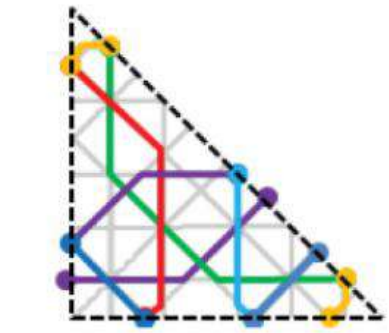
9-rasm. C1, C2, C3 cheklovlarni tekshirishning ko‘rsatilishi

Maqsadlar generatsiya jarayonining to‘xtatish shartini belgilaydi:

–**G1:** Tutamning fundamental soha tomonlarida tugashi — faza maqsadi; bir tutam muvaffaqiyatli generatsiya qilindi degan signal **(10-rasm)** ;

ISSN 3030-3907

–**G2:** Cheklovlarga mos keladigan birorta qoida qolmaydigan holat — yakuniy maqsad; butun motivning to‘liq qurilganligini bildiradi.



10-rasm. G1 (tutam fundamental soha tomonida tugashi) va G2 (qoidalar tuganishi) holatlari

Algoritm to‘qqiz shakl qoidasidan foydalanadi — ularning olti tasi shablon motivini, uch tasi simmetriyani boshqaradi [4]. Panjara qurilishida Thalal va boshq. [2] tomonidan tavsiflab berilgan an'anaviy «hasba» metodi asosida quyidagi qoidalar qo‘llaniladi:

–**R0:** Fundamental sohaga panjara qo‘shish: $sc = s_i \cdot Panjara$ (kesishma amali). Panjara «hasba» metodiga ko‘ra aniqlanadi;

–**R1:** Joriy tutamga *g(s)* shakllar oilasidan tanlangan *sg* shaklini qo‘shish: $sc = sc + sg.\ \theta, L1, L2$ parametrlari orqali boshqariladi;

–**R2:** Tanlangan *sg* shaklining V-burchagiga mos panjara tugunini o‘chirish;

–**R3:** Ikki tutam kesishmasidan hosil bo‘lgan X-burchakdagi panjara tugunini o‘chirish;

–**R4:** Panjara va fundamental soha konturini olib tashlash — asosiy kompozitsion tuzilmani ochib berish;

–**R5:** Generatsiya qilingan eskizni bo‘yash.

–**R6:** Berilgan chiziq bo‘yicha shaklni ko‘zguda aks ettirish (refleksiya);

–**R7:** Berilgan nuqta atrofida shaklni aylantirish (rotatsiya);

–**R8:** Aks ettirib, so‘ng berilgan vektor bo‘yicha ko‘chirish (glide-refleksiya);

–**R9:** Birlik motivini ikki siljish vektori orqali ko‘paytirish — tekislikni to‘ldirish.

11-rasmda shablon motifni (andoza naqshni) yaratish uchun qo‘llanilgan shakl qoidalarining illyustratsiyasi/tasviri berilgan.

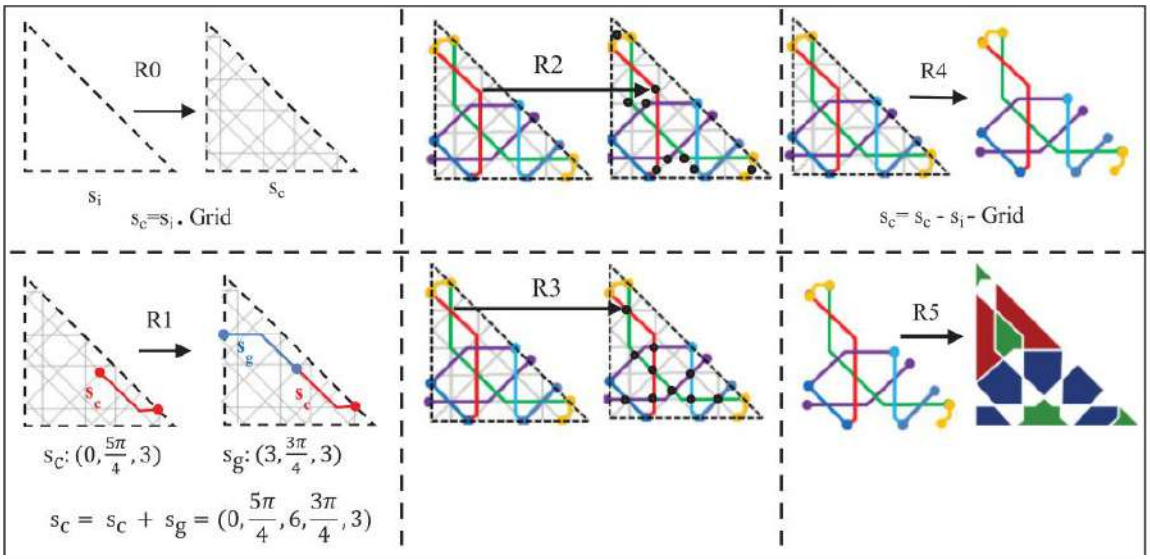
Simmetriya shakli qoidalari (Symmetry Shape rules) Bu qoidalar to‘plami shablon motifning izometrik o‘zgarishlariga (transformatsiyalariga) tegishli. R6:R8 qoidalari takrorlanuvchi birlik motifni hosil qilish uchun, R9

ISSN 3030-3907

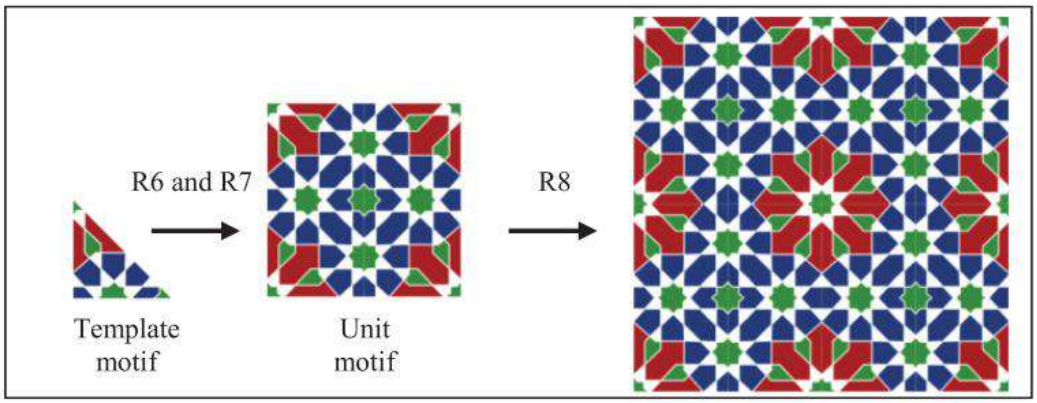
qoidasi esa birlik motif nusxalaridan foydalanib tekislikni qoplash uchun ishlatiladi (12-rasm).

•**R6:** berilgan chiziq bo‘ylab aks ettirish orqali shaklning (fundamental sohaning) ko‘zgudagi aksini yaratish.

•**R7:** berilgan nuqta atrofida burish orqali shaklning (fundamental sohaning) burilgan nusxasini yaratish.



11-rasm. Shablon motivini yaratish uchun R0–R5 qoidalarini qo‘llash bosqichlari



12-rasm. Simmetriya shakl qoidalari: R6 (refleksiya), R7 (rotatsiya), R8 (glide-refleksiya), R9 (translyatsiya)

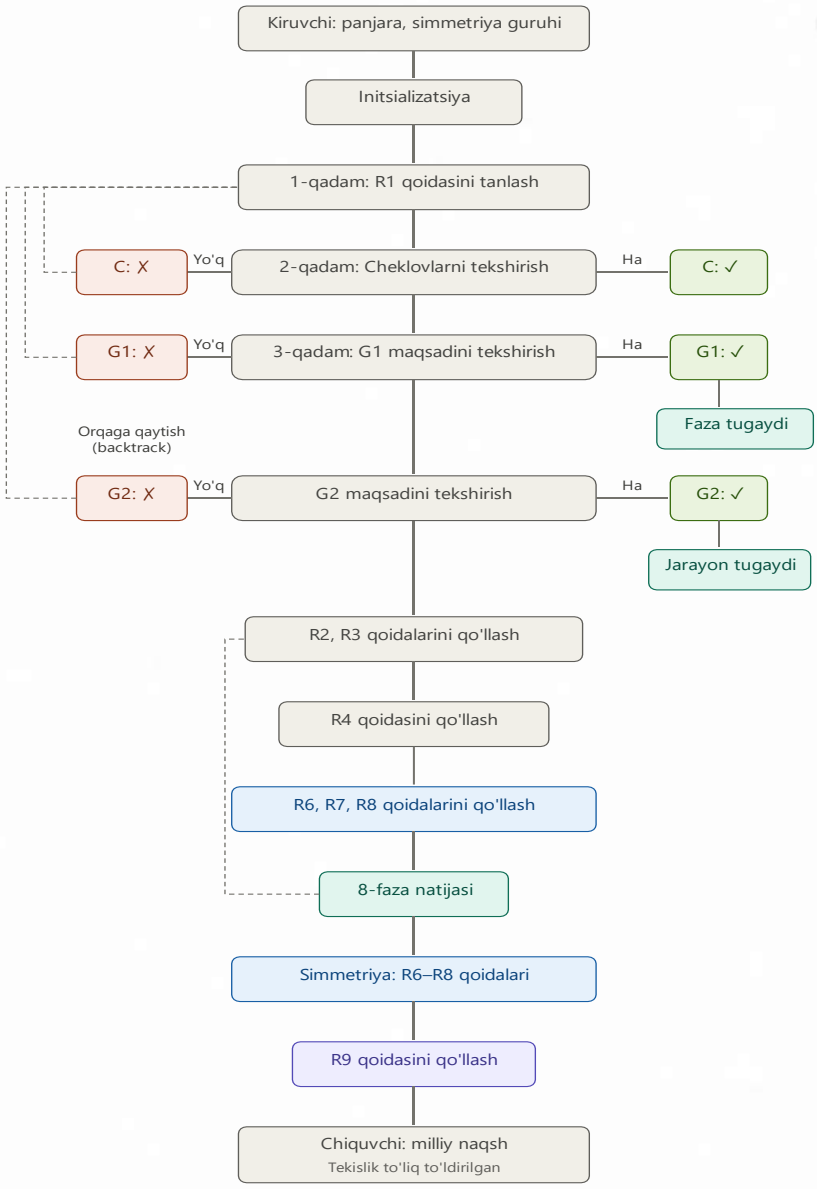
NATIJALAR. Yuqorida tavsiflangan matematik apparat asosida PSG algoritmi quyidagi uch fazada ishlaydi. Jowers va boshq. [9] ko‘rsatgan emergentlik tamoyiliga ko‘ra, har bir faza avvalgi faza natijasini aksiomat sifatida qabul qiladi va o‘z grammatikasini qo‘llaydi — shu tarzda murakkablik bosqichma-bosqich ortib boradi:

1. **Shablon motivi** (template motif): R0 bilan panjara qo‘shiladi, R1–R3 orqali G1 maqsadi bajarilgunicha tutamlar chiziladi, R4–R5 bilan panjara olib tashlanadi;

ISSN 3030-3907

2. **Birlik motivi** (unit motif): R6–R8 simmetriya qoidalari kiruvchi simmetriya guruhiga ko‘ra qo‘llaniladi, fundamental sohadan birlik motivi hosil bo‘ladi;

3. **To‘liq naqsh:** R9 qoidasi orqali birlik motivi ikki siljish vektori bo‘yicha ko‘paytiriladi — tekislik to‘ldiriladi.



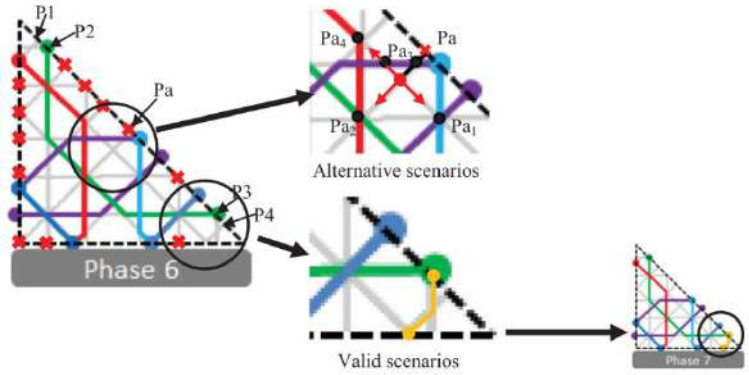
13-rasm. Shakl grammatikasi asosida milliy hunarmandchilik naqshlarini generatsiya qilish umumiy jarayoni

Algoritmning to‘liq pseudo-kodi 1-algoritmda keltirilgan. Kiruvchi ma'lumotlar: panjara va simmetriya guruhi. Ostromoukhov [7] ko‘rsatganidek, simmetriya guruhini bilish fundamental sohaning shaklini avtomatik aniqlash va R6–R8 transformatsiyalar ketma-ketligini belgilash imkonini beradi.

ISSN 3030-3907

1-ALGORITM: Milliy hunarmandchilik naqshi generatsiyasi
Kiruvchi: panjara, simmetriya guruhi G_0
Chiquvchi: milliy hunarmandchilik naqshi
1. s_1 shakliga panjara qo‘shish (R0): $s_1 \rightarrow s_2$
2. P1 — fundamental soha va panjara kesishmasidagi belgilangan nuqtalar ro‘yxatini aniqlash
3. G_0 dan g(s) shakllar oilasini aniqlash
4. P1 dan tasodifiy boshlang‘ich nuqta tanlash
5. G2 maqsadi bajarilmaguncha takrorlash:
5.1. R1 qoidasi: g(s) dan sg tanlab, sc = sc + sg; parametrlar: θ, L1, L2
5.2. C1, C2, C3 cheklovlarni tekshirish; buzilsa — muqobil sg yoki backtrack
5.3. G1 bajarilsa — joriy faza tugaydi, natija keyingi faza uchun aksiomat
6. R2, R3: ishlatilgan panjara tugunlarini o‘chirish
7. R4: panjara va fundamental soha konturini olib tashlash
8. R6–R8: simmetriya guruhiga mos transformatsiyalarni qo‘llash
9. R9: birlik motivini ko‘paytirish — tekislikni to‘ldirish

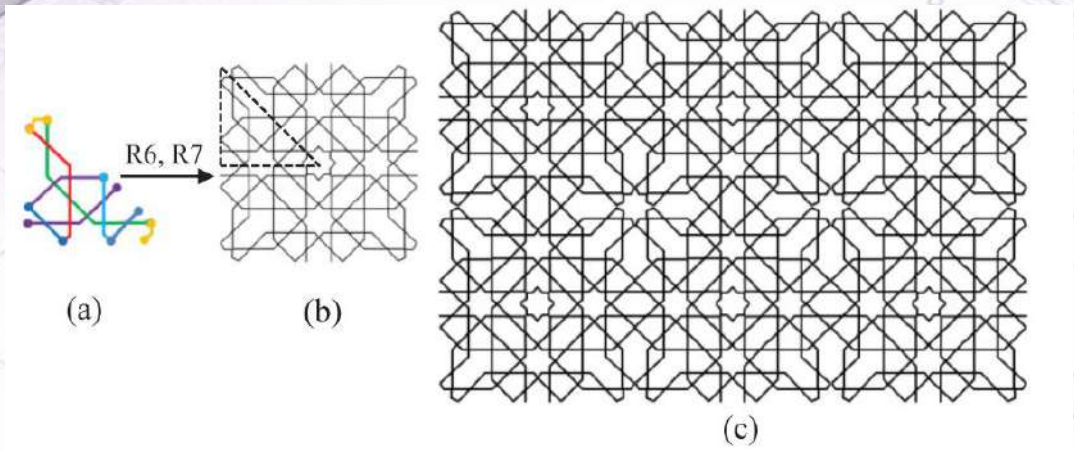
Muqobil ssenariylar va backtrack mexanizmi. Generatsiya jarayoni deterministik emas — bir xil boshlang‘ich shartlarda turli ssenariylar mumkin. 14-rasmda to‘g‘ri va muqobil ssenariylar ko‘rsatilgan. Tahlil shuni ko‘rsatadiki, Pa nuqtasidan boshlanuvchi tutamlar G1 maqsadiga erisha olmaydi, chunki: Pa_1 va Pa_2 R3 qoidasiga ko‘ra o‘chirilgan; Pa_4 R2 qoidasiga ko‘ra o‘chirilgan; C2 cheklovi Pa_3 da yo‘nalish o‘zgartirishga yo‘l qo‘ymaydi.



14-rasm. Generatsiya jarayonining muqobil (x bilan belgilangan) va to‘g‘ri ssenariylari

Algoritmning backtrack mexanizmi bunday holatlarda avtomatik ishga tushib, muqobil boshlang‘ich nuqta yoki R1 qoidasining boshqa parametrlarini sinab ko‘radi. Faqat {P1, P2, P3, P4} to‘plamidan boshlanadigan chiziqlar G1 maqsadiga to‘g‘ri keluvchi 7–8 faza natijalariga olib keladi. Bu Jowers va boshq. [9] qayd etgan emergentlik hodisasining aniq misoli: ba'zi boshlang‘ich shartlar yopiq motivlarga olib kelsa, boshqalari olib kelmaydi.

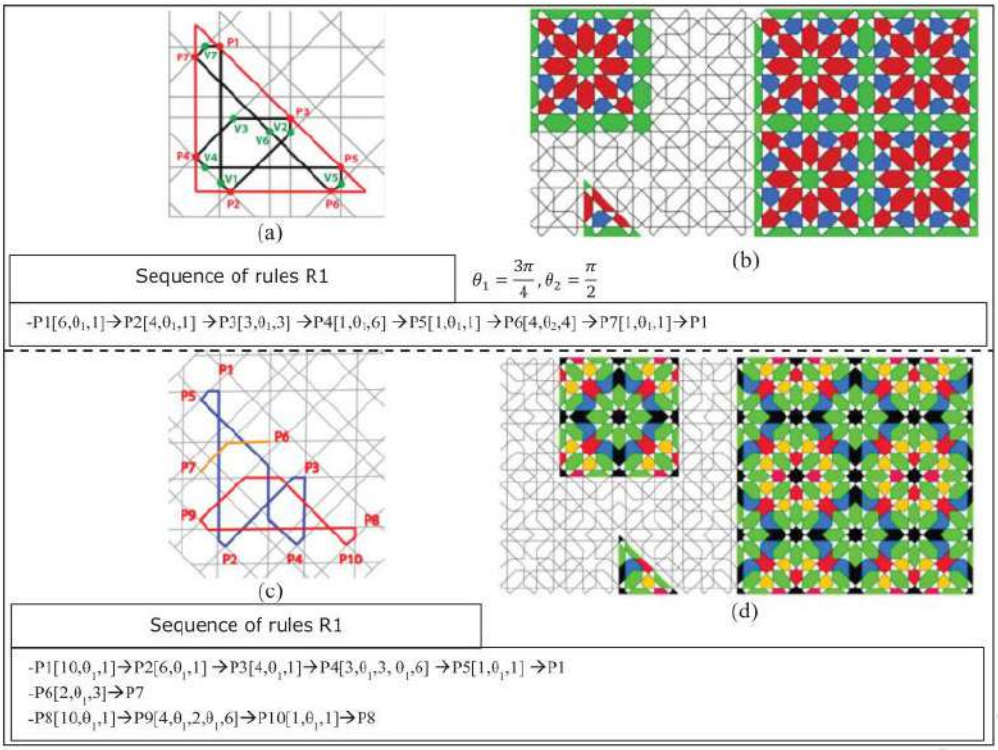
ISSN 3030-3907



15-rasm. Bosqichma-bosqich generatsiya: (a) shablon motivi qurilishi; (b) p4m uchun birlik motivi (R6–R8 qoidalari); (c) to‘liq naqsh (R9 qoidasi)

Eksperimental sinovlar natijalari

Algoritmni sinovdan o‘tkazish maqsadida bir xil panjara va simmetriya guruhida shakl qoidalarini turlicha qo‘llash orqali bir nechta naqsh to‘plamlari generatsiya qilindi. Natija Cui va Tang [8] ning Zhuang kashtachiligi bo‘yicha olingan xulosasiga mos keladi: bir xil grammatik asos tamomila boshqacha ko‘rinadigan motivlar hosil qilishi mumkin.

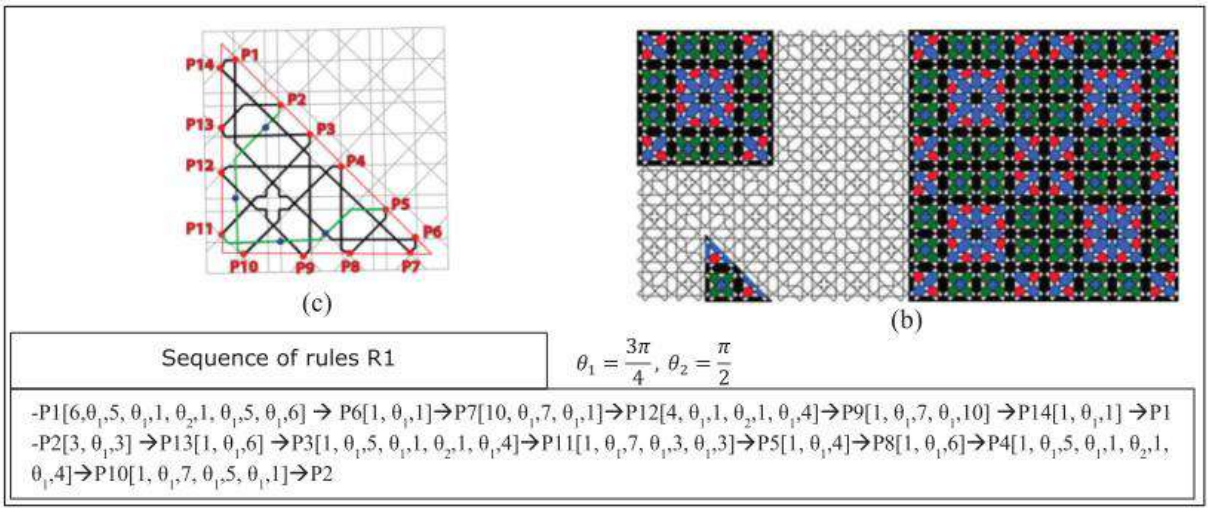


16-rasm. Bir xil panjara va PSG yordamida generatsiya qilingan motivlar: (a, c) — fundamental sohada shablon motivlari; (b) — an'anaviy milliy naqsh; (d) — yangi original naqsh

16-rasmda ko‘rishimiz mumkinki, (b) va (d) naqshlari bir xil panjara va bir xil simmetriya guruhidan kelib chiqqan, biroq R1 qoidasida turli θ va L1, L2 parametrlari tanlanganligi tufayli tamomila boshqacha ko‘rinishga ega. Bu

ISSN 3030-3907

algoritmning milliy uslub autentikligini saqlab, bir vaqtda yangilik yarata olish qobiliyatini ko‘rsatadi.

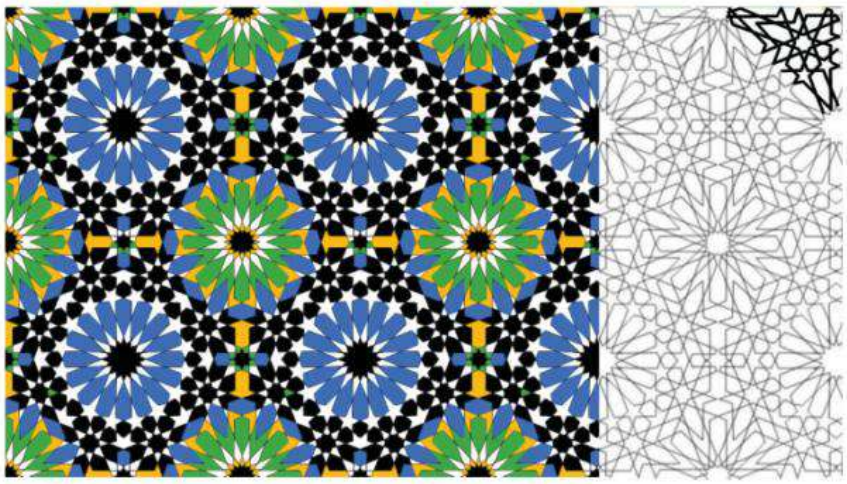


17-rasm. Katta o‘lchamda generatsiya: (a) fundamental sohada qoidalar; (b) birlik motivi va tekislik to‘ldirilishi

17-rasmda taklif qilinayotgan parametrik shakllar grammatikasini 16-rasmdagi kabi bir xil dastlabki shakl va bir xil simmetriya guruhiga, ammo yirikroq o‘lchamdagi aynan o‘sha to‘rga (setkaga) qo‘llash orqali olingan yangi motivlar tasvirlangan.

Murakkab motivlarni generatsiya qilishda qoidalar ketma-ketligi aniq formula bilan yoziladi. Masalan, P10 dan P2 gacha bo‘lgan tutam [4] quyidagicha ifodalanadi:

$$P10[1, \theta_1, 7, \theta_1, 5, \theta_1, 1] \rightarrow P2 = P10[[R1,(1,\theta_1,4)] + [R1,(3,\theta_1,3)] + [R1,(2,\theta_1,1)]] \rightarrow P2$$



18-rasm. An'anaviy panjara asosida generatsiya qilingan murakkab yangi motiv — 2-rasmdagi motivning panjara strukturasini saqlab, tamomila yangi ko‘rinish hosil qiladi

Taklif etilayotgan usuldan foydalangan holda, **18-rasmda** ko‘rsatilganidek, an’anaviy motivlarning (naqshlarning) xususiyatlarini saqlab qolgan holda,

ISSN 3030-3907

murakkab dizaynlarni yaratishda yanada kengroq moslashuvchanlikka (fleksibillikka) erishiladi

MUHOKAMA. Natijalar tahlili bir necha muhim xulosaga imkon beradi. Birinchidan, cheklovlar tizimi (C1–C3) algoritmning kalit afzalligi hisoblanadi. Stiny [4] ta'kidlaganidek, yaxshi cheklovlar tizimi nafaqat noto‘g‘ri naqshlarni to‘sadi, balki dizaynerni cheksiz imkoniyatlar o‘rniga maqsadli izlash fazosiga yo‘naltiradi. Bizning tajribamiz ham shu narsani ko‘rsatdi: C1 cheklovi bilan boshqarilgan R1 qoidasi sakkizinchi tartibli panjara uchun 200 dan ortiq mumkin bo‘lgan konfiguratsiyani beradi — bu xilma-xillik uchun yetarli, ammo cheksiz emas.

Ikkinchidan, algoritmning asosiy ilmiy hissasi — bilimlarni qazib olish (Abas va Salman [1] va Thalal va boshq. [2] ishlari asosida) va generatsiya jarayonlarini (Stiny va Gips [3] grammatikasi asosida) birinchi marta yagona zanjirga birlashtirganligidir. Avvalgi ishlar bu ikki jihatni odatda alohida ko‘rib chiqar edi. El Ouaazizi va boshq. [10] tahlildan simmetriyani chiqarsa, biz simmetriyadan tahlil quramiz — ushbu tadqiqot shu ikki yo‘nalishni tutashtiradigan ko‘prik vazifasini o‘taydi.

Algoritmning asosiy cheklovi — hisoblash murakkabligining kiruvchi panjara tartibiga nisbatan keskin o‘sishi. Backtrack mexanizmi qoidalar ketma-ketligi bo‘yicha o‘rganishni amalga oshirmaydi — har safar yangidan qidiradi. Ostromoukhov [7] tomonidan asoslangan matematik apparat ushbu murakkablikni boshqarishda asqotadi, biroq katta tartibli panjaralar uchun yetarli emas. Bunday panjaralar uchun mashinali o‘rganish yordamida qoidalar ketma-ketligini oldindan bashorat qilish keyingi tadqiqotlarning mantiqiy yo‘nalishi bo‘lib, El Ouaazizi va boshq. [10] ning naqsh tanib olish algoritmlari bu yo‘nalishda qulay tayanch nuqtasi bo‘la oladi.

Tadqiqotning kelajakdagi rivojlanish yo‘nalishlari: (1) algoritmni o‘zbek kashtachiligi va girih plitalari kabi boshqa etnik naqsh turlariga kengaytirish; (2) Cui va Tang [8] yondashuvi bilan qiyosiy sinov o‘tkazish; (3) naqsh generatsiyasini interaktiv loyihalash muhiti bilan integratsiyalash.

XULOSA. Mazkur tadqiqotda O‘rta Osiyo milliy hunarmandchilik naqshlari kompozitsiyalarini kompyuter yordamida yaratishning parametrik shakl grammatikasi asosidagi algoritmi ishlab chiqildi. Tadqiqotning asosiy ilmiy natijalari:

Abas va Salman **[1]** va Thalal va boshq. **[2]** ishlari asosida naqshlar korpusi shakllantirildi va «hasba» metodi R0 qoidasiga kodlandi — an'anaviy hunarmandchilik bilimini raqamli algoritmga aylantirish yo‘lidagi birinchi bosqich.

ISSN 3030-3907

Stiny va Gips **[3]** va Stiny **[4]** nazariyasi asosida besh ta'rif, uch cheklov (C1–C3) va ikki maqsaddan (G1–G2) iborat rasmiy apparat qurildi — naqsh generatsiyasini matematik jihatdan aniq boshqarish imkonini beradi.

R0 dan R9 gacha bo‘lgan to‘qqiz qoidali grammatika p4m va p6m simmetriya guruhlarida — Schattschneider **[5]** tasnifiga ko‘ra O‘rta Osiyo naqshlarida eng ko‘p uchraydigan guruhlar — muvaffaqiyatli ishlashi ko‘rsatildi.

Grünbaum va Shephard **[6]** hamda Ostromoukhov **[7]** dan olingan tutam tushunchasi va V-burchak parametrlari (θ, L1, L2) generatsiya jarayonining asosiy matematik mexanizmi sifatida muvaffaqiyatli qo‘llanildi.

Eksperimental sinovlar — Cui va Tang **[8]** va Jowers va boshq. **[9]** natijalari bilan qiyosda — algoritmning bir xil matematik asosda ham an'anaviy, ham yangi original naqshlar generatsiya qila olishini tasdiqladi.

Ushbu natijalar mazkur algoritmni raqamli madaniy meros, generativ dizayn va aqlli loyihalash tizimlarida ishlatishning ishonchli metodologik asosi sifatida belgilaydi. Hisoblash murakkabligini kamaytirish va algoritmni boshqa etnik naqsh turlariga kengaytirish keyingi tadqiqotlarning asosiy yo‘nalishi bo‘ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Abas S.J., Salman A. Geometric and group-theoretic methods for computer graphic studies of islamic symmetric patterns // Computer Graphics Forum. — 1992. — Vol. 11. — P. 43–53.
2. Thalal A., Benatia M., Jali A., Aboufadil Y. et al. Islamic geometric patterns constructed by craftsmen working on wood // Symmetry: Culture and Science. — 2011. — Vol. 22, №1–2. — P. 103–130.
3. Stiny G., Gips J. Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture // IFIP Congress. — 1971. — Vol. 2.
4. Stiny G. What rule(s) should I use? // Nexus Network Journal. — 2011. — Vol. 13, №1. — P. 15–47.
5. Schattschneider D. The plane symmetry groups: their recognition and notation // The American Mathematical Monthly. — 1978. — P. 439–450.
6. Grünbaum B., Shephard G. Interlace patterns in islamic and moorish art // Leonardo. — 1992. — P. 331–339.
7. Ostromoukhov V. Mathematical tools for computer-generated ornamental patterns // Electronic Publishing, Artistic Imaging, and Digital Typography. — Springer, 1998. — P. 193–223.
8. Cui J., Tang M.-X. Integrating shape grammars into a generative system for zhuang ethnic embroidery design exploration // Computer Aided Design Journal. — 2013. — Vol. 45, №3. — P. 591–604.

ISSN 3030-3907

9. Jowers I., Prats M., Eissa H., Lee J.-H. A study of emergence in the generation of islamic geometric patterns // Proceedings of CAADRIA'10. — Hong Kong, 2010. — P. 39–48.
10. El Ouaazizi A., Nasri A., Benslimane R. A rotation symmetry group detection technique for the characterization of islamic rosette patterns // Pattern Recognition Letters. — 2015. — Vol. 68, Part 1. — P. 111–117.
11. Egamnazarova, S. (2025). Digitalization and modern application of Islamic patterns. SHOKH LIBRARY.
12. Egamnazarova, S., & Siddiqov, I. (2026). TUTASHUVCHI KO ‘PBURCHAKLAR ASOSIDA MILLIY HUNARMANDCHILIK YULDUZSIMON ORNAMENT KOMPOZITSIYALARINING TUZILMAVIY GEOMETRIK MODELLASHTIRISH USULLARI. Потомки Аль-Фаргани, (2), 120-132.
13. Egamnazarova, S. (2026). SUN’IY INTELLEKT VA GENERATIV ALGORITMLAR ASOSIDA ISLOM GEOMETRIK NAQSHLARINI TAHLIL QILISH VA SINTEZ QILISH. Потомки Аль-Фаргани, (1), 15-20.
14. Nasri, A., & Benslimane, R. (2017). Parametric shape grammar formalism for Moorish geometric design analysis and generation. *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage*, *10*(4), Article 19.
15. Qizi, E. S. X. (2025). INFOGRAFIKA: TA’LIM JARAYONIDA VIZUAL MA’LUMOTLARNI YETKAZISHNING ZAMONAVIY USULI. Al-Farg‘oniy avlodlari, 1(2), 23-28.

ELEKTR ENERGIYANI UZATISHDA ELEKTR TARMOG‘IDAGI QUVVAT ISROFINI ISHLAB CHIQARUVCHI VA TAQSIMLOVCHI KORXONALAR ORASIDA TAQSIMLASH

Kurbonov Nurali Abdullayevich
Qarshi Davlat Texnika Universiteti o‘qituvchi
Djurayev Shuxrat Ixtiyorovich
Qarshi Davlat Texnika Universiteti o‘qituvchi
Kurbanova Munisakhon Sandjar kizi
Qarshi Davlat Texnika Universiteti magistr
Buxorov Habibullo Jahongir o‘g‘li
Qarshi Davlat Texnika Universiteti talaba
Eshtemirov Jamshidbek Olimjon o‘g‘li
Qarshi Davlat Texnika Universiteti talaba
O‘rolov Dilshod Baxriddin o‘g‘li
Qarshi Davlat Texnika Universiteti talaba
Panjiyev Asilbek Bekmurodovich
Qarshi Davlat Texnika Universiteti talaba

Annotatsiya. Ushbu maqolada elektr energiyasini uzatish jarayonida elektr tarmoqlarida yuzaga keladigan quvvat isroflarini ishlab chiqaruvchi va taqsimlovchi korxonalar o‘rtasida taqsimlash masalalari ko‘rib chiqilgan. Elektr tarmog‘i elementlaridan oqadigan toklar asosida quvvat yo‘qotishlarini aniqlash va ularni bozor ishtirokchilari o‘rtasida taqsimlash usuli taklif etilgan. Shuningdek, mazkur yondashuvning tranzit xizmatlari tariflarini shakllantirish hamda elektr energiyasi uzatish xarajatlarini hisoblashdagi ahamiyati yoritilgan.

Kalit so‘zlar: elektr energiyasi, quvvat isrofi, elektr tarmog‘i, tranzit xizmatlari, tarif shakllantirish, ishlab chiqaruvchi korxona, taqsimlovchi kompaniya, quvvat yo‘qotishlari.

Аннотация. В данной статье рассмотрены вопросы распределения потерь мощности, возникающих в электрических сетях при передаче электроэнергии, между генерирующими и распределительными компаниями. Предложен метод определения потерь мощности на основе токов, протекающих по элементам электрической сети, а также их распределения между участниками рынка. Кроме того, освещено значение данного подхода при формировании тарифов на транзитные услуги и расчёте затрат на передачу электрической энергии.

Ключевые слова: электрическая энергия, потери мощности, электрическая сеть, транзитные услуги, формирование тарифов, генерирующая компания, распределительная компания, потери электроэнергии.

Abstract. This article examines the issues of allocating power losses arising in electrical networks during electricity transmission between generating and distribution companies. A method for determining power losses based on the currents flowing through power network elements and distributing them among market participants is proposed. In addition, the importance of this approach in the formation of transit service tariffs and the calculation of electricity transmission costs is highlighted.

Keywords: electrical energy, power losses, electrical network, transit services, tariff formation, generating company, distribution company, electricity losses.

KIRISH.

So‘nggi yillarda iqtisodiyotning barcha tarmoqlarini jadal rivojlantirish, investitsiyaviy jozibadorlikni oshirish, aholining ishchanlik faolligini oshirish uchun qulay sharoit yaratish, ishlab chiqarish va xizmat ko‘rsatish sohalarini kengaytirish hamda ijtimoiy soha va aholining turmush darajasini yaxshilash yuzasidan keng ko‘lamli islohotlar amalga oshirildi.

Energetika sohasida sog‘lom raqobat muhitini rivojlantirish uchun qulay shart-sharoitlarni yaratish, sohaga xorijiy va xususiy investitsiyalar kelishini ko‘paytirish, narx shakllanishining erkin va shaffof mexanizmlarini joriy qilishga asoslangan elektr energiyasining ulgurji va chakana bozorlarini tashkil etish bo‘yicha 2023-2030 yillarda erkinlashgan elektr energiya bozorini tashkil qilish bo‘yicha ishlar olib borilmoqda.

Yuqoridagi islohatlar quyidagilarni:

a) quyidagi yondashuvlarga asoslangan 2023 — 2030 yillarga mo‘ljallangan elektr energiyasining ulgurji va chakana bozori mexanizmlariga bosqichma-bosqich o‘tish:

elektr energiyasining raqobatga asoslangan ulgurji va chakana bozorlarini bosqichma-bosqich shakllantirish;

elektr energetika tarmog‘ining investitsiyaviy jozibadorligini oshirish hamda sohaga xususiy sektorni keng jalb qilishga shart-sharoit yaratish;

elektr energiyasi ta’minotining uzluksizligi, barqarorligini ta’minlash va iste’molchilarga ko‘rsatiladigan xizmatlar sifatini oshirish;

aholi uchun elektr energiyasi tariflarini belgilashda ijtimoiy himoya mexanizmlarini joriy etish hamda respublikaning barcha hududlarida 2035 yilga qadar aholiga elektr energiyasi yagona narx siyosati asosida sotilishini ta’minlash;

aholi va tadbirkorlik subyektlariga elektr energiyasi ta’minotchilarini erkin tanlash huquqini berish;

elektr energiyasining ulgurji bozorida narxning talab va taklif asosida erkin shakllanishini ta’minlash, kunlik savdosini yo‘lga qo‘yish hamda barcha xarid qilish va sotish operatsiyalarini onlayn savdo platformasi orqali amalga oshirish;

ISSN 3030-3907

qayta tiklanuvchi energiya manbalarining salohiyatidan keng foydalanish evaziga «yashil energiya» ishlab chiqarish ko‘lamini kengaytirish;

b) 2023 — 2030 yillarga mo‘ljallangan elektr energiyasining ulgurji va chakana bozori mexanizmlariga bosqichma-bosqich o‘tish konsepsiyasini 2023-2024 yillarda amalga oshirish bo‘yicha «yo‘l xaritasi»muvofiq:

elektr energiyasining raqobatga asoslangan ulgurji va chakana bozori mexanizmlarini shakllantirishning bir bosqichidan keyingi bosqichiga o‘tish 2023 — 2030 yillarga mo‘ljallangan elektr energiyasining ulgurji va chakana bozori mexanizmlariga bosqichma-bosqich o‘tish konsepsiyasida belgilangan shartlar to‘liq bajarilgandan so‘ng amalga oshiriladi;

Vazirlar Mahkamasi 2024 yildan boshlab har yili 1 dekabrga qadar kelgusi yil uchun 2023 — 2030 yillarga mo‘ljallangan elektr energiyasining ulgurji va chakana bozori mexanizmlariga bosqichma-bosqich o‘tish konsepsiyasini amalga oshirish bo‘yicha amaliy chora-tadbirlar dasturini ishlab chiqilgan.

TAQDQIQOT MATERIALLARI VA USULLARI.

Yuqoridagi islohatlar bir qator masalalarni ilmiy-texnik jihatdan yechishni talab etadi. Ushbu maqolada ulgurji va chakana elektr energiya bozorini tashkil qilishda elektr energiyani uzatishda elektr tarmog‘idagi quvvat isrofini ishlab chiqaruvchi va taqsimlovchi korxonalar orasida taqsimlash, xarajatlarni taqsimlash masalalari yechilgan.

Tranzit xizmatlari uchun tariflarni aniqlash uchun tranzit operatori uning energiya tizimiga tranzitning ta'siri darajasini aniqlash uchun texnik tahlil o‘tkazishi kerak. Avvalo, butun tarmoq bo‘ylab elektr energiyasini taqsimlashning mumkin bo‘lgan yo‘nalishlari tahlil qilinadi. Bundan tashqari, tajriba shuni ko‘rsatadiki, tranzitni ta'minlaydigan tarmoq elementlari va kerakli xizmatlarning xususiyatlarini o‘rganish kerak.

Tranzit xizmatlarini ko‘rsatish uchun mavjud bo‘lgan uzatish quvvati turli energiya tizimlarida farq qiladi va bundan tashqari, u bir tizimning turli nuqtalarida farq qilishi mumkin. Tizimning foydalanilmagan uzatish quvvati faqat ma'lum bir uzatish uchun ishlatilishi mumkin, boshqasi uchun emas (uzatiladigan quvvat bir xil bo‘lsa ham). Bu tizimning jismoniy konfiguratsiyasi (elektr ta'minoti va uzatish tizimidagi dominant oqimlar) bilan bog‘liq.

Alohida holatlardan biri, tranzitning uzatish quvvati eng past bo‘lgan ma'lum bir davr uchun tranzit xizmatlari uchun shartnoma tuzishi mumkin. Bu holat uzatish tizimini modernizatsiya qilish uchun qo‘shimcha sarmoyalarni talab qilishi mumkin. Shu munosabat bilan, tarifni belgilashda tranzit tomon uzoq muddatli xarajatlarni oshirish bilan bog‘liq.

Yana bir holatda - tranziter tranzit xizmatlarini ko‘rsatish bo‘yicha shartnomani u etarlicha katta uzatish qobiliyatiga ega bo‘lgan muddatga imzolashi

ISSN 3030-3907

mumkin. Bu vaziyat undan kelajakda faqat ba'zi o‘zgartirishlar kiritishni talab qilishi mumkin. Bunday holda, tarifni aniqlashda vaqtinchalik o‘zgarish qilingan xarajatlarga yoki qisqa muddatli xarajatlarga tayanishi mumkin. Agar xizmat muddati davomida uzatish quvvatidan muqobil foydalanish istiqbollari etarli bo‘lmasa, ba'zi hollarda tranzitor qisqa muddatga o‘zgartirilgan qiymatdan past narxda xizmatlar ko‘rsatishi mumkin.

Odatda tranzitor yuqoridagi vaziyatlarning o‘rtasida joylashgan. Uning tizimining ayrim qismlari kerakli uzatish quvvatiga ega, uning tizimining boshqa qismlari esa yangi investitsiyalarni talab qilishi mumkin (ba'zan bir necha yil ichida). Bunday hollarda tranzit tariflarini belgilash uchun asos bo‘lib kelishilgan shartlar (shartnomaning amal qilish muddati, xizmatlarning kafolat darajasi, kelajakda tariflarni qayta ko‘rib chiqish yo‘llari) bo‘ladi.

Elektr energetikasida bozor munosabatlariga o‘tish sharoitida elektr energiyasini ishlab chiqaruvchilar - ishlab chiqaruvchi korxonalardan taqsimlovchi kompaniyalarga etkazib berish xizmatlari uchun tranzit korxonalariga haq to‘lash dolzarb vazifalardan biridir. To‘lov qiymati ishlab chiqarish kompaniyasining umumiy xarajatlarini, shu jumladan elektr tarmoqlarini saqlash, dispetcherlik nazorati, quvvat va elektr yo‘qotishlarini qoplash va boshqalarni hisobga olishi kerak.

Ushbu muammolarni hal qilish individual ишлаб чиқарувчи компания (GK) va taqsimlovchi kompaniya (RK) tomonidan elektr tarmoqlaridagi oqimlarning ulushiga asoslangan bo‘lishi mumkin. Ishtirokchilarning (GK, RK va yirik iste'molchi) ishtirok darajasini aniqlash uchun turli usullarni taklif qilish mumkin. Bozor ishtirokchilari o‘rtasidagi kelishuvlarni ham hisobga olish kerak.

Ma'lumki, i-j tarmog‘i uchun aktiv quvvat yo‘qotishlari ΔP_{ij} quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\Delta P_{ij} = I_{ij}^2 R_{ij}, \qquad (1)$$

bu erda R_{ij}, I_{ij} - i-j shoxchasining aktiv qarshiligi va oqimi.

Barqaror holat uchun taqsimlovchi kompaniyalar (RK) o‘rtasida quvvat yo‘qotishlarini taqsimlash uchun ishlab chiqaruvchi manbalarning tugun quvvatlari shunt ko‘rinishiga, tugun yuklarining quvvatlari esa toklar ko‘rinishida qabul qilinadi. Barqarorlashgan holatni hisoblash usullari orqali aniqlanadigan tarmoq elementidagi umumiy quvvat yo‘qotishlarini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\Delta P_{ij} = (I_{ij1} + I_{ij2} + \ldots + I_{ijn})^2 * R_{ij} \qquad (2)$$

Bu yerda I_{ijn}- (n=1,...,nl) i-j shoxchasining toki, faqat n tugunida berilgan tok bilan zanjirga mos keladi.

(2) tenglamani o‘zgartirib, olamiz

ISSN 3030-3907

$$\Delta P_{ij} = I_{ij1}R_{ij}(I_{ij1}+I_{ij2}+I_{ij3}...+I_{ijn})+I_{ij2}R_{ij}(I_{ij1}+I_{ij2}+I_{ij3}+...+I_{ijn}) \\ +...+I_{ijn}R_{ij}(I_{ij1}+I_{ij2}+I_{ij3}...+I_{ijn}) = \Delta P_{ij1}+\Delta P_{ij2}+...+\Delta P_{ijn}, \quad (3)$$

bu yerda ΔPijn –(n=1,...,nl) n-i-j tarmoqdagi faol quvvatni yo‘qotishdagi n-iste’molchining ulushi.

(3) dan kelib chiqadigan umumiy quvvat yo‘qotishdagi k-iste'molchining ulushini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\Delta P_{ijn} = I_{ijn}R_{ij}\sum_{n=1}^{k} I_{ijn} . \quad (4)$$

Asosiy stansiyalar o‘rtasida quvvat yo‘qotishlarining taqsimlanishi xuddi shunday tarzda aniqlanadi, faqat bu holda ishlab chiqaruvchi manbalarning tugun kuchlari tokga, tugun yuklarining quvvatlari esa shunt qarshiligi kabi qaraladi.

XULOSA.

Taklif etilayotgan metodologiya elektr energiyasining tranziti uchun tariflarni belgilashda va alohida iste’molchilarga elektr energiyasi yetkazib berish tariflarini shakllantirishda qo‘llanilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Shouket, H. A., Ameen, I., Tursunov, O., Kholikova, K., Pirimov, O., Kurbonov, N., ... & Mukimov, B. (2020, December). Study on industrial applications of papain: A succinct review. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 614, No. 1, p. 012171). IOP Publishing.
2. Usmanov, E., Rajabboeva, A., Kurbonov, N., & Kurbanova, K. (2024, June). Operational logic scheme of the sketch base for an educational simulator in the fundamentals of power supply. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3152, No. 1, p. 050029). AIP Publishing LLC.
3. Turdiboyev, A., Aytbaev, N., Mamutov, M., Tursunov, A., Toshev, T., & Kurbonov, N. (2023, March). Study on application of electrohydraulic effect for disinfection and increase of water nutrient content for plants. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1142, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.
4. Saidkhodjaev, A., Kasimova, G., Akbarkhodjaev, S., & Kurbonov, N. (2025, November). Structure and principles for selecting a rational urban power supply schemes. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3331, No. 1). AIP Publishing.
5. Abdullayevich, Q. N. Muzaffar o‘g‘li, NT (2024). NORMALIZATION MODES OF HYDROGENERATORS. THE THEORY OF RECENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF PEDAGOGY, 2(25), 368-371.
6. Abdullayevich, Q. N. (2023). REACTIVE POWER COMPENSATION. IMRAS, 6(6), 506-508.

ISSN 3030-3907

7. Abdullayevich, Q. N. Almardon o‘g‘li, NA, & Bahodir o‘g, QOA (2024). INFLUENCE OF ELECTRICAL ENERGY QUALITY ON ELECTRICAL ENERGY WASTE. Научный Фокус, 1(9), 786-789.
8. Abdullayevich, K. N. (2024). ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ ВА ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ СОҲАСИДА ИННОВАЦИОН ФАОЛИЯТНИ БОШҚАРИШДА ЛОЙИҲА ЁНДАШУВИДАН ФОЙДАЛАНИШ. THE THEORY OF RECENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF PEDAGOGY, 2(25), 363-367.
9. Abdullayevich, Q. N., & Qizi, Q. M. S. (2023). Ways to Reduce Losses in Power Transformers. Texas Journal of Engineering and Technology, 20, 36-37.
10. Mahmutxonov, S. J., Qurbonov, N., & Babayev, O. (2022). ELEKTR TARMOQLARIDA SIFAT KO ‘RSATKICHLARI VA ISROFLAR. Innovatsion texnologiyalar, 47, 14-15.
11. Abdullayevich, K. N. (2024). ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ СИФАТИНИ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ ИСРОФИГА ТАЪСИРИ. PEDAGOG, 7(9), 183-188.
12. Abdullayevich, K. N., & Olimjon o‘g‘li, E. J. (2024). Using consumer-regulators to equalization of electrical energy system load schedule. Journal of Multidisciplinary Bulletin, 7(4), 25-29.
13. Abdullayevich, K. N. (2024). Analysis and evaluation of the effectiveness of energy saving in industrial enterprises. SCIENTIFIC APPROACH TO THE MODERN EDUCATION SYSTEM, 3(28), 75-81.
14. Курбонов, Н. А., Халикова, Х. А., & Неъматов, Б. А. О. (2024). ВОПРОСЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ АФГАНИСТАНА, УЗБЕКИСТАНА И ТАДЖИКИСТАНА С УЧЕТОМ НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА. Eurasian Journal of Academic Research, 4(6-1), 37-41.
15. Abdullayevich, Q. N., & Elmurodovich, B. O. (2023). ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СХЕМАМ. Новости образования: исследование в XXI веке, 1(7), 1006-1010.
16. Abdullayevich, Q. N. (2023). REDUCING ELECTRICITY LOSSES IN ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORKS DUE TO MULTICRITERIA OPTIMIZATION OF LINE SECTIONS. MODELS AND METHODS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF INNOVATIVE RESEARCH, 3(28), 275-279.
17. Abdullayevich, K. N. (2024). ОЦЕНКА ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИИ. PROSPECTS AND MAIN TRENDS IN MODERN SCIENCE, 2(13), 531-536.

ISSN 3030-3907

18. Abdullayevich, K. N. (2024). ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ. Новости образования: исследование в XXI веке, 3(26), 203-208.
19. Abdullayevich, K. N., & Abduzairovna, N. M. (2024). ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ ТИЗИМИДА РАҚАМЛИ ПОДСТАНЦИЯЛАРДАН ФОЙДАЛАНИШ МАСАЛАЛАРИ. Eurasian Journal of Social Sciences, Philosophy and Culture, 4(9), 71-75.
20. Abdullayevich, K. N. (2024). НОРМАТИВНЫЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 10, 6 и 0, 4 кВ. THE THEORY OF RECENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF PEDAGOGY, 2(21), 55-60.
21. Abdullayevich, Q. N., & Ikrom o‘g, T. A. A. (2023). Efficiency OF Use OF Frequency Converter with Smooth Control OF Asynchronous Motor Speed. Galaxy International Interdisciplinary Research Journal, 11(5), 448-449.
22. Abdullayevich, K. N., O‘G‘Li, M. F. A., O‘G‘Li, E. J. O., & O‘G‘Li, P. A. B. (2024). MARKOV ZANJIRI USULI VA O ‘LCHANGAN SHAMOL TEZLIKLARIDAN FOYDALANGAN HOLDA YANGI SHAMOL TEZLIKLARINI BASHORAT QILISH. Eurasian Journal of Academic Research, 4(11-2), 7-12.
23. Abdullayevich, K. N., Akrom o‘g, N. M. B., & Olimjon o‘g‘li, E. J. (2024). Functions of facts devices with innovation technology in the electrical energy system. Journal of Engineering Sciences, 7(5), 12-16.
24. Abdullayevich, K. N., & Abdullayevna, X. X. (2024). EFFECTIVENESS OF USING A FREQUENCY CONVERTER WITH SMOOTH SPEED CONTROL OF AN INDUCTION MOTOR. Новости образования: исследование в XXI веке, 3(27), 151-154.
25. Abdullayevich, K. N. Shuhrat o‘g‘li, OS, & Olimjon o‘g‘li, EJ (2024). STRUCTURE OF LOW VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS. AMERICAN JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY BULLETIN, 2(5), 112-119.
26. Abdullayevich K. N., Tulqin o‘g‘li X. M., Mansur o‘g‘li C. D. УМЕНЬШЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ЗА СЧЕТ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СЕЧЕНИЙ ЛИНИЙ //IMRAS. – 2025. – Т. 8. – №. 3. – С. 35-43.
27. Shouket, H. A., Ameen, I., Tursunov, O., Kholikova, K., Pirimov, O., & Kurbonov, N. & Mukimov, B.(2020, December). Study on industrial applications of papain: A succinct review. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 614, No. 1, p. 012171).

ISSN 3030-3907

28. Abdullayevich K. N. et al. ВОПРОСЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ АФГАНИСТАНА, УЗБЕКИСТАНА И ТАДЖИКИСТАНА С УЧЕТОМ НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА //Eurasian Journal of Academic Research. – 2024. – Т. 4. – №. 6-2. – С. 19-23.
29. Abdullayevich Q. N. CONDUCTING LABORATORY CLASSES ON ELECTRICAL CIRCUITS. Finland International Scientific Journal of Education //Social Science & Humanities. – 2023. – Т. 11. – №. 1. – С. 1095-1098.
30. Abdullayevich K. N., Mansur o‘g‘li C. D. МЕТОДЫ И МЕРЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ГОРОДА //INNOVATIVE DEVELOPMENTS AND RESEARCH IN EDUCATION. – 2025.
31. Abdullayevich K. N., Shuhrat o‘g‘li O. S., Olimjon o‘g‘li E. J. STRUCTURE OF LOW VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS //AMERICAN JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY BULLETIN. – 2024. – Т. 2. – №. 5. – С. 112-119.

ISSN 3030-3907

XORAZM VILOYATI SHAROITIDA PLATINASIZ (TO‘G‘ONSIZ) MIKRO GESLARNI LOYIHALASH ME’ZONLARINI ISHLAB CHIQISH

Xamrayev Og‘abek Oybek o‘g‘li
Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti “Elektrotexnika va energetika” kafedrasi Elektr energetikasi tizimlari va tarmoqlari mutaxassisligi 2-bosqich magistranti
E-mail: ogabekxamrayev678@gamil.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada Xorazm viloyati sharoitida platinasiz (to‘g‘onsiz) mikro gidroelektr stansiyalarni (GES) loyihalashning ilmiy-texnik asoslari va me’zonlari ishlab chiqilgan. Tadqiqot hududning o‘ziga xos tabiiy-iqlimiy sharoitlari, xususan, Amudaryo havzasiga xos past nishablik, suv oqimining mavsumiy o‘zgaruvchanligi hamda sug‘orish kanallari tarmog‘ining kengligi inobatga olingan holda olib borildi. Ishda kichik suv oqimlaridan samarali foydalanish imkoniyatlari, gidravlik parametrlarni optimallashtirish, energiya ishlab chiqarish samaradorligini oshirish va ekologik xavfsizlikni ta’minlash masalalari kompleks tarzda tahlil qilindi. Shuningdek, maqolada mikro GESlarni joylashtirish uchun optimal uchastkalarni tanlash mezonlari, oqim tezligi va suv sarfiga asoslangan hisoblash usullari, energiya ishlab chiqarishning prognoz ko‘rsatkichlari hamda texnik-iqtisodiy samaradorlikni baholash yondashuvlari ishlab chiqildi. Taklif etilgan me’zonlar hududning mavjud irrigatsiya tizimlari bilan integratsiyalashgan holda, qo‘shimcha infratuzilma qurilishini minimal darajaga tushirish imkonini beradi. Natijalar Xorazm viloyatida qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanishni kengaytirish, energiya ta’minoti barqarorligini oshirish va ekologik barqaror rivojlanishga erishishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Kalit so‘zlar: mikro GES, platinasiz gidroelektr stansiya, Xorazm viloyati, sug‘orish kanallari, suv oqimi, gidravlik hisoblash, qayta tiklanuvchi energiya, energiya samaradorligi, ekologik xavfsizlik, texnik-iqtisodiy tahlil.

Аннотация. В данной статье разработаны научно-технические основы и критерии проектирования бесплатформенных (безплотинных) микрогидроэлектростанций (ГЭС) в условиях Хорезмской области. Исследование проводилось с учетом специфических природно-климатических условий региона, в частности, малой крутизны бассейна реки Амударья, сезонной изменчивости водного потока и ширины сети ирригационных каналов. В работе всесторонне проанализированы возможности эффективного использования малых водотоков, оптимизации гидравлических параметров, повышения эффективности производства энергии и обеспечения экологической безопасности. В статье также

ISSN 3030-3907

разработаны критерии выбора оптимальных мест для размещения микрогидроэлектростанций, методы расчета на основе расхода воды и водопотребления, прогнозные показатели производства энергии и подходы к оценке технико-экономической эффективности. Предложенные критерии, интегрированные с существующими ирригационными системами региона, позволяют минимизировать строительство дополнительной инфраструктуры. Результаты имеют большое значение для расширения использования возобновляемых источников энергии в Хорезмской области, повышения стабильности энергоснабжения и достижения экологически устойчивого развития.

Ключевые слова: микрогидроэлектростанция, бесплатиновая гидроэлектростанция, Хорезмская область, ирригационные каналы, водоток, гидравлический расчет, возобновляемая энергия, энергоэффективность, экологическая безопасность, технико-экономический анализ.

Abstract. This article develops scientific and technical foundations and criteria for the design of damless (non-dam) micro hydroelectric power plants (HPPs) in the Khorezm region. The study was conducted taking into account the specific natural and climatic conditions of the region, in particular, the low slope characteristic of the Amudarya basin, seasonal variability of water flow, and the width of the irrigation canal network. The work comprehensively analyzed the possibilities of effective use of small water flows, optimization of hydraulic parameters, increasing energy production efficiency, and ensuring environmental safety. The article also develops criteria for selecting optimal sites for the placement of micro hydroelectric power plants, calculation methods based on flow rate and water consumption, forecast indicators of energy production, and approaches to assessing technical and economic efficiency. The proposed criteria allow for integration with the existing irrigation systems of the region, minimizing the construction of additional infrastructure. The results are important for expanding the use of renewable energy sources in the Khorezm region, increasing the stability of energy supply, and achieving environmentally sustainable development.

Keywords: micro hydroelectric power plant, platinum-free hydroelectric power plant, Khorezm region, irrigation canals, water flow, hydraulic calculation, renewable energy, energy efficiency, environmental safety, feasibility study.

INTRODUCTION.

Currently, the growing demand for energy resources worldwide, the limited availability of traditional fuel sources, and the aggravation of environmental problems require the effective use of renewable energy sources. In this regard,

small-scale hydropower, in particular micro hydroelectric power plants (HPPs), are recognized as one of the promising areas of energy production. In particular, the construction of dam-free (plateau-free) micro hydroelectric power plants is significant because it does not require the construction of large-scale hydraulic structures, has a relatively low environmental impact, and can be put into operation in a short time.

The growing demand for electricity in the Republic of Uzbekistan, including in the Khorezm region, and the insufficient stability of existing energy sources create the need to diversify the regional energy supply. The Khorezm region is distinguished by its flat terrain, an extensive irrigation system formed by the Amu Darya River and its branches. However, the small natural height difference in the region limits the construction of large hydroelectric power plants. Therefore, the introduction of innovative solutions that allow for the most efficient use of existing water flows, in particular, the introduction of platinum-free micro hydroelectric power plants, is an urgent issue.

The purpose of this study is to develop scientifically based criteria for the design of platinum-free micro hydroelectric power plants in the conditions of the Khorezm region. To achieve this goal, the hydrological and hydraulic characteristics of the region are analyzed, methods are developed for selecting suitable sites for the placement of micro hydroelectric power plants, and technical solutions are proposed to increase the efficiency of energy production.

The research results will serve as a scientific and practical basis for identifying the potential of small hydropower at the regional level, rational use of existing irrigation infrastructure, and the widespread introduction of renewable energy sources.

Selecting the optimal location for the construction of a creative low-power hydroelectric power plant by analyzing the channels in the Khorezm region.

By analyzing the channels in the Khorezm region, we select the optimal channel for the construction of a creative low-power hydroelectric power plant. In order to select the optimal channel for a low-power hydroelectric power plant, we formulated the channel parameters that are important for creative hydro turbines as the main criteria:

- Water flow rate;
- Canal water consumption;
- Canal dimensions;
- Duration of freezing of the channel in winter;

Water flow rate. Distribution of velocities by river depth and width. Measuring the water flow rate is of great importance in determining water

ISSN 3030-3907

consumption, in the design and construction of hydraulic structures, as well as in solving a number of scientific and practical problems. The distance traveled by the water mass in the river bed per unit of time represents the water flow rate. The purpose of measuring the speed is to determine the water consumption, which is the main element of the water regime. It is also necessary to take into account the water flow rate when designing, constructing and operating various hydraulic and water management structures.

In a stream, the speed of water flow is smaller at the surface of the liquid, increases to a certain depth, and then decreases again. This distribution of speed over depth is caused by friction between the air and the water surface and friction between the moving water mass and the bottom of the stream.

Wind can increase or decrease the speed of the water surface. When the direction of the current coincides with the direction of the wind, the speed at the water surface increases, otherwise it decreases.

Currently, there are a large number of instruments and devices for measuring the speed of water flow, which can be conditionally divided into two large groups:

1) instruments that allow direct measurement of the speed of water flow (strains);

2) those that do not allow direct determination of the speed of water flow, but calculate the speed by determining some element of the water regime or the indicator of the device.

Measuring speed using a hydrometric vane is based on determining the number of revolutions of the vane per second.

Water consumption of the channel. Water consumption is measured in l/s, m3/s. The average daily, average monthly, average annual, maximum and minimum water consumption and the flow volume for a certain interval are calculated based on the measured water consumption. Existing methods for calculating water consumption are divided into two main groups.

1. Direct measurement of water consumption.
2. Indirect measurement of water consumption.

Direct measurement of water consumption includes the volumetric method. This method is most often used when the water consumption does not exceed 5-10 1/s. This method is used to measure spring water, when calibrating wet and water culverts. In this method, water consumption - Q is determined by the ratio of the volume of water in the measuring tank - W and the time taken to measure it - t:

$$Q = \frac{W}{t};(1.0)$$

ISSN 3030-3907

There are several methods for indirect measurement of water flow. All of them are based not on direct measurement of water flow, but on measuring some elements of the flow and then calculating the water flow. These include the following methods:

1. Determining water flow by measured velocities and cross-sectional area of the flow. This method is widely used in river hydrometry. The cross-sectional area of the flow is determined based on the results of depth measurements. The flow rate at certain points of the live water section is measured more often using a hydrometric turntable, and in some cases using other devices or plugs. This method also includes a method based on calculating water flow by the live cross-sectional area and the average flow rate of the flow according to the Shezi formula.

2. Determining water flow using measuring devices is mainly intended for measuring small rivers and streams, wet and culverts, and canals.

In addition, this method is used to determine the amount of water flowing through hydropower plants.

Mixing method: used in mountain rivers with a high flow rate, not very deep and with a complex relief. Determining the water flow rate based on the measured water flow rate and the cross-section of the stream. This method is abbreviated as the “velocity-area” method.

The methods for measuring water flow are described as follows:

1. Hydrometric methods. Some parts of the water flow model are measured in the field, and then the full flow is calculated using analytical, graph-analytical and graphical methods.

2. Hydraulic method. Based on determining the components of the water flow equation.

3. Hydrometric-hydraulic method.

4. Physical methods. This method is used to determine the water flow of mountain rivers with a high level of water velocity turbulence. In this case, measuring the speed and cross-section of water does not have high accuracy. In the physical method, electromagnetic, ultrasound, chemicals are mixed into the water.

5. Hydraulic methods. By measuring the thickness of precipitation in the river basin, water reserves can be determined and water consumption can be calculated. The accuracy of the hydrological method is up to 10-30%.

6. Volumetric method and weighing the weight of water in experimental conditions, filling a container with water and determining the time it takes to fill it.

The duration of freezing of the canal in winter. Considering the duration

ISSN 3030-3907

of freezing in winter of all 4 canals we selected, we came to the conclusion that they have a freezing duration of 3 months. Therefore, the micro hydroelectric power station we designed will be able to operate continuously for 9 months.

In particular, we analyzed data on the Polvon-Gazovot, Shovot, Toshsoqa and Klichbay canals and conducted studies. In this, we analyzed data on the slope, width, length, speed and water carrying capacity of the canals.

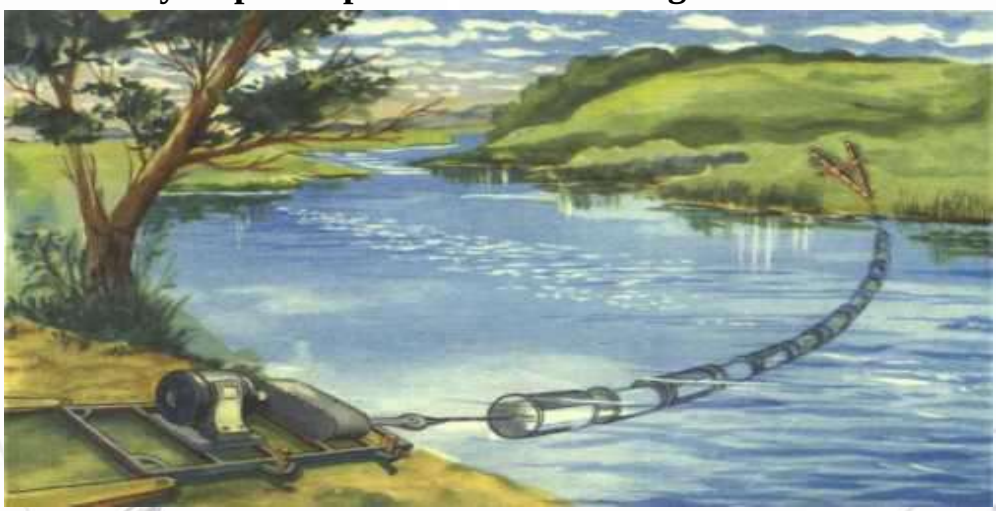
Table 1.1 presents the main parameters of the Polvon-Gazovot, Shovot, Toshsoqa and Klichbay canals that we analyzed.

1.1- Table.

Parametrs of analyzed channels.

№	Name	Slope, m	Width, m	Average speed, m/s	Length, km	Water permeability, m^3/s	Year of construction
1.	Polvon-G‘azovot	4-5	60	0,52	30,5	97	1941-yil
2.	Shovot	4-5	35-50	0,58	87,6	110	1927-yil
3.	Toshsoqa	12	110	0,71	32,1	375	1940-yil
4.	Klichbay	7	65	0,65	51,9	160	1942-yil

Damless micro hydropower plants and their design.



1.1- picture. General view of a damless micro hydropower plant.

ISSN 3030-3907



1.2- picture. The section of the Toshsoqa Canal where the micro hydroelectric power plant is planned.

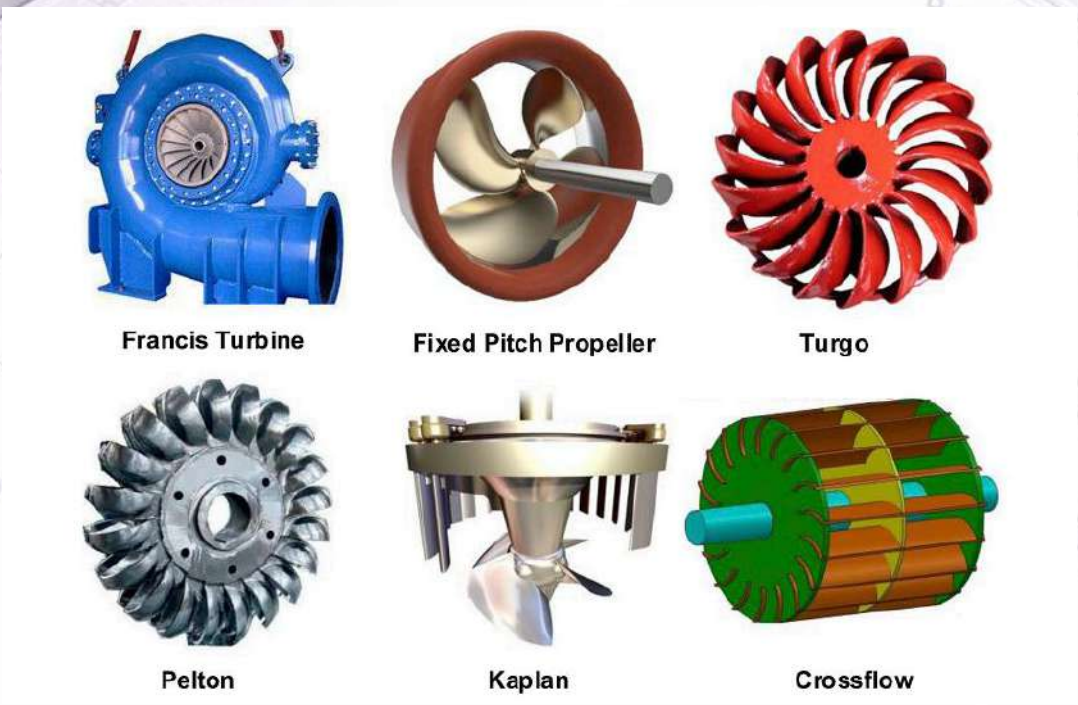
To increase the power of a micro-hydroelectric power plant, it is necessary to either increase the water flow or increase the diameter of the turbine impeller. The average speed of water flow in rivers and canals located on the plain is 1-1.5 m/s. Calculations show that to obtain 10 kW of power at a water flow speed of 1 m/s, the impeller diameter should be 10 m or 10 turbines with a diameter of 1 m are required.

Choosing the right inverter and generator.

According to the principle of operation, all hydraulic turbines are divided into two classes: active and reactive. The impeller of reactive turbines is completely immersed in the water flow, while in active turbines the impeller operates at atmospheric pressure and is driven by separate water flows. Most hydraulic turbines are active turbines, only bucket turbines are widely used, under certain conditions - at very high pressures.

Currently, the most common are axial turbines (rotary blade, propeller, double blade), radial-axis, diagonal and bucket turbines. Pump-turbine units installed in pumped storage power plants are located at some distance. By design, they are radial-axial and diagonal. Each type of turbine is optimal for a certain combination of water flow and pressure, although in some cases their ranges coincide, and accordingly, different types of turbines can be selected for one hydroelectric power plant.

ISSN 3030-3907



1.3- picture. The most commonly used types of turbines.

1.2- Table.

20 Characteristics of the PrD diagonal turbine.

№	Parameters	Micro Hydropower plant 20 PrD
1.	Power, kW	10-20
2.	Pressure, m	8-18
3.	Water consumption, m^3/s	0,08-0,17
4.	Turbine rotor rotation speed, min^{-1}	1500
5.	Rated voltage, V	230,400
6.	Nominal frequency of electric current, Gs	50

1.3- Table.

Radial-spindle turbine hydropower units.

№	Parameters	Types of hydropower units			
1.	Power, kW	950 until	550	3300	5600
2.	Pressure, m	30-100	25-55	70-120	100-160
3.	Water consumption, m^3/s	0,4-1,25	0,4-1,3	0,6-3,2	1,5-4,0
4.	Turbine rotor rotation speed, min^{-1}	1000; 1500	1000	600; 750; 1000	750; 1000
5.	Rated voltage, V	400; 6000	400; 6000	6000; 10000	6000; 10000

ISSN 3030-3907

6.	Nominal frequency of electric current, Gs	50	50	50	50

1.4- Table.

Micro hydropower plants with bucket turbines.

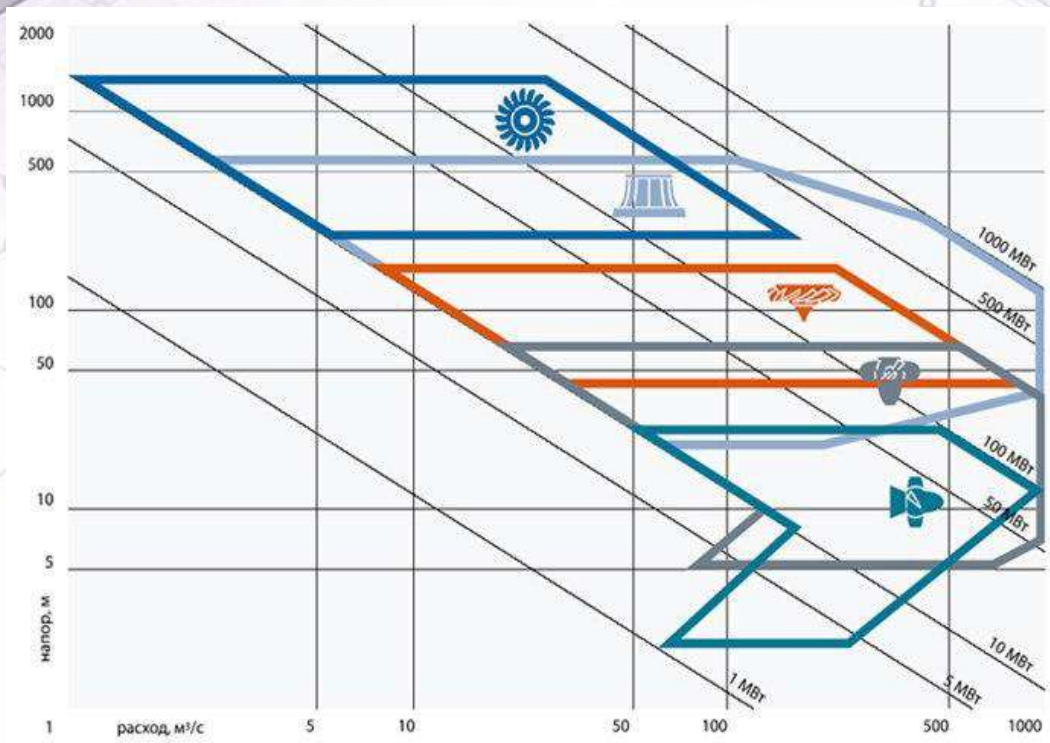
Parameters	**Types of micro hydropower plants**	
	Micro Hydropower Plant 100K	**Micro Hydropower Plant 200K**
Power, kW	100 until	180 until
Pressure, m	40-250	
Water consumption, m^3/s	0,015-0,060	0,025-0,100
Turbine rotor rotation speed, min^{-1}	750; 1000; 1500	
Rated voltage, V	230; 400	
Nominal frequency of electric current, Gs	50	

1.5- table.

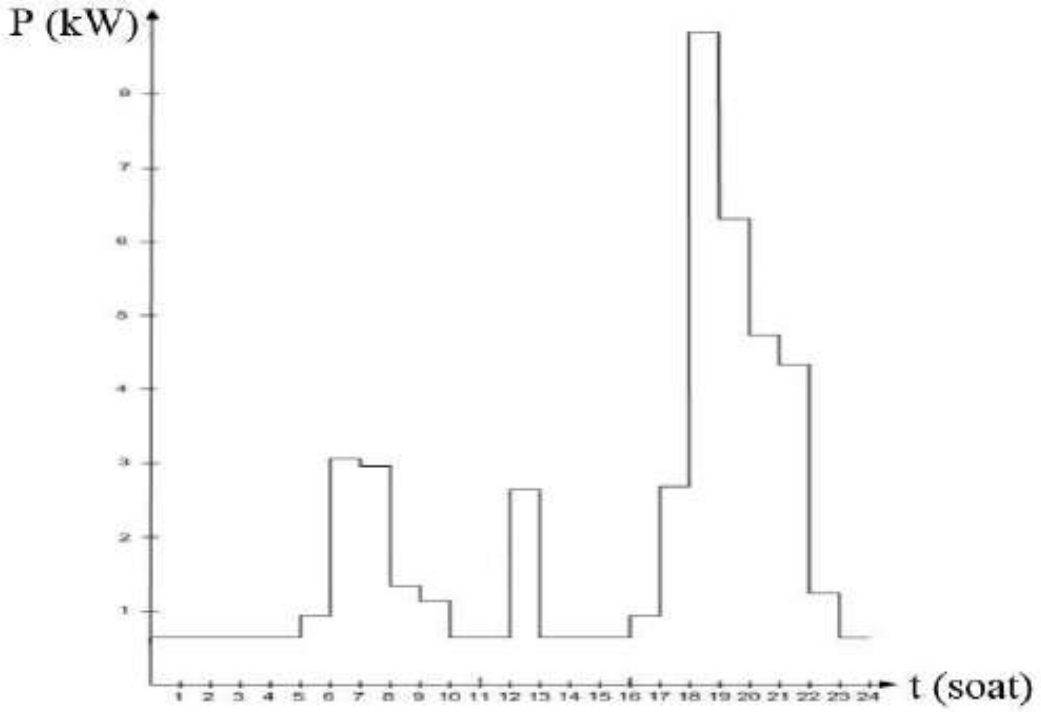
Bucket turbine hydropower units.

Parameters	**Types of hydropower units**	
	GA-5	**GA-10**
Power, kW	145-620	290-3300
Pressure, m	150-250	200-450
Water consumption, m^3/s	0,17-0,32	0,19-0,90
Turbine rotor rotation speed, min^{-1}	500; 600	600; 750; 1000
Rated voltage, V	400; 6000	400; 6000; 10000
Nominal frequency of electric current, Gs	50	50

ISSN 3030-3907



1.4- picture. Diagram for correct turbine selection.



1.5- picture. Daily load of micro hydropower plant.

There are types of micro hydroelectric power plants such as impeller, garland and propeller. We decided to choose the impeller type, which has been used for a long time. Because it has a number of advantages, such as ease of maintenance, wide possibilities for carrying out operational work, simplicity of construction, low costs for channel installation of the device, and the ability to achieve high efficiency even with low water pressure and low speed. The

ISSN 3030-3907

preliminary scientific research conducted showed that to date, many scientific problems have been solved on the construction of micro hydroelectric power plants operating using various types of impellers and increasing their efficiency. However, the optimal angle of the impeller-type micro hydroelectric power plant has not been determined, and the most efficient new model suitable for the conditions of the Khorezm region has not been developed. The initial stage is to determine the optimal angle of the impeller blades of the micro hydroelectric power plant. The determined optimal angle allows increasing the energy efficiency of the micro hydroelectric power plant.

When the micro hydroelectric power plant impeller rotates, the work of the water flow is performed due to the change in kinetic energy.

$$A = \frac{m*\vartheta_2^2}{2} - \frac{m*\vartheta_1^2}{2};(1.1)$$

where, A is the work of the water flow, Joul;
m - water mass acting on the blade, kg;
ϑ_1- initial velocity of water flow, m/s;
ϑ_2- final velocity of water flow, m/s;
Now let's look at the mass of water:

$$m = \rho * V;(1.2)$$

here, ρ- water density, kg/m^3;
V - water volume, m^3;

We define the angle between the blades of the wheel as α. The blade of the wheel consists of a prism with a triangular base along with its sides (l, b, c). In this case, we determine how much water (V) enters the blade.

$$V = H * S_{uchb} = H * b * c * sin\alpha;(1.3)$$

where, H is the height of the prism, m;
S - the face of a triangle that is the base of a prism, m^2;
l - The depth of the blade's immersion in water (one side of the triangle), m;
b and c are the second and third sides of the triangle (respectively), m;
$sin\alpha$ - The angle between sides b and c.
The following formula is formed:

$$m = \rho * H * b * c * sin\alpha;(1.4)$$

We assume that the initial velocity of the water flow is zero when the wheel starts rotating. In this case, the formula looks like this:

$$A = \frac{m*\vartheta^2}{2};(1.5)$$

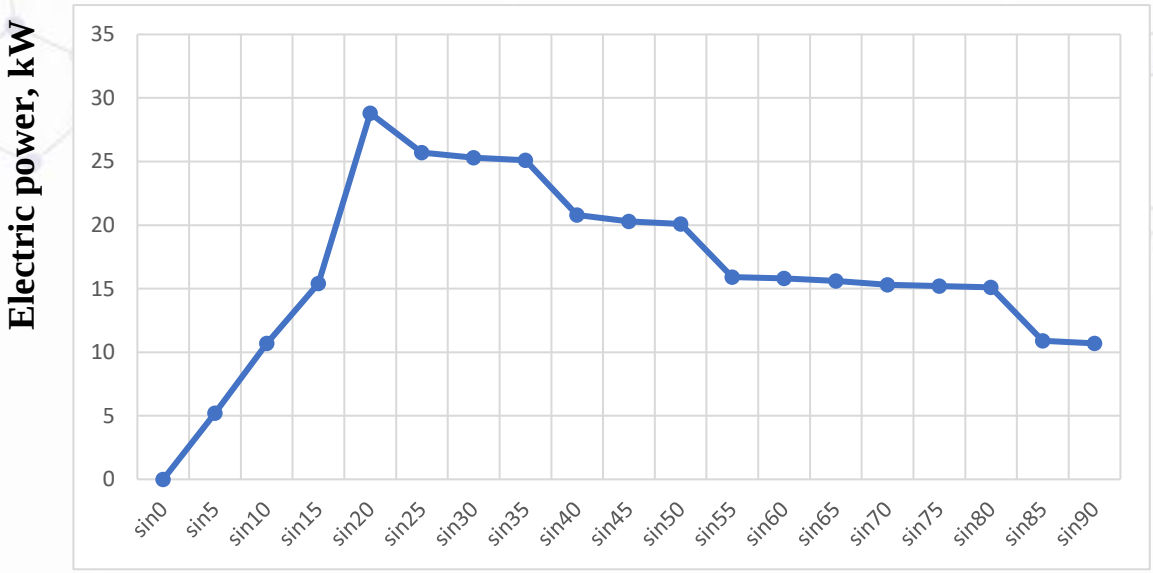
$$A = \frac{\rho*H*b*c*sin\alpha*\vartheta^2}{2};(1.6)$$

Now $sin\alpha$ we can express the angle.

ISSN 3030-3907

$$sin\alpha = \frac{2A}{\rho * H * b * c * \vartheta^2};(1.7)$$

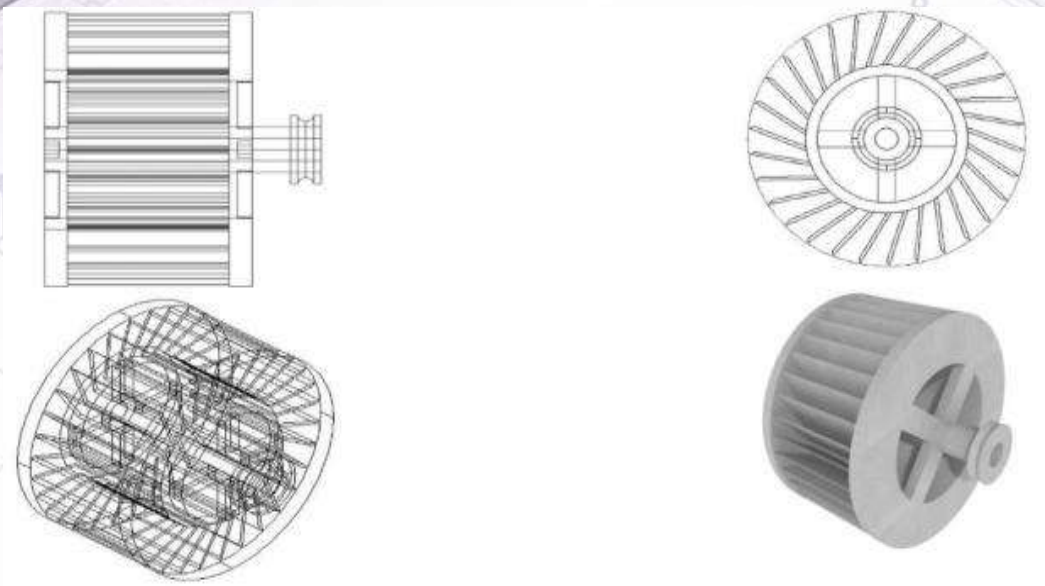
Therefore, the angle α we are looking for is directly proportional to the work (energy) done by the water flow and inversely proportional to the sides of the impeller blades. The results of a preliminary study to determine the optimal angle for a micro hydropower plant to produce a maximum of 5 kW to 30 kW of electricity per hour are presented in picture 1.6.



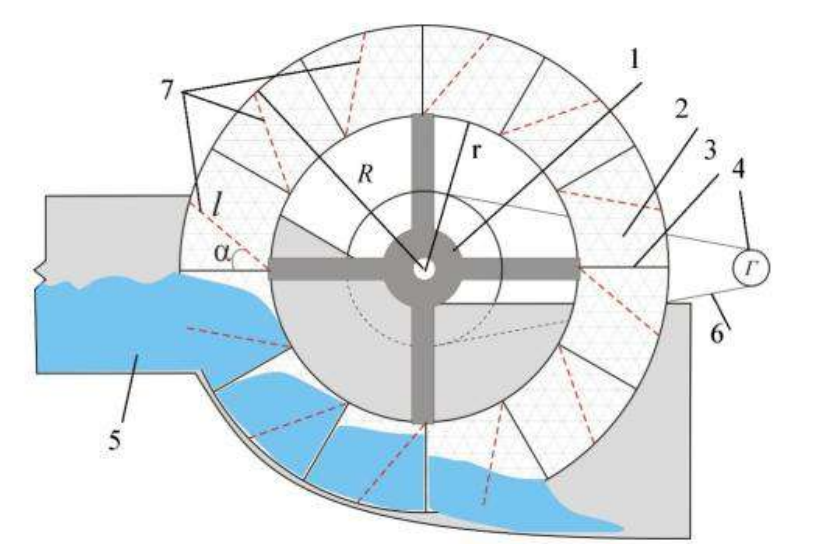
1.6-picture. The dependence of the electrical power generated by a micro hydroelectric power plant on the angle between the blades.

In conclusion, the optimal angle determined $\alpha = 22°$ was equal to. Because it is at this angle that the micro-hydroelectric power plant produces the maximum amount of electricity. Based on the determined optimal angle of the blade, the impeller of the micro-hydroelectric power plant was developed. This optimal angle allows to increase the energy efficiency of the micro-hydroelectric power plant.

ISSN 3030-3907

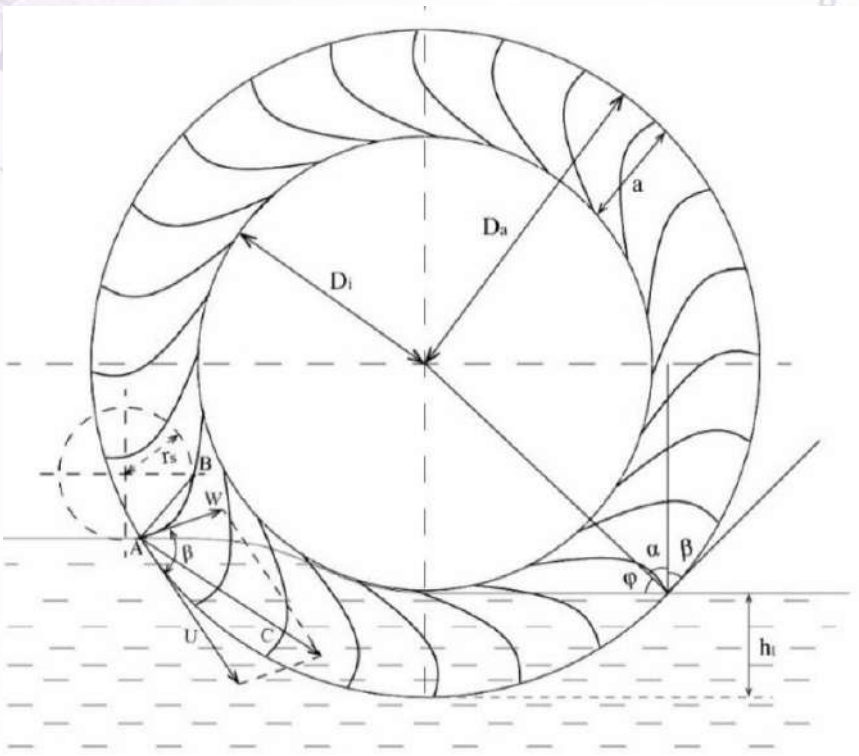


1.7- picture. Initial virtual model views of a micro hydroelectric power plant waterwheel.



1.8- picture. Developed micro hydropower water wheel model: R – outer radius; r – inner radius; l – wheel length; α – angle; 1 – shaft; 2 – wheel; 3 – blades (vanes); 4 – generator; 5 – water flow; 6 – moving belt;7 – blades with variable angle.

ISSN 3030-3907



1.9- picture. Diagram of geometric parameters of water wheel design.



1.10- picture. Developed micro hydroelectric power plant water wheel.

1.6-Table.

Designed flywheel parameters.

Width, sm	Inner radius, sm	Outer radius, sm	Diameter, sm	Number of wings	The angle between the wings
40	25	50	150	16	22°

1. We can calculate the surface area of one feather:

$$S_{par} = a * b = 40 * 50 = 2000sm^2 = 0{,}2m^2;(1.8)$$

ISSN 3030-3907

Assuming the total number of wings is 16,

$$S_{par.jami} = 2000 * 16 = 32000sm^2 = 3{,}2m^2(1.9)$$

2. We calculate the lengths of the small and large circles of the Ferris wheel:

$$r = R_1 + R_2 = 50 + 25 = 75sm;(1.10)$$

$$l_1 = 2\pi * R_1 = 2 * 3{,}14 * 75 = 471sm;(1.11)$$

$$l_2 = 2\pi * R_2 = 2 * 3{,}14 * 25 = 157sm;(1.12)$$

3. We calculate how much water flows through the wheels of the wheel in 1 second:

$$l = \vartheta * t;(1.13)$$

$$V = S_{par} * l = S_{par} * \vartheta * t = 0{,}2 * 0{,}71 * 1 = 0{,}142m^3;(1.14)$$

4. We determine how much mass of water affects the wheel:

$$m = \rho * v = 1000 * 0{,}142 = 142kg;(1.15)$$

5. We calculate the total surface area of the wheel:

$$S_{jami} = S_1 + S_2 = \pi * r^2 = \pi * (R_1 + R_2)^2 = 3{,}14 * 75^2 = 17662{,}5sm^2 = 1{,}76625m^2;(1.16)$$

$$S_2 = \pi * R_2^2 = 3{,}14 * 25^2 = 1962{,}5sm^2 = 0{,}19625m^2;(1.17)$$

$$S_1 = S_{jami} - S_2 = 1{,}76625 - 0{,}19625 = 1{,}57m^2;(1.18)$$

6. We can calculate the kinetic energy:

$$E_{kin} = \frac{m*\vartheta^2}{2} = \frac{142*0{,}71^2}{2} = 35{,}7911\,J;(1.19)$$

7. $\eta = 0{,}5$ We can calculate the useful energy when:

$$E_f = \eta * E_{kin} = 0{,}5 * 35{,}7911 = 17{,}89555\,J;(1.20)$$

8. The average length of the canal to spinning wheel ϑ behind the wheel after the speed is affected ϑ_1 we can calculate the speed:

$$\vartheta_1 = \sqrt{\frac{2*E_f}{m}} = \sqrt{\frac{2*17{,}89555}{142}} = 0{,}5\,m/s;(1.21)$$

9. We can calculate the acceleration of the wheel:

$$a = \frac{\vartheta - \vartheta_1}{t} = \frac{0{,}71-0{,}5}{1} = 0{,}21\,m/s^2;(1.22)$$

10. We can find the force acting on the wheel:

$$F = m * a = 142 * 0{,}21 = 29{,}82\,N;(1.23)$$

11. We can find the work done by the flywheel, i.e. its power:

$$A = N * t = m * g * h * t = 142 * 9.81 * 0.55 * 1 = 766{,}161\,J;(1.24)$$

12. We calculate the distance traveled by the wheel in 1 s:

$$l_3 = \vartheta_0 * t + \frac{a*t^2}{2} = 0{,}5 * 1 + \frac{0{,}21*1}{2} = 0{,}605m;(1.25)$$

13. Ferris wheel rotation time:

$$t_{ayl.vaq} = \frac{\frac{l_1+l_2}{2}}{l_3} = \frac{\frac{4{,}71+1{,}57}{2}}{0{,}605} = 5{,}19\,s;(1.26)$$

ISSN 3030-3907

14. We can find the rotational speed of the wheel:

$$\vartheta_{ayl.tez} = \frac{1\,(ayl)}{t_{ayl.vaq}} = \frac{1}{5{,}19} = 0{,}192\ ayl/s = 11{,}52\ ayl/daq;(1.27)$$

15. We calculate the torque of the flywheel:

$$M_{bur} = F * l = m * a * S_{par} * l = 142 * 0{,}21 * 0{,}2 * 0{,}55 = 3{,}2802\ N * m;(1.28)$$

16. We can calculate the nominal power of the flywheel per second:

$$M = 9{,}55 * \frac{P_{nom}}{n_{ayl}};(1.29)$$

$$P_{nom} = \frac{M * n_{ayl}}{9{,}55} = \frac{3{,}2802 * 0{,}192}{9{,}55} = 0{,}065\ W;(1.30)$$

17. We can determine the mechanical power that 1 flywheel produces in 1 hour:

$$\frac{0{,}065 * 3600}{1000} = 0{,}234\ kW * soat;(1.31)$$

1 piece windmill can produce 0.234*24=5.6 kW*h of electricity in 24 hours.

1 piece windmill can produce 5.6*270=1512 kW*hours of electricity in 1 year.

A reducer is a mechanical transmission of energy through rotation, converting rotational speed and torque into magnitude. A reducer is a “reducer”, the main function of a mechanical gearbox is to reduce, that is, to reduce the force required to drive a device that converts the transmitted mechanical energy into useful work - that is, the gearbox reduces the rotational speed and increases the torque transmitted to any device. A gear reducer is a device that is the opposite of a mechanical gearbox - it increases the rotational speed, reduces the torque. The canonical type of mechanical gearbox is a gear, in which the driving gear is smaller and the driven gear is larger. In addition to gear gears, worm, planetary and helical gears can also perform the functions of a mechanical gearbox.

We have a single-stage worm gearbox CUBEX 9Ч -130 we chose a series reducer. Features 9Ч-130, weight (without lubrication, connecting and mounting elements) is 59.0 kg.

1.7-Table.

Reducer selection catalog.

i	n_1=2800 rpm				n_1=1400 rpm				n_1=900 rpm			
	n_2	M	P	RD	n_2	M	P	RD	n_2	M	P	RD
	rpm	Nm	kVt	%	rpm	Nm	kVt	%	rpm	Nm	kVt	%
7,5	373	571	24	93	187	782	16,8	91	120	935	13,2	89

ISSN 3030-3907

10	280	606	19,3	92	140	817	13,3	90	90	980	10,5	88
15	187	668	14,5	90	93	872	9,8	87	60	1015	7,5	85
20	140	735	12,1	89	70	950	8,1	86	45	1092	6,2	83
25	112	645	8,4	90	56	797	5,5	85	36	914	4,2	82
30	93	652	7,5	85	47	688	4,2	80	30	735	3	77
40	70	781	6,9	83	35	958	4,5	78	23	1114	3,5	75
50	56	787	5,7	81	28	985	3,8	76	18	1084	2,8	73
60	47	753	4,6	80	23	952	3,1	75	15	1040	2,3	71
80	35	648	3,3	72	18	804	2,2	67	11	938	1,7	65
100	28	605	2,5	71	14	765	1,7	66	9	855	1,3	62

Calculation of the economic efficiency of the designed micro hydroelectric power plant.

The following factors are of particular importance for a correct assessment of the efficiency of the construction of micro hydroelectric power plants:

a) fuel consumption, which is the main energy resource. The efficiency of hydropower sources, which allows saving costs associated with extraction, processing and transportation. Currently, the efficiency due to fuel savings in micro hydroelectric power plants constitutes a significant part of the overall economic efficiency and is growing from year to year.

b) environmental friendliness of hydropower sources. Currently, due to environmental degradation, requirements are being tightened to regulate the emission of harmful substances into the atmosphere during the operation of fuel-using plants. Ensuring the operation of these plants in accordance with these requirements requires significant funds, which negatively affects their economic efficiency.

c) energy shortage. Frequent interruptions in centralized energy supply due to energy restrictions. Manufacturers, especially small and medium-sized businesses, suffer losses tens of times greater than the cost of undelivered energy. It is very important to take this factor into account when determining the economic efficiency of CHP plants operating in accordance with the energy consumption schedule of economic entities.

ISSN 3030-3907

The approach based on the criterion of determining the minimum costs for the economic justification of the objects under construction has been widely used for a long time. It is worth noting that in the conditions of centralized economic management, such an approach played an important role in increasing the scientific validity of economic solutions and was used based on the global goals of economic development.

Using the results of modern scientific research, we can generate additional electricity by designing and installing micro hydroelectric power plants without dams, and we can also create opportunities to save traditional energy sources.

Water management, settlements and cluster enterprises will be provided with additional electricity. 6 jobs will be created when designing and installing one micro hydroelectric power plant without dams. We designed a creative micro hydroelectric power plant, the optimal use of which is in the conditions of the Khorezm region, and determined its economic efficiency for 1 day, 1 month, 1 year.

1 piece The mechanical power produced by a spinning wheel in 1 hour $0{,}234\ kW * hour$ considering that:

1 piece Ferris wheel 24 hours a day 0,234*24=5,6 kW*hour can generate electricity.

1 piece Ferris wheel in 1 month 5,6*30=168 kW*hour can generate electricity.

1 piece Ferris wheel in 1 year 5,6*270=1512 kW*hour can generate electricity.

We decided to install 150 windmills, taking into account that the width of the Toshsoqa canal is 110 m. Considering that the width of the windmill is 0.4 m, the length of the windmills will be 60 m. The distance between each windmill will be 3.75 m. Considering that the slope of the Toshsoqa canal is 12 meters and its length is 32.1 km, in the future we will be able to design about 10 micro hydroelectric power plants.

150 piece a wheelbarrow in 1 hour 0,234*150=35,1 kW*hour produces electricity.

150 piece a wheelbarrow in 24 hour 150*5,6=840 kW*hour can generate electricity.

150 piece a wheelbarrow 1 month 840*30=25200 kW*hour can generate electricity.

150 piece a wheelbarrow 1 year 840*270=226800 kW*hour we will be able to generate electricity. The designed micro hydroelectric power plant will pay for itself in 1.5 years.

CONCLUSION.

ISSN 3030-3907

The results of this study showed that there are scientific and practical foundations for the design and implementation of damless (non-dam) micro hydroelectric power plants in the Khorezm region. Despite the flat terrain of the region and the low slope of water flows, it was found that the stable water flows formed in irrigation canals and collector-drainage networks have sufficient potential for the placement of small-capacity hydropower plants.

The design criteria developed during the study allow for a comprehensive assessment of water consumption, flow rate, hydraulic losses, the ability to use existing structures, and environmental safety requirements when placing micro hydroelectric power plants. Also, based on the proposed approaches, it was possible to increase the efficiency of energy production, reduce construction and operating costs, and operate with minimal intervention in existing irrigation systems.

The results obtained show that the introduction of platinum-free micro-hydropower plants in the Khorezm region will help to increase the reliability of electricity supply, partially make remote areas independent from centralized networks, and increase the share of renewable energy sources. At the same time, this technology will have a positive impact on ensuring environmental sustainability, rational use of water resources, and socio-economic development of the region.

In future studies, it is advisable to optimize the exact locations of micro hydropower plants based on GIS technologies, compare the efficiency of different types of hydroturbines, and conduct in-depth analysis of test results in real-world operating conditions.

LİST OF USED LİTERATURE

1. Toirov O.Z., Alimkhodjayev K.T., Alimkhodjayev Sh.K. Renewable energy sources. -Tashkent.: "Science and Technology" publishing house, 2019.
2. Investitsii v vodno energeticheskiy kompleks sentral'noy azii. Vinokurov E., Axunbaev A., Usmanov N., Sukarev T., Sarsembekov T. (2021) Investitsii v vodnoenergeticheskiy kompleks Sentral'noy Azii. Almati, Moskva: Yevraziyskiy bank razvitiya. https://www.gazeta.uz/oz/2020/05/04/2030-energy-strategy.
3. Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan No. PQ-2972 dated May 18, 2017 "On measures to organize the activities of the Uzbekhydroenergo Joint-Stock Company".
4. Karabaeva G. Ways to improve the efficiency of the hydropower sector in Uzbekistan - Tashkent, 2017. - 79 pages.
5. Alibek Qodirov, Ogabek Khamraev, Ulmasbek Qadamboyev, Munisbek Akhmedov, Alibi Bijanov, Elyor Rajabov, “Methodology of teaching the

ISSN 3030-3907

science of solar energy in higher education countries" The legal regime of renewable green energy. AIP Conf.Proc. (November 2025). https://doi.org/10.1063/5.0306160

6. O.O. Khamrayev, "Selecting the optimal location for the construction of a creative low-power hydroelectric power station by analyzing the channels in the Khorezm region" Involta innovatsion scientific journal. April 2025. https://scienceresearch.uz/index.php/iv/article/view/840/1544

7. O.O. Khamrayev. "Damless micro hydropower plants and their design" Development of science. May 2025. https://devos.uz/requirements.php

8. I. Davletov, N. Khakimov, A. Qodirov, M. Akhmedov, J. Sadullayev, and O. Khamraev, "Soft start of induction electric motors using rezistor and denistor devices," E3S Web Conf., vol. 461, p. 01066, Dec. 2023. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346101066

9. I. Y. Davletov, N. Z. Khakimov, A. K. Qodirov, M. M. Akhmedov, J. O. Sadullayev, and O. O. Khamraev, "Increasing the Efficiency of Asynchronous Motors by Improving the Quality of the Electric Current," in 2023 IEEE XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE), Nov. 2023, pp. 1820–1824. https://doi.org/10.1109/APEIE59731.2023.10347842

ISSN 3030-3907

MIS ISHLAB CHIQARISH ISTIQBOLLI LOYIHALARINING TATBIQI

Xayitboyev Qudratbek Anvarbek o‘g‘li
Andijon davlat texnika instituti,“Umumtexnika fanlari” kafedrasi assistenti
E-mail: qudratbek94xayitboyev@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada Olmaliq kon-metallurgiya kombinati tarkibidagi Mis eritish zavodining bugungi holati, ishlab chiqarish quvvatlari hamda istiqbolli rivojlanish loyihalari tahlil qilingan. Korxonada mis xomashyosini chuqur qayta ishlash, energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etish, ekologik xavfsizlikni oshirish va ishlab chiqarish samaradorligini ko‘paytirishga qaratilgan modernizatsiya jarayonlari yoritilgan. Shuningdek, yangi pechlar, gaz tozalash tizimlari, raqamli boshqaruv vositalari hamda qo‘shimcha qayta ishlash quvvatlarini yaratish bo‘yicha istiqbolli loyihalarning iqtisodiy va texnologik ahamiyati bayon etilgan. Tadqiqot natijasida mazkur loyihalar korxonaning eksport salohiyatini oshirish, mahsulot tannarxini kamaytirish hamda O‘zbekiston metallurgiya sanoatini barqaror rivojlantirishda muhim omil ekani asoslab berilgan.

Kalit so‘zlar: mis**,** molibden, konvertor, shixta, vanadiy toshqol, shteyn, suv, nasos stansiya, molibden, reniy, kompressor, kislorod, narx, eksport

Аннотация. В данной статье анализируется текущее состояние, производственные мощности и перспективные проекты развития медеплавильного комбината Алмалыкского горно-металлургического комбината. Подчеркиваются процессы модернизации, направленные на глубокую переработку медного сырья, внедрение энергосберегающих технологий, повышение экологической безопасности и эффективности производства на предприятии. Также описывается экономическое и технологическое значение перспективных проектов по созданию новых печей, систем газоочистки, средств цифрового управления и дополнительных перерабатывающих мощностей. В результате исследования обосновывается, что эти проекты являются важным фактором повышения экспортного потенциала предприятия, снижения себестоимости продукции и устойчивого развития металлургической промышленности Узбекистана.

Ключевые слова: медь, молибден, конвертер, заряд, ванадиевая руда, кедр, вода, насосная станция, молибден, рений, компрессор, кислород, цена, экспорт

Abstract. This article analyzes the current state, production capacity and promising development projects of the Copper Smelting Plant within the Almalyk Mining and Metallurgical Combine. The modernization processes aimed at deep processing of copper raw materials, the introduction of energy-saving

technologies, increasing environmental safety and increasing production efficiency at the enterprise are highlighted. The economic and technological significance of promising projects to create new furnaces, gas cleaning systems, digital control tools and additional processing capacities is also described. As a result of the study, it is substantiated that these projects are an important factor in increasing the export potential of the enterprise, reducing the cost of production and sustainable development of the metallurgical industry of Uzbekistan.

Keywords: copper, molybdenum, converter, charge, vanadium ore, stein, water, pumping station, molybdenum, rhenium, compressor, oxygen, price, export

KIRISH.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Shavkat Miromonovich Mirziyoyevning 2021-yil 24-iyunda “Kon-metallurgiya sanoati va unga bog‘liq sohalarni rivojlantirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi PQ 5159-sonli qarori qabul qilingan. Ushbu qarorda kon-metallurgiya sanoatini uzoq muddatli istiqbolda ishonchli resurs bazasi bilan ta’minlash uchun mis, rangli, nodir va noyob metallar bo‘yicha geologiya-qidiruv ishlarini kengaytirish, geologiya fani va geologik xizmatlar bozorini rivojlantirish, Mis sanoati klasteri doirasida loyiha va injinering xizmatlari, ilmiy-tadqiqot va tajriba-konstruktorlik ishlarining o‘zaro bog‘liq tizimini rivojlantirish, zamonaviy texnologiyalarni transfer qilish, innovatsiyalarni va raqamli texnologiyalarni joriy etish hamda mavjudlarini takomillashtirish bo‘yicha ilg‘or xorijiy tajribalar asosida fan va ishlab chiqarish o‘rtasidagi o‘zaro hamkorlikning yangi tizimini yo‘lga qo‘yish chora-tadbirlari belgilab qo‘yilgan. Shuningdek, Mis sanoati klasteri uchun zarur bo‘lgan kon-metallurgiya mashinalari, texnikalari, asbob-uskunalar, xom ashyoni chuqur qayta ishlash, kimyoviy mahsulotlarning yangi turlarini ishlab chiqarishni kengaytirish va o‘zlashtirish, mahalliy ixtisoslashgan tashkilotlar bilan kooperatsiya va autsorsing asosida xizmat ko‘rsatish turlarini rivojlantirish zarurligi yozilgan [1].

O‘rta Osiyoda yirik sanoat korxonasi hisoblangan Olmaliq kon-metallurgiya kombinatining Mis eritish zavodi 1963-yilda ishga tushirilgan bo‘lib, rangli va nodir metallar ishlab chiqarish bo‘yicha O‘zbekistondagi eng yetakchi korxonadir. Mazkur zavodda bugungi kunda Mis katodi, Sulfat kislotasi (H_2SO_4), Molibden kuyindisi, Perennat ammoniy (NH_4ReO_4), Emallangan mis simlari, Selen (Se), Tellur (Te), Palladiy (Pd), Affinajlangan Oltin, Affinajlangan Kumush hamda suyultirilgan kislorod kabi mahsulotlar ishlab chiqariladi. Kombinatning mis ishlab chiqarish zanjiridagi so‘nggi yakunlovchi hisoblangan zavod tarkibida 7 ta alohida va 5 ta yordamchi tsex bor. Har bir korxona va bo‘linmalar o‘zlariga yuklatilgan vazifalarni sidqidildan bajarib, o‘zaro uzviy

ISSN 3030-3907

bog‘liq holda bir yoqadan bosh chiqarib Respublikmiz iqtisodiyotiga munosib hissasini qo‘shib kelmoqda.

ADABIYOTLAR TAHLILI.

Mis ishlab chiqarish texnologiyasi bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar olib borgan olimlardan Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali “Metallurgiya” kafedrasi professori – S.A.Abduraxmonov, Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti “Metallurgiya” kafedrasi dotsenti – F.E.Axtamov, Toshkent davlat texnika universiteti katta dotsenti – M.E.Masidiqov, Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo‘yicha direktor o‘rinbosari – D.B.Xoliqulov, Olmaliq Sanoat texnikumi katta o‘qituvchilari – A.Yusupxodjayev, S.Xudoyorov, Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq fliali professor-o‘qituvchilari – Sh.B.Karshiboyev, S.K.Mamaraximov, Toshkent davlat texnika universitet “Metallurgiya” kafedrasi dotsenti G.X.Alamovalarning darslik, o‘quv qo‘llanma va maqolalari tahlil qilindi.

Iste’mol bo‘yicha rangli metallar bo‘yicha mis aluminiydan keyin ikkinchi o‘rinda turadi [2].

1-jadval

№	Mis va mis birikmalarining asosiy iste’molchi sohalari
1	Elektrotexnika va elektronika
2	Mashinasozlik
3	Transport vositalari
4	Qurilish materiallari
5	Kimyo sanoati
6	Qishloq xo‘jaligi va boshqalar

O‘zbekiston bir yilda 100-120 ming tonna xomaki mis ishlab chiqarish imkoniyatiga ega, lekin tozalangan misni esa 200-210 ming tonna ishlab chiqarish mumkin. Xomaki misni olishdan uni tozalash imkoniyati ko‘proqdir.

METODOLOGIYA.

Jarayonlar Mis boyitish fabrikasidan eritish uchun tayyor holga keltirilgan xom ashyo qorishmasini qabul qilib olishdan boshlanadi. Saotiga 100-120 tonna mahsulot tasmali qurilma orqali shixtalash va maydalash bo‘limiga kelib tushadi. Fabrikada mavjud omborda 30 ming tonna ya’ni fabrika xom ashyosi konvertor toshqoli, rux zavodi klinkeri va qo‘shimcha konsentratlar aralashtirilib metallurgiya tsexiga yuboriladi. Tsexda ikkita anodli quyish pechi, to‘rtta konvertor va bitta granulyatsiya donalar pechlari mavjud.

ISSN 3030-3907



1-rasm. Anodli mis quyish pechi

Metallurgiya tsexining maydalash va shixtalash bo‘limida tayyorlangan shixta suyuq Vanadiy eritish pechi, kislorod mashinali eritish va yalliq qaytaruvchi eritish pechlariga uzatiladi. Shixtaning kattaligi, namligi va boshqa fizik-kimyoviy xossalariga qarab, eritish agregati tanlanadi. Suyuq Vanadiy eritish pechida 90 foizga yaqin komponent bu – Mis boyitish fabirkasining konsentranti asosida tayyorlangan Misli sulfidli shixta mavjud. Qolgan qo‘shimchalar, flyus rudalar kiritiladi va sifatli toshqol olish uchun ishlatiladi. Toshqol tarkibida og‘ir rangli metallarning miqdori kamayishi uchun flyusli qo‘shimchalar kiritiladi. Vanadiy eritish pechida barcha shixta yuklash kislorod havo aralashmasi bilan purkab pechning ichida borbatlash, chang gaz oqimini pechdan chiqarish kabi operatisyalar uzluksiz ravishda amalga oshiriladi. Eritish agregatlaridan olingan Shteynlar konvertorlash jarayonida qayta ishlanadi. Suyuq Vanadiy eritish pechida olingan Shteyn tarkibidagi misning miqdori o‘rtacha 45 foiz, Hashval eritish pechida olingan shteynning tarkibidagi misning miqdori 30-40 foiz arofida, Yalliq qaytarish pechida 25 foiz misi bo‘lgan shteyn mahsuloti olinib, qayta ishlanadi.

Hozirga qadar korxonada qator modernizatsiya ishlari amalga oshirilib, metallni eritish va undan mahsulot olish jarayoniga zamonaviy texnologiyalar joriy qilib kelinmoqda. Xususan, qator tsexlarda ma’nan va jismonan eskirgan uskunalar yangisiga almashtirildi. Mis eritish zavodi Olmaliq kon-metallurgiya kombinatining yuragi hisoblanadi. Zavodning yuragi esa metallurgiya tsexidir. Bu tsexning yuragi Konverter anod bo‘limi hisoblanadi.

Korxonada muhim jarayonlar ko‘p. Ulardan biri pechlarni o‘z vaqtida sovitish hamda harorat ko‘tarilib ketishining oldini olishdir [3]. Bunda aylanma suvdan foydalaniladi ya’ni suv ortiqcha sarflanmaydi. Nasoslarda soatiga 1000 tonna 24 ºC haroratga ega suv zavodga yuborilib, u yana quvurlar orqali suv

ISSN 3030-3907

sovutish minoralariga kelib tushadi. Shu tarzda uchta minora pechlarning bir xil haroratda ishlaashini ta’minlaydi. Bugungi kunda ushbu obyektda 3 seksiyali metallurgiya ishlab chiqarishning aylanma suv ta’minoti uchun nasos stansiyasini qayta jihozlash uchun to‘liq yakunlandi. Uning umumiy maydoni 576 m^3 va bitta seksiyaning maydoni esa 192 m^3 ni tashkil etadi. Ta’mirlash ishlari Kombinatning Kapital qurilish boshqarmasi mehnat jamoasi tomonidan olib borildi. Qayta jihozlash ishlari mobaynida minoraning temir-beton, metallokonstruksiya, devorlardagi to‘siqlar hamda uchta VG rusumli ventilyatorlari yangilandi. Buning natijasida aylanma suvning sovutish samarasi oshirildi. Ayni kunga kelib uchinchi Sulfat kislotasi tsexidagi 3 seksiyali nasos stansiyasi va havo taqsimlash tsexidagi 2 seksiyali nasos stansiyasini qayta jihozlash ishlari ham bajarilmoqda.

Shu o‘rinda qayd etib o‘tish kerakki, O‘zbekiston Respublikas Prezidenti Shavkat Miromonovich Mirziyoyevning 2022-yil 28-yanvardagi “2022-2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida” gi PF 60-sonli farmoni ijrosini ta’minlash maqsadida 2022-2024 yillarga mo‘ljallangan “Olmaliq kon-metallurgiya kombinati” aksiyadorlik jamiyatining nodir metallar va qattiq qotishmalar ilmiy ishlab chiqarish birlashmasini rivojlantirish va yangi mahsulotlarni o‘zlashtirish dasturi ishlab chiqilgan [4]. Uning birinchi yo‘nalishi bo‘yicha Molibden ishlab chiqarishni 2023-yilda 800 tonnadan 1200 tonnaga ko‘paytirish loyihasini amalga oshirish belgilangan. Mazkur yo‘nalishda Mis eritish zavodining kamyob metallar ishlab chiqarish tsexi kengaytirilib, mahsulot olish quvvatlari oshirildi. Bugungi kungacha kamyob metallar ishlab chiqarish tsexida 4 ta aylanma kuydirish pechi mavjud edi. Ularning har biri Molibden yarim tayyor mahsulotini 600 tonna ishlab chiqarish quvvatiga ega edi. Shunindek, ikkita yangi aylanma pechlari qurildi. Ularning ishlab chiqarish quvvati avvalgi ishlab chiqarish tsexidan 30 foizgacha balandroq. Yangi pechlar iqtisodiy samarador hisoblanadi. Avvalgi pechlarga suv va elektr energiya qancha ketgan bo‘lsa, yangi qurilgan pechlarga ham shuncha elektr energiya va suv sarflanadi. Lekin yangi pechlarda ko‘proq mahsulot ishlab chiqarishning imkoni mavjud.

ISSN 3030-3907



2-rasm. Molibden yarim tayyor mahsulotini olish pechi

Tsexning yarim tayyor mahsulotlarni saqlash ombori ham kengaytirildi. Hozirgi kunda tsexda yiliga 750-800 tonna Molibden kuyindisi olinayotgan bo‘lsa, yangi pechlarning ishga tushirilishi hiosbiga bu ko‘rsatkich 1200 tonnaga yetkazildi. Yangi kuydirish pechlarni tayyorlash, o‘rnatish va ta’mirlash kombinatning o‘z kuchi bilan Pudratchi ishtirokchisiz olib borildi. Bundan tashqari, qo‘llanilgan texnologiya qimmatbaho sanalgan va talab yuqori bo‘lgan Reniy ajratib olish va to‘liq eksport qilinadiga Ammoniy perrenat (NH_4ReO_4) ni ishlab chiqarish imkonini beradi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA.

Olmaliq kon-metallurgiya kombinatidagi modernizatsiya jarayonlari Mis eritish zavodida izchil davom etyapti. Xususan, eski uskunalar yangi zamonaviy texnologiyalar bilan jihozlanyapti. Zavodning 4-sonli Sulfat kislotasi tsexining gazni changlardan tozalash bo‘limida 195 pagonometr, diametri 2020-2400 mm bo‘lgan quvurlar stekloplast quvurlarga o‘zgartirildi. Abstraksiya minorasidagi umumiy 78 ta chiroqli filtrlar yangisiga almashtirildi.

Mis eritish zavodi uchun yana bir ahamiyatli bo‘linma bu – havo tasqimlash tsexi hisoblanadi. Chunki, metallurgiya tsexida pechlar ishlashi uchun Azot kerak. Bo‘linma atmosfera havosini quvurlar orqali kompressorlar yordamida tortib oladi va 5-5,5 atmosfera bosimiga ko‘tarib, uchta havoni taqsimlash uchastkasiga yuboradi. Shu yerda havo kislorod va azotga ajratilib, metallurgiya tsexiga gaz holatida, qolgan suyultirilgan qismi esa bosim bilan nasoslar orqali kislorod ballonlariga to‘ldiriladi hamda Shifoxonalarga yetkaziladi. Bo‘linmaning gaz holatida kislorod ishlab chiqarish quvvati 40000 m^3/soatni tashkil etadi. Gaz ballondagi texnik kislorodlar tibbiyot sohasi va payvandlash jarayonlarida ishlatiladi. “Yoshlik-1” konini o‘zlashtirish investitsiya loyihasi doirasida yangi havo taqsimlash tsexini qurish bo‘yicha bir

ISSN 3030-3907

qator ishlar olib borilmoqda. Albatta, ushbu qurilgach ishlab chiqarish quvvatlari yanada oshadi. Umumiy aytganda, kislorod bu – hayot, hamma joyda kerak.

Tayyor mahsulotlarni Qadoqlash tsexi zavodning yakuniy nuqtasidir. Elektrolizlash jarayonida tayyorlangan katodli mis kichik elektrovozlar orqali va shu yerda qadoqlanadi hamda kranlar yordamida yuklanadi. Har bir qadoqlangan mahsulotning o‘rtacha og‘irligi 1300 kg ni tashkil etadi. Bir tonna misning narxi esa bugungi kunda 8500 AQSH dollari miqdorida baholanmoqda. Tovarlar xaridorlar tomonidan berilgan talabnoma asosida tayyorlanadi. Avtomobilga yuklanadigan tovarlarning partiya og‘irligi 20 tonnadan 27 tonnagacha, vagonga esa 60 tonnadan 65 tonnagacha mis mahsulotlari yuklanadi. O‘rtacha hisobda kuniga 400 tonnaga mis mahsuloti eksportga yuboriladi. Bu degani oyiga 12000-13000 tonnaga mis mahsuloti tayyor holda korxonadan yuklanadi. Yiliga esa o‘rtacha hisobda 148 ming tonnaga mahsulot eksportga yuboriladi. Katodli mis mahsulotlari Xitoy, Turkiya, Germaniya kabi yirik ishlab chiqarish korxonalari mavjud davlatlarga eksport qilinmoqda. Bir oyda ishlab chiqarilgan mis katodining 60 foizi ichki bozorga yuboriladi hamda 40 foizi esa eksportga yo‘naltirilgan.

Shu o‘rinda ta’kidlab o‘tish kerakki, Mis eritish zavodining maydonida yangi Metallurgiya majmuasini qurish ishlari boshlangan. Loyihaga ko‘ra, birinchi bosqichda quvvati 240000 tonna, ikkinchi bosqichda esa 500000 tonnagacha bo‘lgan konertor, anod va eritish pechlari quriladi. Ikkinchi bosqichda 6 va 7-sonli 70000 m^3/soat quvvatiga havo taqsimlash tsexi, 5 va 7-sonli ishlab chiqarish quvvati 1800000 tonnaga teng Sulfat kislotasi tsexi hamda birinchi bosqichda yiliga 300000 tonna va ikkinchi bosqichda 500000 tonna mis katodi ishlab chiqarish quvvatiga ega Misni elektrolizlash tsexi va Shixta tayyorlash ombori barpo etiladi. Muxtasar aytganda, bu yerda modernizatsiya qilish va yangi loyihalar ishga tushirilgach, zavodning mamlakat iqtisodiyotiga qo‘shayotgan hissasi yanada ortadi.

XULOSA.

Xulosa qilib aytganda, Olmaliq kon-metallurgiya kombinatida mis katodi ishlab chiqarish bo‘yicha istiqbolli loyihalarning tatbiq etilishi korxonaning texnologik salohiyatini oshirmoqda, ishlab chiqarish hajmini ko‘paytirmoqda hamda mahsulot sifatini xalqaro standartlar darajasiga olib chiqishda muhim omil hisoblanadi. Zamonaviy energiya tejamkor pechlar, avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari va ekologik xavfsiz texnologiyalarni joriy etish natijasida xomashyoni chuqur qayta ishlash samaradorligi ortdi, ishlab chiqarish tannarxi kamaydi va resurslardan oqilona foydalanish ta’minlanmoqda. Shuningdek, yangi investitsion loyihalar korxonada yuqori qo‘shimcha qiymatga ega mahsulotlar ishlab chiqarishni kengaytirmoqda, eksport salohiyatini mustahkamlanmoqda

ISSN 3030-3907

hamda mamlakat iqtisodiyotiga valyuta tushumlarini ko‘paymoqda. Mazkur jarayonlar hududda yangi ish o‘rinlari yaratish, malakali mutaxassislar tayyorlash va sanoat infratuzilmasini rivojlantirishga xizmat qilyapti. Kelgusida Olmaliq kon-metallurgiya kombinatida raqamli texnologiyalar, sun’iy intellekt asosidagi nazorat tizimlari hamda chiqindisiz ishlab chiqarish tamoyillarini keng qo‘llash orqali mis sanoatining barqaror va innovatsion rivojlanishiga erishish mumkin. Shu sababli korxonada amalga oshirilayotgan istiqbolli loyihalar nafaqat tarmoq, balki O‘zbekiston Respublikasi sanoat taraqqiyotining strategik yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. https://lex.uz/docs/-5477076
2. A.Yusupxodjayev, S.Xudoyarov. Metallurgiyada ishlab chiqarish texnologiyasi. O‘quv qo‘llanma. Toshkent: “Turon-Iqbol” 2007-y, 128 bet.
3. N.P.Ismoilov. Kamyob, tarqoq va nodir metallar kimyoviy texnologiyasi. Darslik. O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligi. — Toshkent: Cho‘lpon nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi, 2005;
4. https://lex.uz/ru/docs/-5841063

ISSN 3030-3907

INVESTIGATION OF THE THERMOELECTRIC CHARACTERISTICS OF SILICON OXIDE THIN FILMS

Khojimatov Islombek Turg‘unboy o‘g‘li
E-mail: ixojimatov0420@gmail.com

Abstract. In contrast to fossil fuels, which are the primary source of energy, thermoelectric devices—which transform heat into electricity—are thought to be a more environmentally benign option. Transparent oxide conductors and semiconductors, or oxide-based materials, have been researched and used in solar cells and thin-film transistors over the past few decades. However, thermoelectric uses have also been investigated for this class of materials. In this dissertation, amorphous silicon oxide thin films were sputtered on a glass substrate at ambient temperature as the argon and oxygen mixture's oxygen concentration varied. The thermoelectric characteristics were assessed in relation to post-deposition annealing parameters (temperature and duration) and deposition circumstances. These characteristics were examined and linked to the corresponding optical, electrical, morphological, and structural characteristics. The Seebeck coefficient and electrical resistivity at room temperature were −68.6 μVK−1 and 4.7×10^{-2} Ωsm, respectively, for films that were deposited without oxygen and annealed at 300 ºC for 24 hours. Higher oxygen percentages in thin films resulted in extremely low conductivity values, making it impossible to calculate the Seebeck coefficient. For the previously mentioned annealing conditions, the highest power factor attained was 10 $\mu Wm^{-1} K^{-2}$. Electrical conductivity and the Seebeck coefficient both increased at the same time, primarily as a result of scattering mechanisms that increased the Seebeck coefficient.

Keywords: silicon oxide, Seebeck coefficient, amorphous thin films, annealing, reactive sputtering, oxygen percentage.

Аннотация. В отличие от ископаемого топлива, которое является основным источником энергии, термоэлектрические устройства, преобразующие тепло в электричество, считаются более экологичным вариантом. Прозрачные оксидные проводники и полупроводники, или материалы на основе оксидов, были исследованы и использованы в солнечных элементах и тонкопленочных транзисторах в течение последних нескольких десятилетий. Однако этот класс материалов также может быть использован в термоэлектрических целях. В данной работе тонкие пленки аморфного оксида кремния были нанесены на стеклянную подложку при температуре окружающей среды, при этом концентрация кислорода в смеси аргона и кислорода варьировалась. Термоэлектрические характеристики были оценены в зависимости от параметров отжига после осаждения (температуры и продолжительности) и условий осаждения. Эти

ISSN 3030-3907

характеристики были изучены и увязаны с соответствующими оптическими, электрическими, морфологическими и структурными характеристиками. Коэффициент Зеебека и удельное электрическое сопротивление при комнатной температуре составили -68,6 МКВК−1 и 4,7 × 10-2 Омсм соответственно для пленок, которые были нанесены без доступа кислорода и отожжены при 300 ºC в течение 24 часов. Более высокое содержание кислорода в тонких пленках приводило к чрезвычайно низким значениям электропроводности, что делало невозможным расчет коэффициента Зеебека. Для ранее упомянутых условий отжига максимальный достигнутый коэффициент мощности составлял 10 мкВт−1 К-2. Электропроводность и коэффициент Зеебека увеличились одновременно, в основном в результате механизмов рассеяния, которые увеличили коэффициент Зеебека.

Ключевые слова: оксид кремния, коэффициент Зеебека, аморфные тонкие пленки, отжиг, реактивное распыление, процентное содержание кислорода.

Annotatsiya. Asosiy energiya manbai bo‘lgan qazib olinadigan yoqilg‘idan farqli o‘laroq, issiqlikni elektr energiyasiga aylantiruvchi termoelektr qurilmalari ekologik jihatdan qulayroq variant hisoblanadi. Shaffof oksidli o‘tkazgichlar va yarimo‘tkazgichlar yoki oksid asosidagi materiallar so‘nggi bir necha o‘n yilliklar davomida quyosh batareyalari va yupqa plyonkali tranzistorlarda tadqiq qilingan va qo‘llanilgan. Biroq, bu turdagi materiallar uchun termoelektrik foydalanish ham o‘rganilgan. Ushbu dissertatsiyada amorf kremniy oksidi yupqa plyonkalar shisha substratga xona haroratida püskürtüldü, chunki argon va kislorod aralashmasining kislorod kontsentratsiyasi o‘zgarib turardi. Termoelektrik xususiyatlar cho‘ktirilgandan keyingi tavlanish parametrlari (harorat va davomiylik) va cho‘ktirish sharoitlariga nisbatan baholandi. Bu xususiyatlar tekshirildi va tegishli optik, elektr, morfologik va strukturaviy xususiyatlar bilan bog‘landi. Kislorodsiz yotqizilgan va 300 ºC haroratda 24 soat davomida tavlangan plyonkalar uchun xona haroratidagi Seebeck koeffitsienti va elektr qarshiligi mos ravishda −68,6 μVK−1 va 4,7 × 10−2 Ωsm ni tashkil etdi. Yupqa plyonkalardagi kislorodning yuqori foizi o‘ta past o‘tkazuvchanlik qiymatlariga olib keldi, bu esa Seebeck koeffitsientini hisoblashni imkonsiz qildi. Oldin aytib o‘tilgan tavlanish sharoitlari uchun erishilgan eng yuqori quvvat koeffitsienti 10 mVt m−1 K −2 ni tashkil etdi. Elektr o‘tkazuvchanligi va Seebeck koeffitsienti bir vaqtning o‘zida ortdi, bu birinchi navbatda Seebeck koeffitsientini oshiruvchi tarqalish mexanizmlari natijasida sodir bo‘ldi.

Kalit so‘zlar: kremniy oksidi, Seebeck koeffitsienti, amorf yupqa plyonkalar, tavlanish, reaktiv purkash, kislorod ulushi.

INTRODUCTION.

Finding new, eco-friendly solutions is motivated by environmental issues including global warming and the depletion of energy resources. It was quickly realized that cooling could be achieved by running current through a substance and that heat could be utilized as a source of electricity. The discovery of thermoelectric effects made these applications conceivable. The lack of hazardous residues demonstrates that thermoelectric energy converters are greener options without moving parts. Nevertheless, thermoelectric devices' efficiency is still low and cannot now outperform the well-established energy conversion applications [1-8]. One of the primary causes of low efficiency in thermoelectric devices is the materials used. Therefore, more research is needed on this topic in order to increase efficiency. The next sections outline the principles of thermoelectric effects, thermoelectric transport properties, and the focus on oxide thermoelectric materials in order to provide a comprehensive understanding of the thermoelectrics discipline.

METHOD. The first thermoelectric effect—later dubbed the Seebeck effect was discovered by Thomas Johann Seebeck in 1821, marking the birth of thermoelectrics [9]. This effect is seen in figure 1.1, where a temperature gradient given to a material generates an electrical potential [10]. A current flows as a result of the electronic charge carriers moving from the hot side, where energetic electrons have a long mean free path, to the cool side, where electrons have a short mean free path [8, 10].

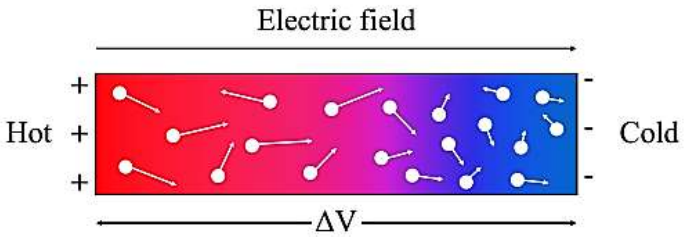


Figure 1.1: Development of an electrical potential as a result of a temperature gradient. Negative charge carriers flow from the hot side to the cold side, inducing an electric field, *E*. Adapted from [11]

A thermocouple, which is made up of wires of two different conductors—typically metals or metal alloys—connected electrically in series and thermally in parallel, is a straightforward method to illustrate this phenomenon. An open electromotive force (emf), which is detectable when a voltmeter is connected, is produced when the connection between the two metals is heated [12]. The temperature differential between the thermocouple junction and the connections to the meter determines this thermoelectric voltage:

$$S_{ab} = \frac{V}{\Delta T}$$

ISSN 3030-3907

Where Sab is the differential Seebeck coefficient in V/K under open circuit conditions, V is the electrical potential that appears at both ends, and ΔT is the temperature difference between the two junctions. If a current flows from the heated side to the cold side, the Seebeck coefficient—also known as thermoelectric power, thermopower, or thermal emf—is positive [9].

ELECTRICAL CONDUCTIVITY. One of the most crucial characteristics of a material is its electrical resistivity, or ρ. The electrical conductivity, σ, is the inverse of ρ. Both the electrical conductivity and the Seebeck coefficient are functions of carrier concentration, n, as seen in figure 1.2. In contrast to electrical conductivity, which rises with n, the Seebeck coefficient does not. As will be discussed later, the power factor PF ($S^2\sigma$), which is the product of the square of the Seebeck coefficient and electrical conductivity, maximum at a carrier concentration of around 1019 cm^{-3}, which is typical of semiconductors [12].

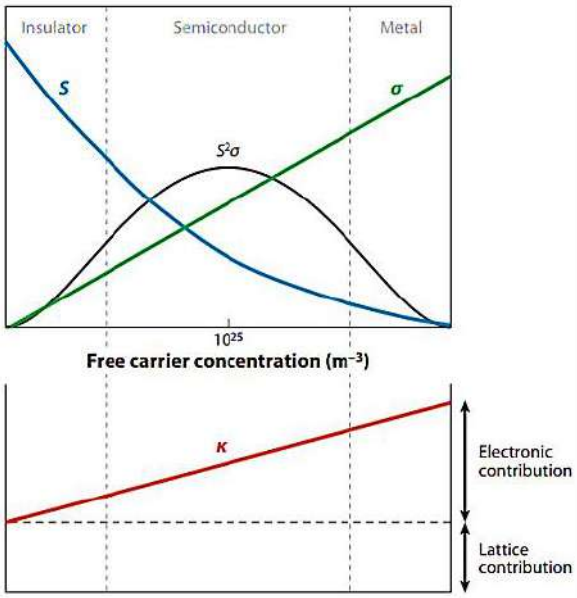


Figure 1.2: Dependence of the Seebeck coefficient, electrical conductivity, power factor, and thermal conductivity on carrier concentration. From [13]

In a semiconductor, it is convenient to express the electrical conductivity by the following expression

$$\sigma = ne\mu$$

Where n is the carrier concentration, μ is the carrier mobility, and e is the charge of unit carrier.

Thermal conductivity. Both an electrical and a thermal component are carried by charge carriers found in metals and semiconductors. Thermal vibrations found in the materials' structures also carry heat [12]. The electronic component, λe, and the lattice component, λL, add up to the total thermal conductivity, λ, as shown by:

ISSN 3030-3907

$$\lambda = \lambda_e + \lambda_L$$

The electronic thermal conductivity, λe , is in turn determined by the Lorenz number, L (2.44×10^{-8} WΩK $^{-2}$), given by

$$L = \frac{\lambda_e}{\sigma T}$$

The lattice thermal conductivity, which accounts for only one-third of the overall thermal conductivity, is the primary contribution for a semiconductor [12]. In thermoelectrics, it is convenient for heat conductivity to be as low as possible, as will be seen in the next section. However, as seen in figure 1.2, charge carrier concentration also affects total thermal conductivity. Using phonon scattering, such as phonon-phonon, phonon-defect, and phonon-boundary scattering, is one way to reduce λ [15]. Amorphous structures have lower thermal conductivities.

A thermoelectric material's efficiency is assessed using the figure of merit, or Z. Three physical characteristics are combined in this concept: heat conductivity, Seebeck coefficient, and electrical conductivity. However, as Z changes with temperature, it is typical to represent Z in dimensionless terms by multiplying it by the absolute temperature, T, in Kelvin [12]:

$$ZT = \frac{S^2\sigma}{\lambda}T$$

where S 2σ is the electrical power factor.

Altenkirch did not connect the thermocouple's performance to its thermoelectric characteristics until 1911. A high differential Seebeck coefficient, high electrical conductivities of the two thermoelements, and low thermal conductivities would be required to attain a greater performance [12]. As previously noted, it is challenging to achieve the required ZT values since all of these characteristics—particularly the electrical conductivity and Seebeck coefficient—depend reciprocally on the carrier concentration. The figure of merit optimizes at carrier concentrations characteristic of semiconductor materials, as shown in figure 1.2 [9]. Only the power factor was computed in this work because the thermal conductivity could not be determined.

Thermoelectric materials. Thermoelectric materials include semiconductors, ceramics, oxides, and organic compounds. P F is greater for carrier concentrations typical of semiconductor materials, as seen in figure 1.2. For thermoelectric applications, this family of materials is therefore the most appropriate. Thermoelectric materials are only those whose ZT is greater than 0.5. Once they can be utilized at temperatures up to around 450 K, alloys based on bismuth in combinations with antimony, tellurium, and selenium are the standard materials for commercial thermoelectric refrigeration [9]. With a ZT of about one

ISSN 3030-3907

at room temperature, bismuth telluride (Bi_2Te_3) was the best thermoelectric material for a very long time [16]. Similarly, because to their high ZT values, lead telluride and silicon germanium alloys are used in commercial applications for power generation at temperatures as high as 850 K and 1300 K, respectively [9]. It is challenging to simultaneously improve all three transport coefficients, according to the equation. Consequently, low efficiency is a common characteristic of thermoelectric materials. Higher ZT started to be attained by lowering the lattice thermal conductivity as a result of extensive research and development on new classes of materials (skutterudites, clathrates, and Half-Heusler alloys), new structures (quantum wells, quantum wires, quantum dots, and superlattices), and improved mechanisms for improving electronic transport. Furthermore, these solutions pretend to substitute the bismuth-based alloys, once they are expensive and scarse.

CONCLUSION. According to Ioffe's theory, oxide-based materials are not the best thermoelectric options because of ionic bonding with a narrow band in contrast to covalent alloys. Additionally, these materials have high thermal conductivity (about 3–10 Wm^{-1} K^{-1}) and medium electrical conductivity (approximately 100–200 Scm−1), both of which contribute to their low efficiency. Furthermore, mobility and carrier concentration are two or three orders of magnitude lower than those of covalent materials. The majority of the researched thermoelectric materials with similar high performance are poisonous, scarce, and have poor chemical or thermal stability. Conversely, certain oxide-based materials are distinguished by their ease of manufacturing, affordability, excellent chemical and structural stability, and resistance to oxidation.

The overuse of fossil fuels as consumption and population grow is the primary cause of the growing environmental issues of today. Therefore, additional green regulations should be put into place to lessen the adverse effects caused by nonrenewable energy sources. One of the most wasted forms of energy is heat. Since an electrical potential is created when a temperature differential is present, thermoelectric materials can be used in thermoelectric generators to harness this energy source. Oxide materials are being researched extensively for use as transparent conductors, solar cells, TFTs, and sensors. Materials based on indium oxide are very studied in scientific community for electronic applications, namely transparent electronics. In this work, properties of Indium Silicon Oxide thin films were studied, namely the thermoelectric properties. For that purpose, thin films were deposited on glass substrate under different sputtering atmospheres (inert and reactive). The addition of oxygen to the deposition atmosphere led to different growth rates. Although a small oxygen content is usually used to control the film stoichiometry, this addition decreased the growth rate from 11.3 $nmmin^{-1}$ to 7.24

ISSN 3030-3907

nmmin^{-1} . Several factor are pointed to this reduction, such as the re-sputtering of the thin film by energetic oxygen anions. Moreover, the low mean free path of the sputtered particles towards the substrate is another pointed factor.

REFERENCES

1. IEA. Renewables Information: Overview 2017. Tech. rep. 2017.
2. IEA. Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. 2016.
3. E. Commision. Renewable energy - European Commission. https://ec.europa.eu/ energy/en/topics/renewable-energy
4. Y. Orikasa, N. Hayashi, and S. Muranaka. “Effects of oxygen gas pressure on structural, electrical, and thermoelectric properties of $(ZnO)_3$ In_2O_3 thin films deposited by rf magnetron sputtering.” In: Journal of Applied Physics 103.11 (2008), p. 113703.
5. K. Ellmer. “Past achievements and future challenges in the development of optically transparent electrodes.” In: Nature Photonics 6.12 (2012), pp. 809–817.
6. H.-M. Lee, S.-B. Kang, K.-B. Chung, and H.-K. Kim. “Transparent and flexible amorphous In-Si-O films for flexible organic solar cells.” In: Applied Physics Letters 102.2 (2013), p. 021914.
7. S. Aikawa, N. Mitoma, T. Kizu, T. Nabatame, and K. Tsukagoshi. “Suppression of excess oxygen for environmentally stable amorphous In-Si-O thin-film transistors.” In: Applied Physics Letters 106.19 (2015), p. 192103.
8. X. Zheng, C. Liu, Y. Yan, and Q Wang. “A review of thermoelectrics research–Recent developments and potentials for sustainable and renewable energy applications.” In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 32 (2014), pp. 486–503.
9. D. M. Rowe. Thermoelectrics handbook : macro to nano. CRC/Taylor & Francis, 2006.
10. K. A. Borup, J. de Boor, H. Wang, F. Drymiotis, F. Gascoin, X. Shi, L. Chen, M. I. Fedorov, E. Muller, B. B. Iversen, and G. J. Snyder. “Measuring thermoelectric transport properties of materials.” In: Energy Environ. Sci. 8 (2 2015), pp. 423–435. doi: 10.1039/C4EE01320D. url: http://dx.doi.org/10.1039/C4EE01320D.
11. Z.-H. Ge, L.-D. Zhao, D. Wu, X. Liu, B.-P. Zhang, J.-F. Li, and J. He. “Low-cost, abundant binary sulfides as promising thermoelectric materials.” In: Materials Today 19.4 (2016), pp. 227–239.
12. H. J. Goldsmid. Introduction to thermoelectricity. Vol. 121. Springer, 2010.
13. A. Shakouri. “Recent developments in semiconductor thermoelectric physics and materials.” In: Annual Review of Materials Research 41 (2011).

ISSN 3030-3907

14. M. Cutler and N. F. Mott. “Observation of Anderson localization in an electron gas.” In: Physical Review 181.3 (1969), p. 1336.
15. C. Han, Z. Li, and S. Dou. “Recent progress in thermoelectric materials.” In: Chinese science bulletin 59.18 (2014), pp. 2073–2091.
16. G. S. Nolas, J. Sharp, and J. Goldsmid. Thermoelectrics: basic principles and new materials developments. Vol. 45. Springer Science & Business Media, 2013.

ISSN 3030-3907

GETEROSTRUKTURALI QOPLAMALARNING ELASTIK MODULI VA YOPISHQOQLIGI O‘RTASIDAGI KORRELYATSIYA

Xojimatov Umidbek Turg‘unboy o‘g‘li
Stajyor o‘qituvchi, "Materialshunoslik" kafedrasi, Andijon davlat texnika instituti, Andijon, O‘zbekiston
E-mail: umidbekkhojimatov@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada PVD usuli bilan po‘lat asoslarga yotqizilgan 12 ta turli geterostrukturali qoplama (monoqatlam, ikkiqatlam, ko‘pqatlamli va nanolaminat tizimlar) tahlil qilingan, ularning elastik moduli E (nanoindentirlash usuli, GOST R 8.748-2011) va kritik adgeziya yuklamasi Lc_2 (skratch-test, ASTM C1624-05) aniqlangan. Tahlil shuni ko‘rsatdiki, E va Lc_2 o‘rtasida kuchli manfiy chiziqli bog‘liqlik mavjud (Pearson r = –0,963, p < 0,001), bu mikrostrukturaning monoqatlamdan nanolaminatga o‘tishi bilan kuzatiladi: monoqatlamlar uchun E = 390–425 GPa, Lc_2 = 30–35 N; nanolaminatlar uchun E = 308–335 GPa, Lc_2 = 64–72 N.

Kalit so‘zlar: geterostrukturali qoplama; PVD; nanolaminat; ko‘pqatlamli qoplama; elastik moduli; adgeziya; skratch-test; kritik yuklama; nanoindentirlash; korrelyatsion tahlil.

Аннотация. В настоящей статье проанализированы 12 различных гетероструктурных покрытий, нанесённых методом PVD на стальные подложки (моно-, двухслойные, многослойные и нанослоистые системы), определены их модуль упругости E (метод наноиндентирования, ГОСТ Р 8.748-2011) и критическая нагрузка отслоения Lc_2 (скретч-тест, ASTM C1624-05). Установлено, что между E и Lc_2 существует сильная отрицательная линейная корреляция (Pearson r = –0,963, p < 0,001), которая отражает переход микроструктуры от монослоя к наноламинату: для монослойных покрытий E = 390–425 ГПа и Lc_2 = 30–35 Н, для нанослоистых - E = 308–335 ГПа и Lc_2 = 64–72 Н.

Ключевые слова: гетероструктурное покрытие; PVD; наноламинат; многослойное покрытие; модуль упругости; адгезия; скретч-тест; критическая нагрузка; наноиндентирование; корреляционный анализ.

Abstract. This article analyzes 12 different heterostructured coatings deposited by PVD on steel substrates (monolayer, bilayer, multilayer, and nanolaminate systems), and determines their elastic modulus E (nanoindentation, GOST R 8.748-2011) and critical delamination load Lc_2 (scratch test, ASTM C1624-05). It was established that a strong negative linear correlation exists between E and Lc_2 (Pearson r = –0.963, p < 0.001), reflecting the microstructural transition from monolayer to nanolaminate: monolayer coatings exhibit E = 390–425 GPa and

Lc_2 = 30–35 N, whereas nanolaminate coatings show E = 308–335 GPa and Lc_2 = 64–72 N.

Keywords: heterostructured coating; PVD; nanolaminate; multilayer coating; elastic modulus; adhesion; scratch test; critical load; nanoindentation; correlation analysis.

1. KIRISH.

Zamonaviy mashinasozlikning rivojlanish darajasi ko‘p jihatdan ish o‘qlari yuzasiga yotqizilgan qattiq qoplamalarning xossalari bilan belgilanadi. Kesuvchi asbob, qolip va ekstruder, hatto turbinaning kuraklari ham ishlash muhitida kuchli mexanik, kimyoviy va termik yuklamalarga duch keladi. PVD (Physical Vapor Deposition) va PECVD (Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition) usullari bilan yotqiziladigan o‘tish metallarining nitridlari va karbonitridlari - TiN, CrN, TiAlN, TiCN, CrAlN - bu sohada keng tarqalgan yechimlardir [1, 2].

Qoplamalar ishlashi uchun ikki asosiy talab birgalikda bajarilishi kerak: yetarli mexanik mustahkamlik (qattiqlik, elastik moduli, eyilishbardoshlik) va asos bilan yuqori adgeziya. Ushbu ikki talab orasidagi muvozanat amalda har doim ham ta'minlanavermaydi: yuqori qattiq qoplamalar ko‘pincha mo‘rtdir va asos bilan zaif yopishqoqlikka ega; aksincha, yumshoqroq qoplamalar yaxshi adgeziya namoyon qiladi, lekin eyilishbardoshligi past bo‘ladi [3].

Bu muammoning yechimi sifatida so‘nggi yillarda geterostrukturali (ko‘pqatlamli, gradient, nanolaminat) qoplamalar ishlab chiqilmoqda. Bunday qoplamalarda turli kimyoviy tarkibga ega ingichka qatlamlar bir-biriga ketma-ket joylashtiriladi, natijada makroskopik darajada qattiqlik saqlangan holda mikroskopik darajada elastik moslashish va energiyani yutish mexanizmlari shakllanadi. Nanolaminat tuzilishlari (qatlam qalinligi 5–20 nm) ayniqsa istiqbolli bo‘lib, ular Hall-Petch effekti va qatlamlararo chegaralarda dislokatsiyalarning to‘xtatilishi tufayli mexanik xossalarini va adgeziyani bir vaqtning o‘zida oshiradi [4, 5].

Shu bilan birga, geterostrukturali qoplamalarning mexanik xossalari va adgeziyasi o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlikni miqdoriy aniqlash hozirgi paytda yetarlicha o‘rganilmagan. Klassik adgeziya nazariyalari (Lichinchi, Bull, Holmberg modellari) elastik moduli (E), qattiqlik (H) va asos bilan o‘zaro bog‘lanish kuchining hisobini taqdim etadi, ammo turli geterostrukturalar uchun ushbu munosabatlar empirik tarzda tasdiqlanishi zarur [6]. Bu yo‘nalishdagi tadqiqotlar nafaqat ilmiy, balki amaliy ahamiyatga ham ega: agar E va adgeziya o‘rtasida aniq korrelyatsiya o‘rnatilsa, ishlab chiqarishda qoplama sifatini nazorat qilish va loyihalashning samarali vositasi yaratilishi mumkin.

Mazkur ishning maqsadi - PVD usulida tayyorlangan 12 ta turli arxitektura va tarkibga ega geterostrukturali qoplama uchun elastik moduli (E) va kritik

ISSN 3030-3907

adgeziya yuklamasi (Lc_2) qiymatlari orasidagi bog‘liqlikni aniqlash va miqdoriy tahlil qilish. Vazifalar: (1) PVD usulida turli arxitekturadagi qoplamalarni (monoqatlam, ikkiqatlam, ko‘pqatlamli, nanolaminat) tayyorlash; (2) nanoindentirlash usuli bilan E qiymatini aniqlash; (3) skratch-test usulida Lc_2 ni o‘lchash; (4) E va Lc_2 o‘rtasida statistik korrelyatsiya tahlilini bajarish va olingan natijalarni amaliy qo‘llanilish nuqtai nazaridan sharhlash.

2. TADQIQOT METODOLOGIYASI.

2.1. Qoplamalarni yotqizish

Tajribalar 12-X18N10T markasidagi austenit po‘lat asoslar (40×20×3 mm) ustiga olib borildi. Yotqizishdan oldin asoslar etanolda va asetonda ultrasonik tozalashdan o‘tkazildi, so‘ng PVD kamerasi ichida Ar+ ionlarining 15 minutlik ionli tozalashiga duchor qilindi. Qoplamalar magnetron-sputter (DC va RF) hamda katod yoyi (cathodic arc) usullari yordamida Hauzer FlexiCoat 850 universal qurilmasida tayyorlandi. Yotqizish parametrlari: po‘lat haroratisi 350±10 °C, ish gazlari aralashmasi Ar + N_2 (oqim nisbati 3:1), umumiy bosim 0,5 Pa, asosga bias kuchlanishi –50 V. Qoplama qalinligi 2,8–3,2 mkm orasida saqlandi.

Tajriba uchun to‘rt sinfdagi 12 ta turli arxitekturali qoplama tayyorlandi (1-jadval): monoqatlamlar (TiN, CrAlN, TiAlN), ikkiqatlamli (TiN/CrN, TiAlN/CrN, TiCN/TiN), ko‘pqatlamli 10–20 ta qatlamli (TiAlN/CrN, TiN/CrN, TiAlN/AlN) va nanolaminat (TiAlN/CrAlN, TiN/AlN, CrN/AlN). Nanolaminatlarda qatlam qalinligi 8–12 nm orasida, qatlamlar soni 150–180 ta.

1-jadval.

Tadqiq etilgan geterostrukturali qoplamalar tizimi va arxitekturasi

№	Qoplama tizimi	Arxitektura	Qalinligi, mkm	Qatlamlar soni
1	TiN	Monoqatlam	3,0	1
2	CrAlN	Monoqatlam	2,9	1
3	TiAlN	Monoqatlam	3,1	1
4	TiN/CrN	Ikkiqatlam	3,0	2
5	TiAlN/CrN	Ikkiqatlam	2,9	2
6	TiCN/TiN	Ikkiqatlam	3,1	2
7	TiAlN/CrN	Ko‘pqatlamli (10)	3,0	10
8	TiN/CrN	Ko‘pqatlamli (15)	3,0	15

ISSN 3030-3907

№	Qoplama tizimi	Arxitektura	Qalinligi, mkm	Qatlamlar soni
9	TiAlN/AlN	Ko‘pqatlamli (20)	3,1	20
10	TiAlN/CrAlN	Nanolaminat	2,8	≈150
11	TiN/AlN	Nanolaminat	3,0	≈170
12	CrN/AlN	Nanolaminat	3,2	≈180

2.2. Xarakteristika usullari

Elastik moduli (E) Anton Paar TTX-NHT² nanoindentirlash qurilmasida Berkovich pirsasi yordamida aniqlandi (GOST R 8.748-2011 va ISO 14577-1:2015 standartlariga muvofiq). Yuklash rejimi: maksimal yuklama 5 mN, yuklash tezligi 10 mN/min, ushlash vaqti 5 s, tushirish tezligi 10 mN/min. Har bir namuna uchun 16 ta indentirlash o‘tkazildi, ortacha qiymat va standart og‘ish hisoblandi. E qiymati Oliver-Pharr modeli asosida hisoblandi.

Adgeziya kritik yuklamasi (Lc_2 - qoplamaning ko‘p qismi asosdan to‘liq ajralib chiqishi nuqtasi) skratch-test usulida CSM Revetest qurilmasida ASTM C1624-05 standartiga muvofiq aniqlandi. Olmosli Rockwell C pirsasi (radius 200 mkm), yuklash tezligi 100 N/min, skrotsh chizig‘i uzunligi 5 mm. Har bir namuna uchun 3 ta skratch chizig‘i amalga oshirildi; Lc_2 yuklamasi optik mikroskop ostida vizual va aktiv akustik emissiya signali asosida aniqlandi.

Qoplama strukturasi va qalinligi skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM, JEOL JSM-7500F) va rentgen difraktometriyasi (XRD, Bruker D8 Discover, Cu Kα nurlanishi, λ = 0,15406 nm) usullari bilan tasdiqlandi. Nanolaminat qoplamalarda qatlamlar struktura davriyligini tasdiqlash uchun yuqori aniqlikdagi transmission elektron mikroskopiyasi (HRTEM) qo‘llanildi.

2.3. Statistik tahlil

E va Lc_2 qiymatlari o‘rtasidagi munosabat parametrik Pearson korrelyatsiya koeffitsienti yordamida baholandi. Chiziqli regressiya tenglamasi koeffitsientlari eng kichik kvadratlar usulida hisoblandi. Korrelyatsiyaning statistik signifikantligi t-mezon yordamida tekshirildi (signifikantlik darajasi α = 0,05). Statistik ishlov Python 3.11 (SciPy 1.11) muhitida amalga oshirildi.

3. NATIJALAR VA TAHLIL.

3.1. Elastik moduli va kritik adgeziya yuklamasi qiymatlari

Tadqiq etilgan 12 ta qoplama tizimi uchun nanoindentirlash va skratch-test natijalari 2-jadvalda umumlashtirilgan.

ISSN 3030-3907

2-jadval.

Geterostrukturali qoplamalarning elastik moduli (E) va kritik adgeziya yuklamasi (Lc_2)

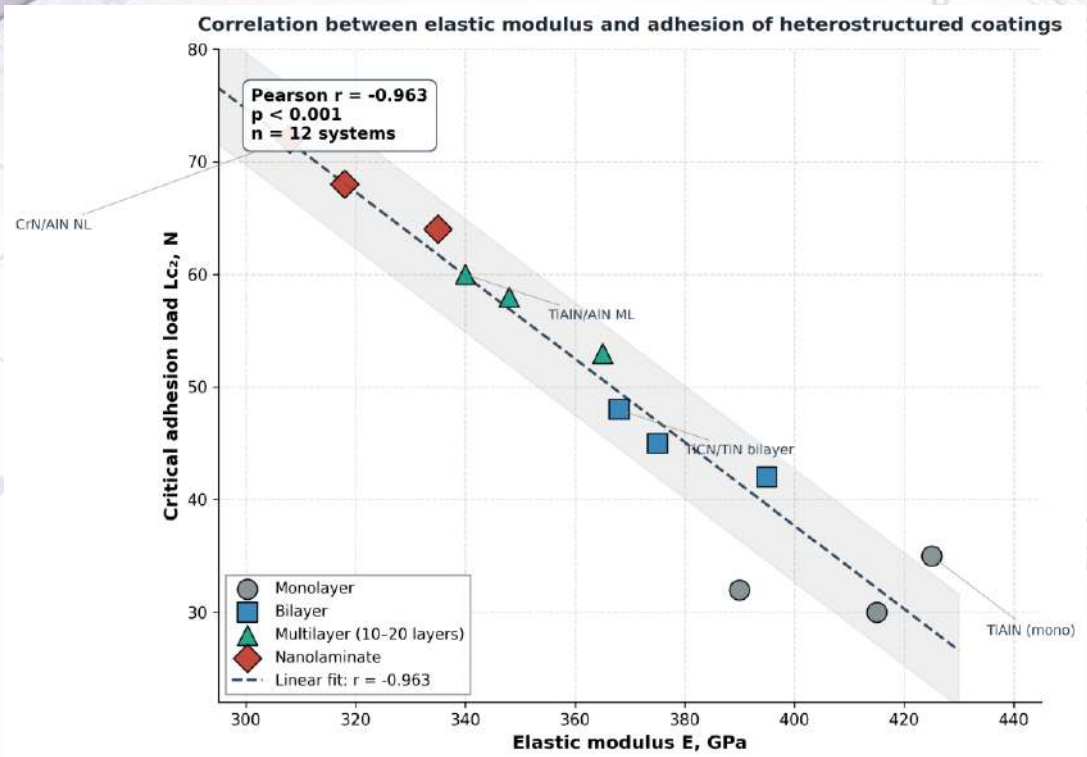
№	Qoplama tizimi	Arxitektura	E, GPa	Lc_2, N
1	TiN	Monoqatlam	390 ± 14	32 ± 2
2	CrAlN	Monoqatlam	415 ± 16	30 ± 2
3	TiAlN	Monoqatlam	425 ± 18	35 ± 3
4	TiN/CrN	Ikkiqatlam	375 ± 13	45 ± 3
5	TiAlN/CrN	Ikkiqatlam	395 ± 15	42 ± 3
6	TiCN/TiN	Ikkiqatlam	368 ± 12	48 ± 3
7	TiAlN/CrN	Ko‘pqatlamli (10)	365 ± 12	53 ± 3
8	TiN/CrN	Ko‘pqatlamli (15)	348 ± 11	58 ± 4
9	TiAlN/AlN	Ko‘pqatlamli (20)	340 ± 11	60 ± 4
10	TiAlN/CrAlN	Nanolaminat	335 ± 10	64 ± 4
11	TiN/AlN	Nanolaminat	318 ± 9	68 ± 5
12	CrN/AlN	Nanolaminat	308 ± 9	72 ± 5

2-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, monoqatlamli qoplamalar yuqori elastik moduli (E = 390–425 GPa), lekin nisbatan past kritik adgeziya yuklamasi (Lc_2 = 30–35 N) ko‘rsatadi. Nanolaminat qoplamalar uchun aksincha holat kuzatildi: elastik moduli sezilarli darajada past (E = 308–335 GPa), ammo kritik yuklama 2 marta yuqori (Lc_2 = 64–72 N). Ikkiqatlamli va ko‘pqatlamli qoplamalar oraliq qiymatlarni ko‘rsatadi.

3.2. E va Lc_2 orasidagi korrelyatsion tahlil

Olingan ma'lumotlarning grafik tahlili 1-rasmda taqdim etilgan. Tasvirda har bir qoplama arxitekturasi alohida shartli belgi va rang bilan ko‘rsatilgan, hamda eng kichik kvadratlar usulida qurilgan chiziqli regressiya egri chizig‘i tasvirlangan.

ISSN 3030-3907



1-rasm. Geterostrukturali qoplamalarning elastik moduli (E) va kritik adgeziya yuklamasi (Lc_2) o‘rtasidagi korrelyatsiya. Soya zonasi - taxminan 95 % ishonch oralig‘i. Pearson r = –0,963, p < 0,001, n = 12 qoplama tizimi

Statistik tahlil natijalari quyidagicha:

–Pearson korrelyatsiya koeffitsienti: r = –0,963 (kuchli manfiy korrelyatsiya);

–Determinatsiya koeffitsienti: R^2 = 0,927 (Lc_2 ning 92,7 % o‘zgaruvchanligi E o‘zgarishi bilan tushuntiriladi);

–Chiziqli regressiya tenglamasi: $Lc_2 = –0,328 \cdot E + 169,4$;

–Statistik signifikantlik: t = –10,99; p < 0,001 (α = 0,05 dan ancha past);

–Standart xato: s_y|x = 4,1 N.

Olingan natija mexanik xossalar va adgeziya orasidagi muvozanat to‘g‘risida muhim fundamental xulosani tasdiqlaydi: E ning kamayishi qoplamaning elastik moslashuvchanligini va asos bilan moslashish qobiliyatini oshiradi, bu esa kritik yuklamani sezilarli darajada oshiradi. Bu xulosa Holmberg va Matthews (2009) [3] tomonidan tribologik qoplamalar uchun taklif qilingan modelga va Musil (2012) [4] ning nanolaminat tuzilishlari uchun tahlillariga to‘liq mos keladi.

4. MUHOKAMA.

Kuzatilgan kuchli manfiy korrelyatsiya bir nechta fizik mexanizm bilan izohlanadi. Birinchidan, geterostrukturali qoplamalarda elastik moduli ko‘pincha qatlamlararo chegaralarda kichik bo‘lib, mexanik energiyani yutish va qayta taqsimlashga qodir bo‘lgan zonalarni shakllantiradi. Bu zonalar qoplama-asos

ISSN 3030-3907

interfeysida konsentratlangan kuchlanishlarning kamayishiga olib keladi va shu sababli adgeziya ortadi [7].

Ikkinchidan, nanolaminat tuzilishlarida (qatlam qalinligi 8–12 nm) qatlamlararo chegaralarning yuqori zichligi dislokatsiyalarning siljishini cheklab, plastik deformatsiya jarayonida har bir individual qatlamning elastik xossalarini saqlab qoladi. Bu Hall-Petch effektining qatlamlar darajasidagi analogi sifatida tushuniladi va birvaqtning o‘zida ham mexanik mustahkamlikni, ham yopishqoqlikni ta'minlaydi [4, 8].

Uchinchidan, qatlamlardagi kimyoviy gradient mavjudligi qoplama-asos interfeysida fazaviy o‘tishni yumshatadi va kuchlanish konsentratsiyasini taqsimlaydi. Misol uchun, CrN/AlN nanolaminatida CrN qatlamning Fe ga moslik darajasi yuqori (po‘lat asos uchun), AlN esa yuqori qattiqlik ta'minlaydi; ularning navbatma-navbat joylashishi orqali har ikkala foyda erishiladi [9].

Olingan korrelyatsion bog‘liqlik ($Lc_2 = -0{,}328 \cdot E + 169{,}4$) amaliy ahamiyatga ega. Birinchidan, u yangi geterostrukturali qoplamalarni loyihalashda dastlabki baholash vositasi sifatida foydalanilishi mumkin: agar elastik moduli ma'lum bo‘lsa, mos adgeziya yuklamasini ±4 N aniqlik bilan oldindan aytib berish mumkin. Ikkinchidan, u sifat nazorati uchun: ishlab chiqarishda qoplama elastik modulini tezkor o‘lchash (nanoindentirlash 5–10 minutda amalga oshiriladi) orqali to‘liq skratch-testsiz adgeziyani baholash mumkin, bu sifat nazorat tsiklini sezilarli qisqartiradi [10].

Korrelyatsiyaning umumlashtirilishi cheklovlari ham mavjud. Mazkur ish faqat nitrid asosli (Ti, Cr, Al) qoplamalar bilan cheklangan; karbid, oksid yoki diamond-like carbon (DLC) qoplamalari uchun korrelyatsiyaning chizgisi va kuchi farqlanishi mumkin. Bundan tashqari, asos sifati va dastlabki tozalash sifati Lc_2 ga sezilarli ta'sir ko‘rsatadi va shu sababli korrelyatsiyaning amaliy qo‘llanilishi standartlashtirilgan tayyorlash sharoitlarini talab qiladi [11].

E va Lc_2 orasidagi munosabatni yana kuchaytirish uchun keyingi tadqiqotlar qiziqarli yo‘nalishlarni o‘z ichiga oladi: (a) H/E (qattiqlik-elastiklik) nisbati bilan korrelyatsiyani solishtirish; (b) turli asos materiallari uchun (po‘lat, qattiq qotishma, alyuminiy qotishmalar) korrelyatsiyani aniqlash; (c) tribologik tajribalar (eyilishbardoshlik, kavitatsion eroziya) bilan o‘zaro bog‘liqlikni baholash.

5. XULOSA.

Olib borilgan tadqiqot quyidagi asosiy xulosalarni shakllantirishga imkon berdi:

Birinchidan, 12 ta turli arxitektura va tarkibga ega geterostrukturali qoplamani PVD usulida muvaffaqiyatli tayyorlash va ularning elastik moduli (E) hamda kritik adgeziya yuklamasi (Lc_2) ni o‘lchash amalga oshirildi.

ISSN 3030-3907

Monoqatlamli qoplamalar uchun E = 390–425 GPa va Lc_2 = 30–35 N, nanolaminat uchun E = 308–335 GPa va Lc_2 = 64–72 N qiymatlar olindi.

Ikkinchidan, E va Lc_2 qiymatlari o‘rtasida juda kuchli manfiy chiziqli korrelyatsiya aniqlandi: Pearson r = –0,963 ($p < 0,001$), R^2 = 0,927. Regressiya tenglamasi: $Lc_2 = –0,328 \cdot E + 169,4$. Bu munosabat fizikaviy jihatdan elastik moslashuvchanlikning oshishi va kuchlanishlarni qayta taqsimlash imkoniyatining kengayishi orqali izohlanadi.

Uchinchidan, geterostrukturali qoplamalarning arxitekturasi va elastik xossalari orasidagi izchil munosabat o‘rnatildi: monoqatlam → ikkiqatlam → ko‘pqatlamli → nanolaminat o‘tishi bilan E qiymati monoton kamayadi, Lc_2 esa monoton oshadi. Bu yo‘naltirilgan loyihalashning poydevorini yaratadi: yuqori adgeziya zarur bo‘lganda qatlamlar sonini oshirish va qatlam qalinligini kamaytirish strategiyasi qo‘llanilishi kerak.

To‘rtinchidan, olingan regressiya tenglamasi sanoat sifat nazorati tizimida qo‘llanilishi mumkin: nanoindentirlash (5–10 minutda amalga oshiriladigan) yordamida E qiymatini o‘lchab, adgeziya yuklamasini ±4 N aniqlik bilan bashorat qilish mumkin, bu vaqt-talab qiluvchi skratch-testning zaruriyatini kamaytiradi.

Kelajakdagi tadqiqotlar uchun istiqbolli yo‘nalishlar quyidagilarni o‘z ichiga oladi: H/E nisbati bilan korrelyatsiyani taqqoslash; karbid va DLC qoplamalari uchun korrelyatsiyaning chegaralarini aniqlash; tribologik ko‘rsatkichlar (eyilishbardoshlik, oksidlanishbardoshlik) bilan o‘zaro bog‘liqliklarni baholash.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Holleck H., Schier V. Multilayer PVD coatings for wear protection // Surface and Coatings Technology. – 1995. – Vol. 76-77. – P. 328–336. DOI: 10.1016/0257-8972(95)02555-3.

2. PalDey S., Deevi S. C. Single layer and multilayer wear resistant coatings of (Ti,Al)N: A review // Materials Science and Engineering A. – 2003. – Vol. 342, No. 1-2. – P. 58–79. DOI: 10.1016/S0921-5093(02)00259-9.

3. Holmberg K., Matthews A. Coatings Tribology: Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering. – 2nd ed. – Amsterdam: Elsevier, 2009. – 576 p.

4. Musil J. Hard nanocomposite coatings: Thermal stability, oxidation resistance and toughness // Surface and Coatings Technology. – 2012. – Vol. 207. – P. 50–65. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2012.05.073.

5. Vepřek S., Reiprich S. A concept for the design of novel superhard coatings // Thin Solid Films. – 1995. – Vol. 268, No. 1-2. – P. 64–71. DOI: 10.1016/0040-6090(95)06695-0.

ISSN 3030-3907

6. Bull S. J. Failure modes in scratch adhesion testing // Surface and Coatings Technology. – 1991. – Vol. 50, No. 1. – P. 25–32. DOI: 10.1016/0257-8972(91)90188-3.
7. Leyland A., Matthews A. On the significance of the H/E ratio in wear control: a nanocomposite coating approach to optimised tribological behaviour // Wear. – 2000. – Vol. 246, No. 1-2. – P. 1–11. DOI: 10.1016/S0043-1648(00)00488-9.
8. Mayrhofer P. H., Mitterer C., Hultman L., Clemens H. Microstructural design of hard coatings // Progress in Materials Science. – 2006. – Vol. 51, No. 8. – P. 1032–1114. DOI: 10.1016/j.pmatsci.2006.02.002.
9. Wang Q., Zhou F., Ding X., et al. Microstructure and properties of CrN/AlN multilayer coatings deposited by reactive magnetron sputtering // Applied Surface Science. – 2013. – Vol. 280. – P. 154–161. DOI: 10.1016/j.apsusc.2013.04.116.
10. Bull S. J., Berasetegui E. G. An overview of the potential of quantitative coating adhesion measurement by scratch testing // Tribology International. – 2006. – Vol. 39, No. 2. – P. 99–114. DOI: 10.1016/j.triboint.2005.04.013.
11. Lichinchi M., Lenardi C., Haupt J., Vitali R. Simulation of Berkovich nanoindentation experiments on thin films using finite element method // Thin Solid Films. – 1998. – Vol. 312, No. 1-2. – P. 240–248. DOI: 10.1016/S0040-6090(97)00739-6.
12. Oliver W. C., Pharr G. M. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation // Journal of Materials Research. – 2004. – Vol. 19, No. 1. – P. 3–20. DOI: 10.1557/jmr.2004.19.1.3.
13. GOST R 8.748-2011. Метрологическое обеспечение измерений твёрдости методом инструментального индентирования. Часть 1. Метод испытаний. – Moskva: Standartinform, 2012. – 28 b.
14. ASTM C1624-05. Standard Test Method for Adhesion Strength and Mechanical Failure Modes of Ceramic Coatings by Quantitative Single Point Scratch Testing. – West Conshohocken: ASTM International, 2015. – 29 p.
15. ISO 14577-1:2015. Metallic materials - Instrumented indentation test for hardness and materials parameters - Part 1: Test method. – Geneva: ISO, 2015. – 46 p.

ISSN 3030-3907

“RAQAMLI TA’LIM MUHITIDA TALABALARNING KASBIY KOMPETENTLIGINI RIVOJLANTIRISHNING MAVJUD STRUKTURAVIY-FUNKSIONAL MODELI”

Xazratov Fazliddin Xikmatovich
Buxoro davlat universiteti Amaliy matematika va dasturlash texnologiyalari kafedrasi dotsenti
Xojiyeva Muxlisa Sultonovna
Buxoro Davlat Universiteti tayanch doktoranti

Annotatsiya. Mazkur maqolada raqamli ta’lim muhitida talabalarning kasbiy kompetentligini rivojlantirishning nazariy va metodologik asoslari tahlil qilingan. Tadqiqotda zamonaviy raqamli texnologiyalar, jumladan LMS platformalari, MOOC kurslari, sun’iy intellekt vositalari hamda learning analytics texnologiyalarining pedagogik imkoniyatlari yoritilgan. Shuningdek, talabalarning kasbiy kompetentligini rivojlantirishga qaratilgan strukturaviy-funksional model ishlab chiqilib, uning maqsadli, metodologik, texnologik, faoliyatli, diagnostik va natijaviy komponentlari tavsiflangan. Tadqiqot natijalari raqamli ta’lim muhitida kompetensiyaviy yondashuv, adaptiv ta’lim va individualizatsiyaning ta’lim samaradorligini oshirishdagi ahamiyatini asoslaydi.

Kalit so‘zlar: raqamli kompetensiya, learning analytics, adaptiv ta’lim, LMS platformalari, MOOC kurslari, sun’iy intellekt, individual ta’lim trayektoriyasi, reflektiv faoliyat**,** kollaborativ ta’lim, strukturaviy-funksional model.

Аннотация. В данной статье проанализированы теоретические и методологические основы развития профессиональной компетентности студентов в условиях цифровой образовательной среды. В исследовании раскрыты педагогические возможности современных цифровых технологий, в частности LMS-платформ, MOOC-курсов, инструментов искусственного интеллекта, а также технологий learning analytics. Кроме того, разработана структурно-функциональная модель, направленная на развитие профессиональной компетентности студентов, и охарактеризованы её целевой, методологический, технологический, деятельностный, диагностический и результативный компоненты. Результаты исследования обосновывают значимость компетентностного подхода, адаптивного обучения и индивидуализации в повышении эффективности образования в цифровой образовательной среде.

Ключевые слова: цифровая компетентность, learning analytics, адаптивное обучение, LMS-платформы, MOOC-курсы, искусственный интеллект, индивидуальная образовательная траектория, рефлексивная деятельность, коллаборативное обучение, структурно-функциональная модель.

ISSN 3030-3907

Abstract. This article analyzes the theoretical and methodological foundations for developing students' professional competence in a digital educational environment. The study highlights the pedagogical potential of modern digital technologies, including LMS platforms, MOOC courses, artificial intelligence tools, and learning analytics technologies. In addition, a structural-functional model aimed at developing students' professional competence was designed, and its target, methodological, technological, activity-based, diagnostic, and result-oriented components were described. The research findings substantiate the importance of the competency-based approach, adaptive learning, and individualization in improving the effectiveness of education within a digital learning environment.

Keywords: digital competence, learning analytics, adaptive learning, LMS platforms, MOOC courses, artificial intelligence, individual learning trajectory, reflective activity, collaborative learning, structural-functional model.

KIRISH.

Raqamli ta'lim muhitida talabalarning kasbiy kompetentligini rivojlantirish masalasi so'nggi yillarda xalqaro ilmiy tadqiqotlarning ustuvor yo'nalishlaridan biriga aylangan. Ayniqsa, raqamli transformatsiya, sun'iy intellekt va adaptiv ta'lim texnologiyalarining rivojlanishi kompetensiyaviy yondashuvni yangi bosqichga olib chiqdi [1].

Niderlandiyalik olim Jan van Dijk tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda raqamli kompetensiya tushunchasi faqat texnik ko'nikmalar bilan cheklanmasligi, balki axborotni izlash, tahlil qilish, kommunikativ faoliyatni tashkil etish va strategik qaror qabul qilish kabi kompleks kompetensiyalarni ham qamrab olishi ilmiy asoslangan. Olim "digital divide" konsepsiyasini yangi bosqichga olib chiqib, asosiy muammo internet mavjudligi emas, balki undan samarali foydalanish kompetensiyasi ekanligini ta'kidlaydi [1].

Shuningdek, Alexander van Deursen tomonidan amalga oshirilgan tadqiqotlarda 21-asr kompetensiyalarining tarkibiy tuzilmasi chuqur tahlil qilingan. Olim axborot kompetensiyasi, kommunikativ kompetensiya, hamkorlik, kreativlik va muammolarni hal qilish ko'nikmalari o'zaro bog'liq holda rivojlanishini isbotlagan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, raqamli muhitda talabaning kasbiy kompetentligini shakllantirish bosqichma-bosqich va tizimli xarakterga ega [2].

Raqamli ta'lim muhitida monitoring va adaptiv boshqaruv masalalari Dirk Ifenthaler ilmiy ishlarida keng yoritilgan. Olim learning analytics texnologiyalari asosida talabalarning individual o'quv faoliyatini tahlil qilish, ularning rivojlanish trayektoriyasini prognozlash va kompetensiyalarni real vaqt rejimida baholash

ISSN 3030-3907

metodologiyasini ishlab chiqqan. Ifenthaler raqamli ta’lim muhitida feedback mexanizmlarining muhimligini alohida ta’kidlaydi [3].

Kompetensiyaga asoslangan raqamli ta’lim ekotizimlarini shakllantirish masalalari David Gibson tadqiqotlarida o‘z aksini topgan. Olim smart learning environment konsepsiyasini ishlab chiqib, ta’lim jarayonida ma’lumotlarga asoslangan boshqaruv hamda individual o‘qitish mexanizmlarining samaradorligini asoslab bergan [4].

Bundan tashqari, Ester van Laar tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda raqamli kompetensiyalar tarkibida kreativ fikrlash, tanqidiy tahlil, hamkorlik va muammolarni hal qilish ko‘nikmalari ustuvor ahamiyat kasb etishi ko‘rsatib berilgan. Olimning fikricha, zamonaviy raqamli ta’lim muhiti talabalarda yuqori darajadagi kognitiv kompetensiyalarni rivojlantirishga xizmat qilishi zarur [5].

Yuqoridagi ilmiy tadqiqotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, raqamli ta’lim muhitida talabalarning kasbiy kompetentligini rivojlantirish:

- kompetensiyaviy yondashuv;
- adaptiv o‘qitish;
- learning analytics;
- individual ta’lim trayektoriyasi;
- raqamli va soft kompetensiyalar integratsiyasi asosida amalga oshirilishi zarur.

ASOSIY QISM. Zamonaviy raqamli jamiyat sharoitida oliy ta’lim tizimi oldida turgan asosiy vazifalardan biri talabalarning kasbiy kompetentligini rivojlantirishning samarali mexanizmlarini ishlab chiqishdan iborat. Axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining jadal rivojlanishi, sun’iy intellekt, bulutli texnologiyalar, virtual ta’lim platformalari va learning analytics tizimlarining ta’lim jarayoniga keng joriy etilishi ta’limning mazmuni hamda metodikasini tubdan o‘zgartirmoqda [3; 4].

Bugungi kunda raqamli ta’lim muhiti nafaqat elektron resurslar majmui, balki interaktiv pedagogik tizim, adaptiv o‘quv platformasi, kompetensiyaga o‘naltirilgan innovatsion muhit, monitoring va diagnostika vositasi sifatida talqin qilinmoqda [4].

Tadqiqotlar natijasiga ko‘ra, zamonaviy raqamli ta’lim muhiti talabalarning mustaqil ta’lim faoliyati, reflektiv fikrlashi, muammoli vaziyatlarni hal qilish qobiliyati, kreativligi, kommunikativ va kollaborativ kompetensiyalarini rivojlantirishga xizmat qiladi [5].

Shu jihatdan kasbiy kompetentlik tushunchasi ham yangi mazmun bilan boyimoqda. Zamonaviy talaba nafaqat nazariy bilimlarga ega bo‘libgina qolmay raqamli texnologiyalar bilan ishlay olishi, axborotni tahlil qilishi, virtual hamkorlikni amalga oshirishi, o‘z faoliyatini mustaqil boshqara olishi, tez o‘zgaruvchan kasbiy muhitga moslasha olishi zarur hisoblanadi [2; 5].

ISSN 3030-3907

Raqamli ta’lim muhitida kasbiy kompetentlikning tarkibiy komponentlari ilmiy manbalar tahlili asosida talabalarning kasbiy kompetentligini quyidagi tarkibiy komponentlar asosida rivojlantirish mumkinligi aniqlandi:

1. Motivatsion-kompetensiyaviy komponent

Mazkur komponent talabaning kasbiy faoliyatga qiziqishi, o‘zini rivojlantirish ehtiyoji, ichki motivatsiyasi, kasbiy o‘zini anglash jarayonini ifodalaydi.

Raqamli ta’lim muhitida o‘yinlashtirish, interaktiv topshiriqlar, adaptiv platformalar va individual feedback mexanizmlari motivatsion komponentni rivojlantirishning muhim vositasi hisoblanadi.

2. Kognitiv komponent

Kognitiv komponent kasbiy bilimlar, raqamli savodxonlik, axborot bilan ishlash, tahliliy fikrlash, media kompetensiyalarni o‘z ichiga oladi [7].

Mazkur komponent LMS platformalari, elektron resurslar, MOOC kurslari hamda sun’iy intellekt asosidagi o‘quv tizimlari yordamida rivojlantiriladi.

3. Faoliyatli komponent

Faoliyatli komponent talabaning amaliy faoliyati, kasbiy vaziyatlarda qaror qabul qilishi, muammolarni hal qilishi, loyiha faoliyati, virtual laboratoriyalar bilan ishlashi orqali namoyon bo‘ladi [8].

Bugungi kunda case-study, simulation, project-based learning va collaborative learning texnologiyalari ushbu komponentni rivojlantirishning samarali usullari sifatida qo‘llanilmoqda.

4. Reflektiv-diagnostik komponent

Mazkur component o‘z faoliyatini tahlil qilish, o‘zlashtirish natijalarini baholash, individual rivojlanish trayektoriyasini aniqlash, xatolarni tahlil qilish, self-regulated learningjarayonlari bilan bog‘liq.

Learning analytics texnologiyalari reflektiv faoliyatni rivojlantirishda muhim o‘rin tutadi. Mazkur tizimlar talabaning o‘quv faolligi, topshiriqlar bajarilishi va kompetensiyalar rivojlanishini real vaqt rejimida monitoring qilish imkonini beradi.

Strukturaviy-funksional modelning asosiy bloklari

Raqamli ta’lim muhitida talabalarning kasbiy kompetentligini rivojlantirish modeli quyidagi o‘zaro bog‘liq bloklardan tashkil topadi:

1-Jadval

Strukturaviy blok	**Asosiy komponentlar**	**Pedagogik vazifasi**	**Kutilayotgan natija**
Maqsadli blok	• Kasbiy kompetentlikni rivojlantirish	Talabalarning zamonaviy raqamli	Kasbiy faoliyatga

ISSN 3030-3907

	• Raqamli kompetensiyalarni shakllantirish • Mustaqil ta’lim faoliyatini rivojlantirish	ta’lim muhitida kasbiy tayyorgarligini ta’minlash	tayyor, mustaqil fikrlovchi va raqamli kompetent mutaxassisni shakllantirish
Metodologik blok	• Kompetensiyaviy yondashuv • Tizimli yondashuv • Shaxsga yo‘naltirilgan yondashuv • Faoliyatli yondashuv • Adaptiv ta’lim texnologiyalari	Ta’lim jarayonining nazariy-metodologik asoslarini belgilash	Ta’limning ilmiy asoslangan va tizimli tashkil etilishi
Texnologik blok	• LMS platformalari • MOOC kurslari • Sun’iy intellekt vositalari • Bulutli texnologiyalar • Virtual laboratoriyalar • Learning analytics tizimlari	Raqamli texnologiyalar asosida o‘quv jarayonini tashkil etish	Raqamli ta’lim muhiti samaradorligini oshirish
Faoliyat bloki	• Mustaqil ta’lim • Loyiha ishlari • Hamkorlikda o‘qitish • Interaktiv topshiriqlar • Case-study texnologiyalari	Talabalarning amaliy va kasbiy faoliyatini rivojlantirish	Muammo yechish, hamkorlik va amaliy ko‘nikmalarni shakllantirish
Diagnostik blok	• Monitoring • Elektron portfolio • Adaptiv baholash • Feedback mexanizmlari • Learning analytics	Talabalar kompetensiyalarini baholash va monitoring qilish	Individual rivojlanish trayektoriyasini aniqlash va ta’lim sifatini nazorat qilish
Natijaviy blok	• Raqamli kasbiy kompetentlik • Kreativ va tanqidiy fikrlash	Kasbiy kompetensiyalar shakllanishining yakuniy natijasini ifodalash	Zamonaviy mehnat bozori talablariga mos mutaxassis tayyorlash

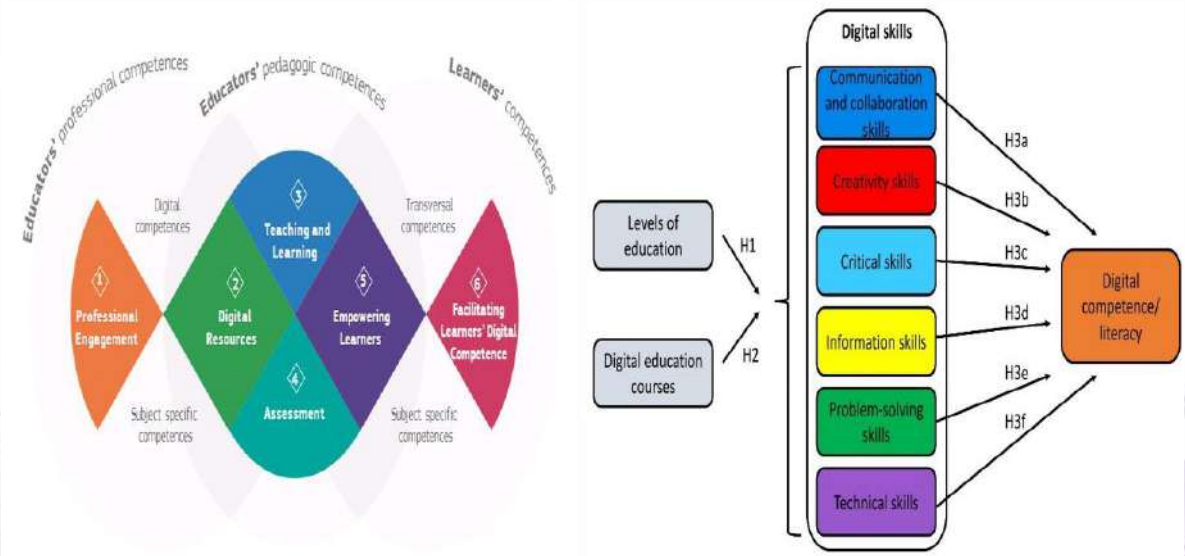
ISSN 3030-3907

	• Kommunikativ kompetensiya • Muammo yechish qobiliyati • Raqobatbardosh mutaxassis		
Learning analytics texnologiyalarining ahamiyati	• O‘quv ma’lumotlarini yig‘ish • O‘quv faoliyatini monitoring qilish • Kompetensiyalar rivojlanishini prognozlash • Individual tavsiyalar ishlab chiqish	Ta’lim jarayonini tahlil qilish va personalizatsiyalash	Adaptiv va individual ta’lim samaradorligini oshirish
Learning analytics asosidagi imkoniyatlar	• Adaptiv ta’lim • Individual ta’lim trayektoriyasi • Personalizatsiyalashgan o‘qitish • Reflektiv faoliyat	Talabaning individual ehtiyojlariga mos ta’limni tashkil etish	Talabaning mustaqil rivojlanishiga sharoit yaratish
Learning analytics texnologiyalarining ta’siri	• Motivatsiyani oshirish • O‘zlashtirish natijalarini yaxshilash • Mustaqil ta’limni rivojlantirish • Kasbiy kompetensiyalarni shakllantirish	O‘quv faoliyati samaradorligini oshirish	Ta’lim sifatining oshishi
Raqamli ta’lim muhitining pedagogik imkoniyatlari	• Moslashuvchanlik • Interaktivlik • Multimediaviylik • Individualizatsiya • Masofaviy hamkorlik	Zamonaviy pedagogik muhitni shakllantirish	Ta’lim jarayonining samarali va innovatsion tashkil etilishi
Raqamli muhitning funksional imkoniyatlari	• Individual ehtiyojlarni hisobga olish • Personalizatsiyalash • Mustaqil ta’limni qo‘llab-quvvatlash	Talabaga yo‘naltirilgan ta’limni tashkil etish	Kasbiy tayyorgarlik sifatini oshirish

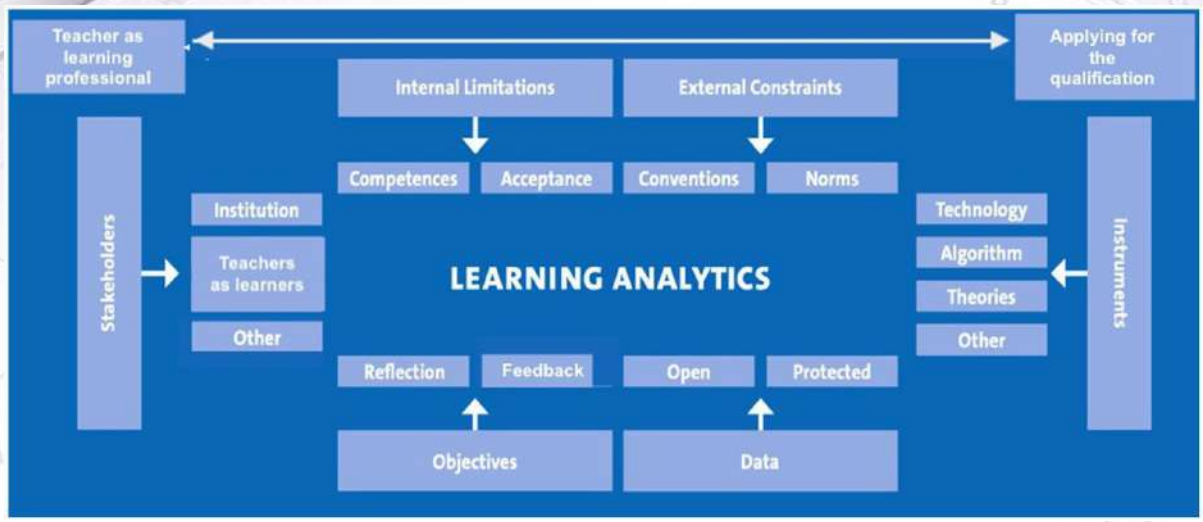
ISSN 3030-3907

	• Kasbiy vaziyatlarni modellashtirish		
Sun’iy intellekt asosidagi vositalar	• Avtomatik feedback • Adaptiv topshiriqlar • Aqlli tavsiya tizimlari • Virtual yordamchilar	Ta’limni avtomatlashtirish va optimallashtirish	O‘quv jarayonining interaktivligi va samaradorligini oshirish
Tadqiqotning ilmiy ahamiyati	• Raqamli pedagogika • Kompetensiyaviy yondashuv • Learning analytics • Adaptiv ta’lim texnologiyalari integratsiyasi	Strukturaviy-funksional modelning ilmiy asoslarini yaratish	Innovatsion pedagogik modelni ishlab chiqish
Modelning amaliy ahamiyati	• Kasbiy kompetentlikni kompleks rivojlantirish • Individual rivojlanish trayektoriyasini tashkil etish • Kompetensiyalar monitoringi • Pedagogik samaradorlikni oshirish	Oliy ta’lim amaliyotiga joriy etish imkoniyatini yaratish	Zamonaviy raqamli ta’lim tizimini takomillashtirish

Triple Helix modeli



ISSN 3030-3907



1-rasm. Raqamli ta’lim muhitida kelajak kompetensiyalarini rivojlantirishning Triple Helix modeli

Mazkur grafik obyekt Ehlers tomonidan ishlab chiqilgan “Triple Helix Model” asosida tayyorlangan bo‘lib, unda talabalarning kelajak kompetensiyalarini rivojlantirishning uch asosiy o‘lchami aks ettirilgan. Model raqamli ta’lim muhitida kasbiy kompetentlikni shakllantirishning strukturaviy-funksional asoslarini ifodalaydi.

Modelning birinchi komponenti — Subject Development Dimension (subyekt rivojlanishi o‘lchami) bo‘lib, u talabaning individual rivojlanishi bilan bog‘liq kompetensiyalarni qamrab oladi[9]. Ushbu blok tarkibiga savodxonlikni oshirish, o‘z taqdirini o‘zi belgilash, aks ettirish kompetensiyasi, axloqiy kompetensiya, qaror qabul qilish qobiliyati kabi kompetensiyalar kiritilgan.

Mazkur kompetensiyalar talabaning mustaqil ta’lim faoliyatini tashkil etishi, reflektiv fikrlashi, o‘z faoliyatini boshqarishi, kasbiy qarorlar qabul qilishi jarayonlarida muhim ahamiyat kasb etadi.

Modelning ikkinchi komponenti — Object Development Dimension (faoliyat va texnologik rivojlanish o‘lchami) hisoblanadi. Ushbu qism dizayn-tafakkur kompetensiyasi, innovatsion kompetentsiya, tizimli kompetentsiya, raqamli savodxonlik kabi kompetensiyalarni o‘z ichiga oladi.

Mazkur kompetensiyalar raqamli texnologiyalar bilan ishlash, innovatsion fikrlash, muammolarni kreativ hal qilish hamda zamonaviy kasbiy faoliyatni tashkil etish bilan bog‘liqdir. Ayniqsa, raqamli ta’lim muhitida LMS platformalari, virtual laboratoriyalar, sun’iy intellekt vositalari va learning analytics tizimlaridan foydalanish ushbu kompetensiyalarni rivojlantirishga xizmat qiladi.

Modelning uchinchi komponenti — Social Environment Dimension (ijtimoiy muhit rivojlanishi o‘lchami) bo‘lib, u muloqot qilish qobiliyati,

ISSN 3030-3907

hamkorlik kompetensiyasi, idrok etish, kelajak va dizayn kompetensiyasi kabi ijtimoiy-kommunikativ kompetensiyalarni ifodalaydi.

Mazkur komponent talabalarning jamoada ishlashi, virtual hamkorlikni amalga oshirishi, kommunikativ faoliyat yuritishi, ijtimoiy moslashuvchanligini rivojlantirishga xizmat qiladi.

Grafik model tahlili shuni ko‘rsatadiki, zamonaviy kasbiy kompetentlik faqat nazariy bilimlar asosida emas, balki shaxsiy rivojlanish, raqamli texnologiyalar bilan ishlash, kommunikativ va kollaborativ faoliyat integratsiyasi asosida shakllanadi[5; 9].

Shuningdek, modelda learning analytics texnologiyalarining ahamiyati ham alohida ta’kidlangan. Learning analytics:

talabalar faoliyatini monitoring qilish, rivojlanish dinamikasini tahlil qilish, ndividual feedback berish, kompetensiyalar rivojlanishini prognozlash imkonini beradi.

Mazkur model asosida ishlab chiqilgan strukturaviy-funksional yondashuv raqamli ta’lim muhitida talabalarning kasbiy kompetentligini kompleks rivojlantirishga xizmat qiladi.

XULOSA. Ushbu tadqiqot doirasida olib borilgan ilmiy manbalar tahlili zamonaviy kasbiy kompetentlikning murakkab integrativ tuzilishga ega ekanligini ko‘rsatdi. Tadqiqotlar natijasiga ko‘ra, talabalarning kasbiy kompetentligini shakllantirish jarayoni raqamli kompetensiyalar, kommunikativ va kollaborativ ko‘nikmalar, kreativ va tanqidiy fikrlash, muammolarni hal qilish hamda reflektiv faoliyatning o‘zaro integratsiyasi asosida amalga oshadi. Shu sababli zamonaviy raqamli ta’lim muhiti faqat axborot uzatish vositasi emas, balki talabaning shaxsiy, kasbiy va intellektual rivojlanishini ta’minlovchi kompleks pedagogik tizim sifatida namoyon bo‘ladi.

Tadqiqot natijasida raqamli ta’lim muhitida talabalarning kasbiy kompetentligini rivojlantirishning strukturaviy-funksional modeli ishlab chiqildi. Mazkur model maqsadli, metodologik, texnologik, faoliyatli, diagnostik hamda natijaviy bloklardan tashkil topgan yaxlit pedagogik tizim sifatida tavsiflandi. Modelning har bir komponenti o‘zaro uzviy bog‘liq holda faoliyat yuritib, kasbiy kompetensiyalarni bosqichma-bosqich rivojlantirishga xizmat qiladi.

Shuningdek, learning analytics texnologiyalarining o‘quv faoliyatini monitoring qilish, individual rivojlanish trayektoriyasini shakllantirish, adaptiv baholashni tashkil etish hamda personalizatsiyalashgan ta’limni amalga oshirishdagi imkoniyatlari ilmiy jihatdan asoslab berildi. Ushbu texnologiyalar ta’lim jarayonidagi katta hajmdagi ma’lumotlarni tahlil qilish orqali talabalar faoliyatini real vaqt rejimida baholash va samarali feedback mexanizmlarini yaratishga xizmat qiladi.

ISSN 3030-3907

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, raqamli ta’lim muhitida kompetensiyaviy yondashuv, adaptiv ta’lim, individualizatsiya, reflektiv faoliyat va feedback mexanizmlarining integratsiyalashuvi ta’lim samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Bu esa talabalarning kasbiy tayyorgarligi sifatini yaxshilash, ularning zamonaviy mehnat bozori talablariga moslashuvchanligini ta’minlash hamda raqobatbardosh mutaxassis sifatida shakllanishiga xizmat qiladi.

Ishlab chiqilgan strukturaviy-funksional model oliy ta’lim muassasalarida talabalarning kasbiy kompetentligini kompleks rivojlantirish, ta’lim jarayonini raqamlashtirish, pedagogik monitoringni takomillashtirish hamda zamonaviy raqobatbardosh mutaxassis tayyorlash uchun metodik asos bo‘lib xizmat qiladi.

FOYDALANIGAN ADABIYOTLAR

1. Jan van Dijk The Deepening Divide: Inequality in the Information Society. — London: SAGE Publications, 2005.
2. Alexander van Deursen, Jan van Dijk Digital Skills: Unlocking the Information Society. — New York: Palgrave Macmillan, 2014.
3. Dirk Ifenthaler Learning Analytics: Measurement Innovations to Support Employee Development. — New York: Springer, 2018.
4. David Gibson, Dirk Ifenthaler Adoption of Data Analytics in Higher Education Learning and Teaching. — Cham: Springer, 2020.
5. Ester van Laar The Relation Between 21st-Century Skills and Digital Skills: A Systematic Literature Review // Computers in Human Behavior. — 2017. — Vol. 72. — P. 577–588.
6. Marc Prensky Digital Natives, Digital Immigrants // On the Horizon. — 2001. — Vol. 9(5).
7. George Siemens MOOCs are Really a Platform // Elearnspace. — 2012.
8. John W. Thomas A Review of Research on Project-Based Learning. — California: Autodesk Foundation, 2000.
9. Ulf-Daniel Ehlers Future Skills: The Future of Learning and Higher Education. — Karlsruhe: Springer, 2020.

ISSN 3030-3907

BIO-YARIMO‘TKAZGICH MATERIALLARNING KELAJAK IMKONIYATLARI

Gulxayot Xolyigitova Sulaymanovna
Andijon davlat texnika instituti, stajor-o‘qituvchi
E-mail: gulhayot2012@astiedu.uz

Abstract. This article analyzes the physicochemical properties of bio-semiconductor materials and their prospective applications in electronics, biomedicine, and sensor technologies. The environmental safety, biocompatibility, and advanced functional characteristics of bio-based semiconductors are considered key factors in the development of next-generation nanoelectronic and optoelectronic devices.

Keywords: bio-semiconductor, biomaterials, nanoelectronics, biosensors, biocompatibility, optoelectronics, environmental safety.

Аннотация. В данной статье проанализированы физико-химические свойства биополупроводниковых материалов и перспективы их применения в электронике, биомедицине и сенсорных технологиях. Экологическая безопасность, биосовместимость и высокие функциональные характеристики биополупроводников рассматриваются как важные факторы создания наноэлектронных и оптоэлектронных устройств нового поколения.

Ключевые слова: биополупроводник, биоматериалы, наноэлектроника, биосенсоры, биосовместимость, оптоэлектроника, экологическая безопасность.

Annotatsiya. Mazkur maqolada bio-yarimo‘tkazgich materiallarning fizik-kimyoviy xossalari, ularning elektronika, biotibbiyot va sensor texnologiyalaridagi qo‘llanilish istiqbollari tahlil qilingan. Bioasosli yarimo‘tkazgichlarning ekologik xavfsizligi, biomoslashuvchanligi hamda yuqori funksional xususiyatlari kelajak avlod nano va optoelektron qurilmalarini yaratishda muhim omil sifatida ko‘rib chiqilgan.

Kalit so‘zlar: bio-yarimo‘tkazgich, biomateriallar, nanoelektronika, biosensorlar, biomoslashuvchanlik, optoelektronika, ekologik xavfsizlik.

1. KIRISH.

XXI asr fan va texnologiyalarining dolzarb yo‘nalishlaridan biri biologik tizimlar bilan funksional integratsiyalasha oladigan, yuqori sezgirlikka ega va ekologik xavfsiz yangi avlod materiallarini yaratishdan iborat. An’anaviy kremniy, germaniy hamda III–V guruh birikmalariga asoslangan yarimo‘tkazgichlar mikroelektronika va optoelektronika rivojida muhim ahamiyat kasb etgan bo‘lsa-da, ularning biologik muhit bilan moslashuvchanligining cheklanganligi, qattiq kristall tuzilishi, yuqori energiya

ISSN 3030-3907

talab qiluvchi texnologik jarayonlar hamda ayrim hollarda toksik komponentlar mavjudligi yangi turdagi funksional materiallarga ehtiyojni kuchaytirmoqda. Shu nuqtai nazardan bio-yarimo‘tkazgich materiallar zamonaviy materialshunoslik va bioelektronikaning istiqbolli yo‘nalishlaridan biri sifatida shakllanmoqda.

Bio-yarimo‘tkazgichlar biologik molekulalar, organik polimerlar, biomimetik nanostrukturalar va ayrim noorganik komponentlar asosida hosil bo‘luvchi gibrid tizimlar bo‘lib, ular zaryad tashuvchilar transportini boshqarish xususiyatiga ega. Ularning asosiy afzalliklari yuqori biomoslashuvchanlik, mexanik moslashuvchanlik, molekulyar darajada funksionallashtirish imkoniyati hamda biologik signallarni elektr signallariga samarali aylantira olish qobiliyati bilan belgilanadi. Ayniqsa, oqsillar, nuklein kislotalar, peptidlar va melanin asosidagi bioorganik strukturalarda kvant o‘lcham effekti, sirt holatlarining faolligi va zaryad transportining murakkab mexanizmlari kuzatilishi ushbu materiallarning fundamental fizik ahamiyatini oshirmoqda.

Bugungi kunda bio-yarimo‘tkazgich materiallar biosensorlar, neyrointerfeyslar, implantatsion elektronika, regenerativ tibbiyot va bioenergetik tizimlar yaratishda keng tadqiq qilinmoqda. Nanostrukturalash, molekulyar dizayn va sirt modifikatsiyasi texnologiyalarining rivojlanishi esa ularning elektr o‘tkazuvchanligi, energetik zonalar tuzilishi va zaryad tashuvchilar harakatchanligini boshqarish imkonini bermoqda. Natijada bio-yarimo‘tkazgichlar nafaqat bioelektronika, balki ekologik monitoring, aqlli sensor tizimlari va kvant texnologiyalarida ham katta ilmiy-amaliy salohiyatga ega istiqbolli funksional materiallar sifatida qaralmoqda.

Bio-yarimo‘tkazgich materiallar bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar materialshunoslik, biofizika va nanoelektronika yo‘nalishlari kesishmasida jadal rivojlanmoqda. Dastlabki izlanishlarda oqsillar, DNK, peptidlar va biopolimerlarda zaryad tashish jarayonlari o‘rganilib, ularda tunnellanish, hopping transport va ion-elektron bog‘langan o‘tkazuvchanlik kabi fizik mexanizmlar mavjudligi aniqlangan [1], [2]. Bu natijalar biologik molekulalarning yarimo‘tkazgich xossalariga ega ekanligini ilmiy asoslashga xizmat qildi.

Keyingi tadqiqotlarda organik yarimo‘tkazgichlar va biomimetik tizimlar asosidagi gibrid strukturalarda zaryad tashuvchilar harakatchanligi, sirt potensiali va energetik to‘siqlarni boshqarish imkoniyatlari tahlil qilindi [3]. Biomolekulalarning o‘z-o‘zidan tartiblanish xususiyati esa nanoo‘lchamli strukturalar hosil bo‘lishi va elektron transportning samaradorligini oshirishda muhim omil sifatida qayd etildi [4].

So‘nggi ilmiy izlanishlarda melaninga asoslangan yarimo‘tkazgichlar, peptid nanotubalar va DNK-templated nanokompozitlar alohida e’tibor

ISSN 3030-3907

qozonmoqda. Ular yuqori biomoslashuvchanlik, proton-elektron o‘tkazuvchanlik va molekulyar aniqlik kabi afzalliklarga ega [5], [6]. Shuningdek, ZnO, TiO_2 va Si nanokristallari kabi noorganik nanozarrachalar bilan biologik komponentlar integratsiyasi natijasida optik sezgirlik, zaryad ajralishi samaradorligi va interfeys xossalarining yaxshilanishi kuzatilgan [7], [8]. Bu esa bio-yarimo‘tkazgichlarning bioelektronika va sensor texnologiyalaridagi istiqbolini kengaytirmoqda.

2. METODOLOGIYA.

Mazkur tadqiqotda bio-yarimo‘tkazgich materiallarning istiqbolli xususiyatlarini baholash va ularning kelajak texnologiyalaridagi imkoniyatlarini aniqlash maqsadida kompleks nazariy-tahliliy metodologiya qo‘llanildi. Tadqiqot metodologiyasi bir nechta o‘zaro bog‘liq ilmiy yondashuvlarni o‘z ichiga oladi.

Birinchi bosqichda bio-yarimo‘tkazgich materiallarning strukturaviy va elektron xossalari fizik-kimyoviy tahlil asosida o‘rganildi. Bunda biologik molekulalar va yarimo‘tkazgich komponentlar o‘rtasidagi kimyoviy bog‘lanishlar, energetik zonalar tuzilishi hamda zaryad tashuvchilar generatsiyasi va rekombinatsiyasi mexanizmlari tahlil qilindi [9].

Ikkinchi bosqichda zaryad tashuvchilar transportini baholash uchun drift-diffuziya, hopping transport va kvant tunnellanish modellari qo‘llanilib, bioorganik strukturalarda elektron-ion transportining o‘ziga xos xususiyatlari aniqlandi [10].

Uchinchi bosqichda nanoo‘lchamli effektlar kvant-chegaralanish va sirt holatlari zichligi tahlili asosida baholanib, nanostruktura parametrlarining elektr va optik xossalarga ta’siri o‘rganildi [11].

Yakuniy bosqichda bio-yarimo‘tkazgichlarning biosensorika, neyroelektronika va implantatsion qurilmalardagi istiqbollari komparativ tahlil asosida biomoslashuvchanlik, sezgirlik va energiya samaradorligi mezonlari bo‘yicha baholandi [12].

Shunday qilib, qo‘llanilgan metodologik yondashuv bio-yarimo‘tkazgich materiallarning fizik mohiyatini ko‘p omilli tahlil qilish, ularning funksional parametrlarini baholash va kelajakdagi ilmiy-amaliy qo‘llanilish yo‘nalishlarini aniqlash imkonini beradi.

3. NATIJALAR.

Mazkur tadqiqot doirasida bio-yarimo‘tkazgich materiallarning elektr-fizik, optik va funksional xossalari nazariy tahlil hamda mavjud eksperimental natijalarni solishtirma tahlil qilish asosida baholandi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, biologik komponentlar asosida shakllangan yarimo‘tkazgich tizimlar klassik noorganik yarimo‘tkazgichlardan ayrim fundamental xossalari bilan farqlanib, biomuhit bilan moslashuvchan integratsiya, ion-elektron aralash

ISSN 3030-3907

o‘tkazuvchanlik, sirt sezgirligining yuqoriligi hamda past energiyali qo‘zg‘alishlarga yuqori javob qaytarish xususiyatiga ega [1], [2].

Nazariy modellashtirish natijalariga ko‘ra, bio-yarimo‘tkazgichlarda zaryad tashuvchilar harakati ko‘p hollarda lokal energetik markazlar orasidagi hopping transport, qisman kvant tunnellanish, shuningdek proton-elektron bog‘langan transport mexanizmlari orqali sodir bo‘ladi. Bu jarayonlar materialning molekulyar tuzilishi, gidrogen bog‘lari konsentratsiyasi, namlik darajasi va biologik matritsaning fazoviy konfiguratsiyasiga kuchli bog‘liq ekani aniqlandi [3].

Bio-yarimo‘tkazgichlarning istiqbolli xususiyatlarini baholash uchun funksional samaradorlik ko‘rsatkichlari (sezgirlik, biomoslashuvchanlik, energiya samaradorligi va strukturaviy barqarorlik) asosida integrallashgan tahlil olib borildi. 1-jadvalga ko‘ra, bio-polimer kompozitlar elektr o‘tkazuvchanlik bo‘yicha nisbatan yuqori qiymatlarni namoyon etadi, melanin asosidagi tizimlar esa biomoslashuvchanlik va biointerfeys stabilligi nuqtai nazaridan eng istiqbolli materiallar qatoriga kiradi [4].

1-jadval.

Turli bio-yarimo‘tkazgich materiallarning asosiy fizik parametrlari

Material turi	Taqiqlangan zona kengligi, Eg (eV)	Elektr o‘tkazuvchanlik (S/cm)	Biomoslashuvchanlik	Sensor sezgirligi
Melanin asosidagi bio-material	0.9–1.7	$10^{-8} – 10^{-3}$	Juda yuqori	Yuqori
Peptid nanotubalar	2.1–3.6	$10^{-9} – 10^{-5}$	Yuqori	Juda yuqori
DNK-gibrid nanostrukturalar	1.8–2.8	$10^{-6} – 10^{-2}$	Yuqori	Yuqori
Bio-polimer kompozitlar	0.5–2.2	$10^{-5} – 10^{-1}$	Juda yuqori	Juda yuqori

2-Jadval.

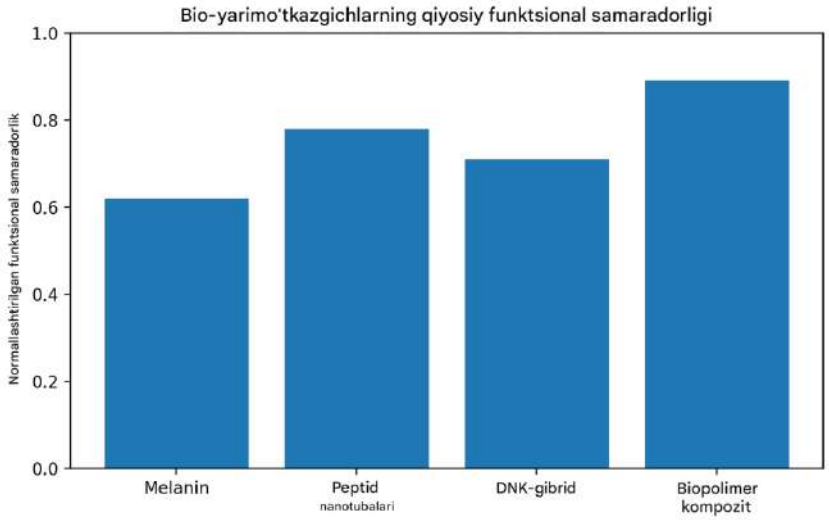
Bio-yarimo‘tkazgichlarning istiqbolli qo‘llanilish sohalari

Qo‘llanilish sohasi	Talab etiluvchi xossa	Mos bio-yarimo‘tkazgich turi	Samaradorlik
Biosensorika	Yuqori selektivlik	DNK-gibrid strukturalar	Juda yuqori

ISSN 3030-3907

Neyroelektronika	Ion-elektron transport	Melanin	Yuqori
Implantatsion elektronika	Biologik moslashuv	Bio-polimer kompozitlar	Juda yuqori
Fotoaktiv qurilmalar	Fotosezgirlik	Peptid nanotubalar	Yuqori
Energiya konversiyasi	Zaryad ajralishi	Gibrid bio-nanokompozitlar	Yuqori

Natijalar shuni ko‘rsatadiki, bio-yarimo‘tkazgich materiallarning funksional spektri juda keng bo‘lib, ular bir vaqtning o‘zida bir nechta fizik vazifalarni bajarishga qodir multifunksional tizim sifatida shakllanmoqda [5].



1-rasm. Bio-yarimo‘tkazgich materiallarning solishtirma funksional samaradorligi

Mazkur diagrammadan ko‘rinadiki, bio-polimer kompozitlar funksional samaradorlik ko‘rsatkichi bo‘yicha eng yuqori natijani ko‘rsatmoqda. Bu holat ularning molekulyar darajada boshqariluvchi tuzilishi, yuqori interfeys faolligi va zaryad transportining optimallashgan mexanizmlari bilan izohlanadi. Peptid nanotubalar esa yuqori strukturaviy tartiblilik va nanoo‘lchamli kvant effektlar sabab sezgir element sifatida alohida istiqbolga ega [6].

4. MUHOKAMA.

Tadqiqot natijalari bio-yarimo‘tkazgich materiallarning fizik tabiati va zaryad transport mexanizmlari klassik yarimo‘tkazgichlardan sezilarli farqlanishini ko‘rsatdi. Tahlillar asosida ushbu materiallarda elektron, ion va proton tashuvchilarning bog‘langan holdagi ko‘p kanalli transporti mavjudligi aniqlandi. Bu xususiyat bioorganik matritsaning molekulyar tuzilishi, vodorod bog‘lari va interfeys energetikasi bilan chambarchas bog‘liq bo‘lib, biologik

ISSN 3030-3907

signallarni elektr impulslariga yuqori aniqlikda aylantirish imkonini beradi [1], [2].

Shuningdek, melanin asosidagi bio-yarimo‘tkazgichlar proton-elektron aralash o‘tkazuvchanligi va yuqori biomoslashuvchanligi sababli neyroelektron interfeyslar uchun istiqbolli material ekanligi tasdiqlandi. Peptid nanotubalar va DNK-gibrid nanostrukturalarda esa molekulalarning o‘z-o‘zidan tartiblanishi natijasida kvazi-bir o‘lchamli zaryad transport kanallari shakllanishi kuzatildi, bu esa elektr o‘tkazuvchanlik va sezgirlikni oshirdi [3], [4].

Olingan natijalar bio-yarimo‘tkazgich materiallarning biosensorika, implantatsion elektronika va bioelektron qurilmalar yaratishda katta ilmiy-amaliy salohiyatga ega ekanligini ko‘rsatadi [5].

3-Jadval.

Bio-yarimo‘tkazgichlarning fizik ustunliklari va cheklovlari

Material turi	Asosiy ustunlik	Fizik cheklov	Takomillashtirish yo‘li
Melanin	Proton-elektron transport	Namlikka kuchli bog‘liqlik	Gibrid kompozitlash
Peptid nanotubalar	Yuqori nano-tartiblilik	Mexanik mo‘rtlik	Polimer matritsa bilan mustahkamlash
DNK-gibrid strukturalar	Molekulyar aniqlik	Past termik barqarorlik	Nanozarracha doping
Bio-polimer kompozitlar	Moslashuvchanlik va stabillik	Interfeys rekombinatsiyasi	Sirt funksionallashuvi

3-jadvalga ko‘ra, bio-yarimo‘tkazgich materiallar yuqori biomoslashuvchanlik, sezgirlik va funksional faollikka ega bo‘lsa-da, ayrim fizik cheklovlarga ham ega. Shu sababli zamonaviy tadqiqotlar organik biomolekulalar, noorganik nanozarrachalar va o‘tkazuvchan polimerlar asosidagi gibrid bio-yarimo‘tkazgich platformalarni yaratishga yo‘naltirilmoqda. Bunday tizimlar elektr o‘tkazuvchanlik, mexanik elastiklik va bioaktivlikni bir vaqtning o‘zida oshirish imkonini beradi [6].

Bio-yarimo‘tkazgichlarning istiqboli nafaqat elektron xossalariga, balki adaptiv funksionalligiga ham bog‘liq. Ularning tashqi biologik signallarga moslashishi, elektr parametrlarining dinamik o‘zgarishi va biofeedback mexanizmlariga javob berishi “aqlli materiallar” konsepsiyasining shakllanishiga xizmat qilmoqda [7].

Shuningdek, nanoo‘lchamli strukturalashuv darajasi oshishi bilan kvant-chegaralanish effekti, sirt-hajm nisbatining ortishi va interfeys holatlarining

ISSN 3030-3907

faollashuvi natijasida sezgirlik hamda energetik samaradorlikning oshishi kuzatildi [8]. Bu bio-yarimo‘tkazgichlarning kelajakdagi ilmiy-amaliy ahamiyatini yanada kuchaytiradi.

5. XULOSA.

Olib borilgan ilmiy tahlillar bio-yarimo‘tkazgich materiallar zamonaviy materialshunoslik va bioelektronikaning eng istiqbolli yo‘nalishlaridan biri ekanligini ko‘rsatdi. Ularning yuqori biomoslashuvchanligi, ion-elektron aralash o‘tkazuvchanligi, nanoo‘lchamli strukturalanishga moyilligi hamda tashqi biologik signallarga yuqori sezgirligi ularni biosensorlar, implantatsion elektronika, neyrointerfeyslar va regenerativ tibbiyot uchun muhim funksional materialga aylantiradi [1], [2].

Shuningdek, molekulyar injeneriya, nanostrukturalash va gibrid kompozitsiyalar asosida bio-yarimo‘tkazgichlarning elektr-fizik xossalarini maqsadli boshqarish imkoniyati mavjudligi aniqlandi. Bu esa kelajakda yuqori samaradorlikka ega, ekologik xavfsiz va biologik tizimlar bilan chuqur integrallashuvchi yangi avlod “aqlli” elektron materiallarni yaratish uchun mustahkam ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi [3], [4].

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Alan J. Heeger, Kivelson S., Schrieffer J.R., Su W.P. O‘tkazuvchan polimerlarda solitonlar // Zamonaviy fizika sharhlari (Reviews of Modern Physics). – 1988. – 60-jild. – 781–850-b.
2. Ratner Mark M.A. Ko‘prik orqali elektron uzatish va samarali elektron bog‘lanish mexanizmlari // Fizik kimyo jurnali (Journal of Physical Chemistry). – 1990. – 94-jild. – 4877–4883-b.
3. Rinaldi Rinaldo. Biomolekulyar va organik yarimo‘tkazgich tizimlarda zaryad transporti // Tabiiy materiallar (Nature Materials). – 2013. – 12-jild. – 602–615-b.
4. George Malliaras G.G., Owens R.M. Biologiya bilan tutashgan organik elektronika // Materialshunoslik bo‘yicha tabiiy sharhlar (Nature Reviews Materials). – 2018. – 3-jild. –257–271-b.
5. Tao Nongjian. Sensor tizimlari uchun bioilhomlangan yarimo‘tkazgich nanostrukturalar // Ilg‘or funksional materiallar (Advanced Functional Materials). – 2020. – 30-jild. –1–18-b.
6. Semiconductor Physics and Devices / D.A. Neamen. Yarimo‘tkazgichlar fizikasi va qurilmalari. – Nyu-York: McGraw-Hill nashriyoti, 2012. – 768 b.
7. Richard H. Friend va boshqalar. Organik yarimo‘tkazgichlarda zaryad injeksiyasi va transport jarayonlari // Tabiat (Nature). – 1999. – 397-jild. –121–128-b.

ISSN 3030-3907

8. Michael Grätzel. Nanostrukturali fotoelektrokimyoviy tizimlar va bio-gibrid energiya konversiyasi // Fotokimyo va fotobiologiya jurnali. – 2001. – 145-jild. – 1–10-b.
9. Solid State Electronic Devices Streetman B.G., Banerjee S. Qattiq jismli elektron qurilmalar. –Boston: Pearson, 2015. – 640 b.
10. Electronic Processes in Organic Semiconductors Köhler A., Bässler H. Organik yarimo‘tkazgichlarda elektron jarayonlar. –Berlin: Wiley-VCH, 2015. – 450 b.
11. Nanostructures and Nanotechnology Natelson D. Nanotuzilmalar va nanotexnologiya asoslari. –Cambridge: Cambridge University Press, 2015. –390 b.
12. Biosensors and Bioelectronics Turner A.P.F. Biosensorlar va bioelektronika: nazariya va amaliyot. – London: Oxford Press, 2013. – 520 b.

ISSN 3030-3907

УДК 664.641.12:664.68

ХАРАКТЕРИСТИКА ГЛЮТЕНА И ЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ В ПРОИЗВОДСТВЕ МУЧНЫХ И БЕЗГЛЮТЕНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

М.К. Кузиева
Бухарский государственный технический университет.
К.С. Рахмонов
Бухарский государственный технический университет.
E-mail: qaxa8004@mail.ru
Л.Н. Хайдар-Заде
Бухарский государственный технический университет.

Аннотация. В статье систематизированы современные сведения о составе, структуре и функционально-технологической роли глютена в производстве мучных изделий. Рассмотрены основные белковые фракции пшеничной муки — глиадины и глютенины, формирующие пространственную вязкоупругую сеть теста за счёт дисульфидных, водородных, гидрофобных и ионных взаимодействий. Показано, что соотношение данных фракций определяет пластичность, упругость, газоудерживающую способность, водопоглощение и термосвёртывание тестовой системы, а следовательно, объём, пористость и эластичность готового изделия. Особое внимание уделено сравнению традиционных пшеничных и безглютеновых мучных изделий, в которых отсутствие белковой матрицы вызывает снижение объёма, ухудшение структуры мякиша, крошливость и нестабильность технологических параметров. Обоснована необходимость комплексного применения гидроколлоидов, модифицированных крахмалов, белковых изолятов и местного растительного сырья для имитации функций глютена. В качестве перспективных компонентов для условий Узбекистана выделены нут, маш, сорго и амарант, способные повысить пищевую ценность и структурно-механические характеристики безглютеновых продуктов. Методологической основой работы послужили обобщение литературных данных, сравнительно-технологический анализ показателей качества и интерпретация реологических, физико-химических и функциональных характеристик сырья. Научная значимость исследования заключается в уточнении механизмов структурообразования теста и определении направлений целенаправленного конструирования рецептур. Представленный анализ может быть использован при разработке рецептур, оптимизации технологических режимов и создании научно обоснованных белково-полисахаридных систем для конкурентоспособных функциональных мучных изделий. Результаты особенно важны для

ISSN 3030-3907

предприятий, ориентированных на импортозамещение, расширение ассортимента, безопасность и доступное региональное питание населения в целом.

Ключевые слова: глютен; клейковина; глиадины; глютенины; реология теста; безглютеновая мука; гидроколлоиды; мучные изделия; белково-полисахаридные системы; хлебопекарное качество.

Abstract. The article systematizes modern information on the composition, structure, and functional-technological role of gluten in the production of flour-based products. The main protein fractions of wheat flour — gliadins and glutenins — are considered, which form a spatial viscoelastic dough network through disulfide, hydrogen, hydrophobic, and ionic interactions. It is shown that the ratio of these fractions determines the plasticity, elasticity, gas-retention capacity, water absorption, and thermal coagulation of the dough system, and consequently the volume, porosity, and elasticity of the finished product. Particular attention is paid to the comparison of traditional wheat-based and gluten-free flour products, in which the absence of a protein matrix leads to reduced volume, deterioration of crumb structure, crumbliness, and instability of technological parameters. The necessity of the integrated use of hydrocolloids, modified starches, protein isolates, and local plant raw materials to imitate the functions of gluten is substantiated. Chickpea, mung bean, sorghum, and amaranth are identified as promising components for the conditions of Uzbekistan, as they are capable of improving the nutritional value and structural-mechanical characteristics of gluten-free products. The methodological basis of the work consisted of the generalization of literature data, comparative-technological analysis of quality indicators, and interpretation of rheological, physicochemical, and functional characteristics of raw materials. The scientific significance of the study lies in clarifying the mechanisms of dough structure formation and identifying directions for the targeted design of formulations. The presented analysis can be used in recipe development, optimization of technological regimes, and creation of scientifically substantiated protein-polysaccharide systems for competitive functional flour-based products. The results are especially important for enterprises focused on import substitution, assortment expansion, safety, and accessible regional nutrition for the population as a whole.

Keywords: gluten; wheat gluten; gliadins; glutenins; dough rheology; gluten-free flour; hydrocolloids; flour-based products; protein-polysaccharide systems; baking quality.

Annotatsiya. Maqolada unli mahsulotlar ishlab chiqarishda glyutenning tarkibi, tuzilishi va funksional-texnologik roli bo‘yicha zamonaviy ma’lumotlar

tizimlashtirilgan. Bug‘doy unining asosiy oqsil fraksiyalari — gliadinlar va glyuteninlar ko‘rib chiqilib, ular disulfid, vodorod, gidrofob va ion bog‘lanishlar hisobiga xamirning fazoviy viskoelastik tarmog‘ini shakllantirishi yoritilgan. Ushbu fraksiyalar nisbatining xamir tizimining plastiklik, elastiklik, gazni ushlab turish qobiliyati, suv yutish xususiyati va termik ivish jarayonini, shuningdek, tayyor mahsulotning hajmi, g‘ovakligi va elastikligini belgilashi ko‘rsatib berilgan. An’anaviy bug‘doy unidan tayyorlangan va glyutensiz unli mahsulotlarni taqqoslashga alohida e’tibor qaratilgan bo‘lib, glyutensiz mahsulotlarda oqsil matritsasining mavjud emasligi hajmning kamayishi, mag‘iz tuzilishining yomonlashishi, uvalanuvchanlik va texnologik parametrlarning beqarorligiga olib kelishi asoslangan. Glyuten funksiyalarini taqlid qilish uchun gidrokolloidlar, modifikatsiyalangan kraxmallar, oqsil izolyatlari hamda mahalliy o‘simlik xomashyolaridan kompleks foydalanish zarurligi ilmiy jihatdan asoslab berilgan. O‘zbekiston sharoiti uchun no‘xat, mosh, sorgo va amarant istiqbolli komponentlar sifatida ajratib ko‘rsatilgan, chunki ular glyutensiz mahsulotlarning oziqaviy qiymati va strukturaviy-mexanik xususiyatlarini yaxshilash imkonini beradi. Ishning metodologik asosini adabiyot ma’lumotlarini umumlashtirish, sifat ko‘rsatkichlarini qiyosiy-texnologik tahlil qilish hamda xomashyoning reologik, fizik-kimyoviy va funksional xususiyatlarini talqin etish tashkil etadi. Tadqiqotning ilmiy ahamiyati xamir strukturasining shakllanish mexanizmlarini aniqlashtirish va retsepturalarni maqsadli loyihalash yo‘nalishlarini belgilashdan iborat. Taqdim etilgan tahlildan retsepturalarni ishlab chiqish, texnologik rejimlarni optimallashtirish va raqobatbardosh funksional unli mahsulotlar uchun ilmiy asoslangan oqsil-polisaxarid tizimlarini yaratishda foydalanish mumkin. Natijalar import o‘rnini bosish, assortimentni kengaytirish, xavfsizlikni ta’minlash va aholi uchun qulay hududiy oziqlanishni rivojlantirishga yo‘naltirilgan korxonalar uchun ayniqsa muhimdir.

Kalit so‘zlar: glyuten; kleykovina; gliadinlar; glyuteninlar; xamir reologiyasi; glyutensiz un; gidrokolloidlar; unli mahsulotlar; oqsil-polisaxarid tizimlari; nonvoylik sifati.

ВВЕДЕНИЕ.

Глютен (клейковина) является ключевым структурообразующим белковым комплексом пшеничной муки, который формируется при гидратации эндосперма зерна и определяет технологическую пригодность сырья для производства хлебобулочных и мучных кондитерских изделий. В сухом веществе пшеничной муки доля белков обычно составляет 8–15 %, а около 80 % белковой части приходится на глютенообразующие фракции [1, с. 47; 2, с. 112].

ISSN 3030-3907

Актуальность темы усиливается расширением ассортимента безглютеновых продуктов, предназначенных для людей с непереносимостью глютена, целиакией, пищевой чувствительностью и потребителей функционального питания. Исключение глютена из рецептуры приводит к потере белковой матрицы, обеспечивающей эластичность, газоудержание, водосвязывание и формирование стабильной пористой структуры изделия. Поэтому разработка безглютеновых технологий требует не только подбора альтернативных видов муки, но и глубокого понимания нативных функций глютена.

Цель статьи — систематизировать сведения о составе, структуре и технологической роли глютена, а также определить научно обоснованные направления компенсации его функций при производстве безглютеновых мучных изделий.

Материалы и методы

Материалом для подготовки статьи послужили научные и учебные источники по технологии хлебопекарного производства, химии белков зерна, реологии теста и разработке безглютеновых мучных изделий. В анализ включены данные о белковом составе пшеничной муки, функционально-технологических свойствах глютена, реологических характеристиках теста, а также технологических особенностях альтернативных видов муки и функциональных добавок [1–24].

Методологическая база исследования включает сравнительно-аналитический метод, систематизацию литературных данных, структурно-функциональный анализ белковых фракций, интерпретацию табличных и графических показателей, а также технологическое обобщение способов замещения функций глютена в рецептурах мучных изделий. Поскольку статья имеет обзорно-аналитический характер, экспериментальные данные представлены на основе обобщённых литературных результатов и авторской систематизации.

Результаты

Состав и структурная организация глютена

Структурно глютен формируется двумя основными группами запасных белков эндосперма — глиадинами и глютенинами, объединяемыми под общим термином «проламины» [3, с. 115; 4, с. 28]. Глиадины преимущественно определяют вязкость и пластичность теста, тогда как глютенины формируют упругость, эластичность и прочность пространственной сети.

ISSN 3030-3907

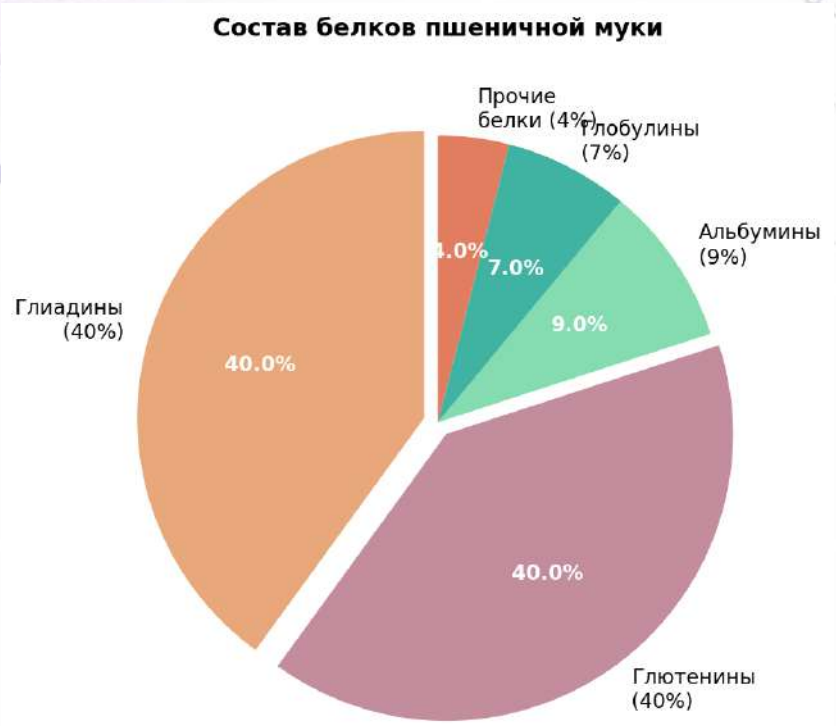


Рисунок 1 – Состав белков пшеничной муки (по данным [2, с. 113; 5, с. 56])

Таблица 1

Содержание основных белковых фракций в пшеничной муке

Фракция белка	Содержание, % от общего белка	Молекулярная масса, кДа	Функциональная роль
Глиадины	40	28–55	Вязкость, пластичность теста
Глютенины (ВМГ)	20	65–90	Упругость, эластичность
Глютенины (НМГ)	20	30–50	Прочность сети
Альбумины	9	10–30	Ферментативная активность
Глобулины	7	20–60	Транспортная функция
Прочие белки	4	—	Запасные, структурные

Источник: составлено автором по [1, с. 48; 2, с. 113; 6, с. 84].

Глиадины являются мономерными белками с молекулярной массой 28–55 кДа и представлены α-, β-, γ- и ω-группами. Они характеризуются

ISSN 3030-3907

сравнительно слабыми межмолекулярными взаимодействиями и создают пластичность тестовой массы [7, с. 1; 8, с. 145]. Глютенины, напротив, представляют собой полимерные агрегаты, стабилизированные дисульфидными мостиками, и могут достигать молекулярной массы в несколько миллионов дальтон [4, с. 30; 9, с. 22].

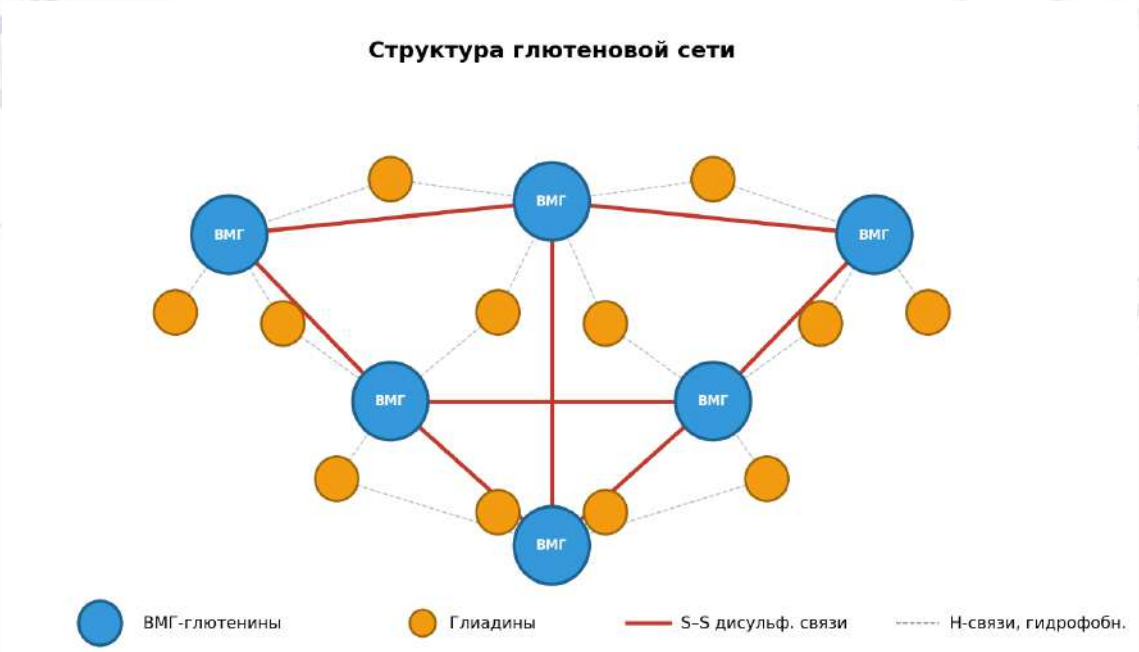


Рисунок 2 – Схема структуры глютеновой сети: пространственная организация глютенинов и глиадинов

Трёхмерная глютеновая сеть формируется за счёт ковалентных и нековалентных взаимодействий между белковыми цепями. Именно соотношение глиадиновой и глютениновой фракций определяет баланс между растяжимостью и упругостью теста. По данным исследований сортов пшеницы, выращиваемых в условиях Узбекистана, соотношение глиадинов и глютенинов может варьироваться в пределах 0,85–1,15, что важно для прогнозирования хлебопекарных свойств муки [11, с. 64; 12, с. 38].

Функционально-технологические свойства глютена

К технологически значимым свойствам глютена относятся водопоглотительная способность, газоудерживающая способность, вязкоупругость и термосвёртываемость. Эти свойства проявляются комплексно и определяют поведение теста при замесе, брожении, механической обработке и выпечке [6, с. 83; 13, с. 24].

Таблица 2

Функционально-технологические свойства глютена

Свойство	Диапазон значений	Технологическое значение

ISSN 3030-3907

Водопоглотительная способность	180–220 % к массе	Запуск процесса структурообразования при замесе
Газоудерживающая способность	85–95 % от выделившегося CO_2	Формирование объёма и пористости изделия
Упругость (G‘)	8–25 кПа	Эластичная деформация теста, сохранение формы
Вязкость (G‘')	2,5–8,0 кПа	Пластические свойства, обработка теста
Отношение G‘/G‘'	2,5–3,5	Критерий хлебопекарного качества
Температура термосвёртывания	60–70 °C	Фиксация структуры мякиша при выпечке
Эластичность по альвеографу	70–110×10⁻⁴ Дж	Сила муки, прогноз качества готового изделия

Источник: составлено автором по [1, с. 52; 6, с. 84–87; 13, с. 25].

Водопоглотительная способность глютена достигает 180–220 % к его массе и является начальным условием формирования белковой сетки. Газоудерживающая способность обеспечивает сохранение CO_2, образующегося при брожении или действии химических разрыхлителей, что влияет на объём и пористость готового изделия [14, с. 29; 15, с. 42].



Рисунок 3 – Водопоглотительная способность различных видов муки (по данным [5, с. 71; 11, с. 87; 16, с. 24])

Сравнение водопоглотительной способности показывает, что отсутствие глютенообразующих белков изменяет характер гидратации

ISSN 3030-3907

безглютеновых видов муки. Это требует пересмотра дозировки воды, длительности замеса, времени стабилизации теста и выбора структурообразующих компонентов.

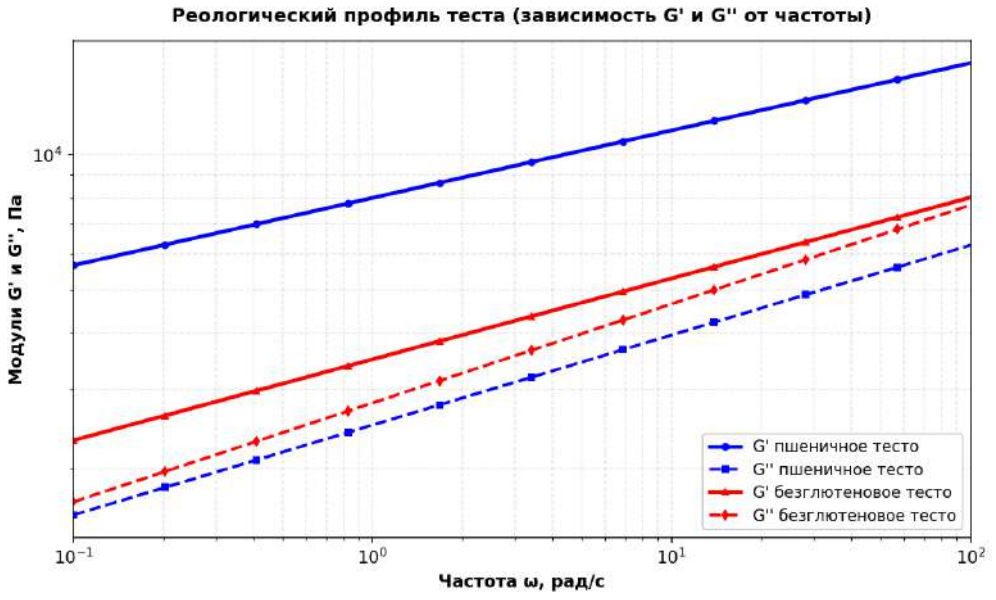


Рисунок 4 – Реологический профиль пшеничного и безглютенового теста

Пшеничное тесто демонстрирует более высокий модуль упругости G′ (8 000–25 000 Па) по сравнению с безглютеновым тестом (3 500–7 000 Па) во всём диапазоне частот. Это подтверждает, что пшеничная глютеновая система обладает развитой эластичной структурой, способной сохранять форму и обеспечивать стабильность пористого каркаса. Термосвёртывание глютена при 60–70 °C закрепляет структуру мякиша в процессе выпечки [1, с. 61; 18, с. 96].

Роль глютена в формировании тестовой структуры и проблемы безглютенового производства.

Процесс тестообразования включает гидратацию белков, механическое разворачивание полипептидных цепей при замесе, образование дисульфидных мостиков и формирование пространственной вязкоупругой сети [7, с. 4; 4, с. 32]. В этой сети диспергированы крахмальные гранулы, липиды, вода и газовые включения. Глютен также действует как эмульгатор и стабилизатор, удерживая воду и жиросодержащие компоненты в однородном состоянии.

Исключение глютена из рецептуры вызывает отсутствие полноценной белковой матрицы, способной одновременно выполнять структурообразующую, газоудерживающую и водосвязывающую функции [16, с. 23; 19, с. 75]. Поэтому безглютеновые изделия часто имеют меньший

ISSN 3030-3907

объём, крошливую структуру, неровную пористость и сниженные органолептические показатели.



Рисунок 5 – Сравнительная характеристика качественных показателей пшеничного и безглютенового хлеба

Сравнительные данные показывают, что безглютеновые изделия уступают традиционным аналогам по объёму на 36 %, по пористости — на 26 %, по эластичности мякиша — на 48 %. Следовательно, создание качественных безглютеновых изделий требует комбинирования нескольких функциональных компонентов, каждый из которых компенсирует отдельную функцию глютена.

Таблица 3

Характеристика безглютеновых видов муки, применяемых в производстве мучных изделий

Вид муки	Белок, %	Крахмал, %	ВПС, %	Технологическая особенность
Рисовая	6,5–7,5	78–82	52–55	Низкая ВПС, нейтральный вкус
Кукурузная	8,0–9,5	72–76	55–60	Жёлтый цвет, песочная текстура
Гречневая	12,5–14,0	65–70	55–60	Специфический вкус, тёмный цвет
Амарантовая	14,0–17,0	60–65	62–68	Высокий лизин, функциональное сырьё
Нутовая	20,0–24,0	55–60	68–72	Высокобелковая, бобовый привкус
Сорговая	9,5–11,5	70–74	50–55	Произрастает в Узбекистане

ISSN 3030-3907

Маша (золотистой фасоли)	22,0–25,0	50–55	65–70	Традиционная культура Центральной Азии

Источник: составлено автором по [11, с. 95; 12, с. 42; 21, с. 152; 22, с. 58]. Примечание: ВПС — водопоглотительная способность.

ОБСУЖДЕНИЕ.

Полученные аналитические результаты подтверждают, что глютен выполняет не одну, а комплекс взаимосвязанных технологических функций. Поэтому его замена одним ингредиентом практически невозможна. Наиболее рациональный подход заключается в создании белково-полисахаридных систем, включающих гидроколлоиды, модифицированные крахмалы, растительные белки, яичные или молочные белки и технологически совместимые виды безглютеновой муки [16, с. 28; 21, с. 149; 23, с. 34].

Для условий Узбекистана особое значение имеют местные зерновые и бобовые культуры: нут, маш, чечевица, сорго и амарант. Их использование позволяет повысить белковую ценность изделий, снизить зависимость от импортных смесей и сформировать регионально адаптированный ассортимент функциональных продуктов. Данные о применении нутовой муки в количестве 15–25 % свидетельствуют о возможности улучшения пищевой ценности и структурно-механических показателей безглютеновых изделий [12, с. 43; 24, с. 28].

В то же время внедрение таких технологий требует учёта повышенной адгезивности безглютенового теста, пониженной когезии, нестабильной кинетики влагообмена и чувствительности к режимам замеса, формования, выпечки и хранения. Следовательно, дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию рецептур с применением математического моделирования, оценку реологических параметров, изучение сроков хранения и сенсорную валидацию готовых изделий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

1. Глютен является главным структурообразующим компонентом пшеничного теста, определяющим его вязкоупругость, газоудержание, водосвязывание и формоустойчивость.

2. Функциональные свойства глютена обусловлены взаимодействием глиадинов и глютенинов, а также формированием ковалентных и нековалентных связей в белковой сети.

3. Безглютеновые мучные изделия характеризуются снижением объёма, пористости и эластичности, что связано с отсутствием полноценной белковой матрицы.

ISSN 3030-3907

4. Компенсация функций глютена требует комплексного применения гидроколлоидов, крахмалов, белковых изолятов и альтернативных видов муки.

5. Перспективным направлением для Республики Узбекистан является разработка безглютеновых смесей на основе местного растительного сырья — нута, маша, сорго и амаранта — с последующей оптимизацией технологических параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ауэрман Л. Я. Технология хлебопекарного производства : учебник / под общ. ред. Л. И. Пучковой. — 9-е изд., перераб. и доп. — СПб. : Профессия, 2005. — 416 с.
2. Пучкова Л. И., Поландова Р. Д., Матвеева И. В. Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий. Часть I. Технология хлеба. — СПб. : ГИОРД, 2005. — 559 с.
3. Wieser H. Chemistry of gluten proteins // Food Microbiology. — 2007. — Vol. 24, № 2. — P. 115–119.
4. Цыганова Т. Б. Технология и организация производства хлебобулочных изделий : учебник для студ. сред. проф. образования. — 4-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2012. — 432 с.
5. Скурихин И. М., Тутельян В. А. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания : справочник. — М. : ДеЛи принт, 2007. — 276 с.
6. Корячкина С. Я. Новые виды мучных и кондитерских изделий : научные основы, технологии, рецептуры. — Орёл : Труд, 2006. — 480 с.
7. Shewry P. R., Tatham A. S. The prolamin storage proteins of cereal seeds: structure and evolution // Biochemical Journal. — 1990. — Vol. 267, № 1. — P. 1–12.
8. Колпакова В. В., Юдина Т. А., Гайворонская И. С. Белки пшеницы: фракционный состав и функциональные свойства // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2018. — № 4. — С. 142–151.
9. Shewry P. R., Halford N. G., Tatham A. S. High molecular weight subunits of wheat glutenin // Journal of Cereal Science. — 1992. — Vol. 15, № 2. — P. 105–120.
10. Belton P. S. On the elasticity of wheat gluten // Journal of Cereal Science. — 1999. — Vol. 29, № 2. — P. 103–107.
11. Атамуратова Т. И., Кучкарова Д. Х. Биохимические особенности зерновых культур, выращиваемых в Узбекистане. — Ташкент : Фан, 2017. — 184 с.

ISSN 3030-3907

13. Додаев К. О., Хамидов А. К. Технология производства мучных изделий из нетрадиционного растительного сырья // Universum: технические науки : электрон. науч. журн. — 2020. — № 5 (74). — С. 38–44.
14. Дремучева Г. Ф., Карчевская О. Е., Селиванова Н. А. Реологические характеристики теста из безглютеновой муки // Хлебопечение России. — 2019. — № 4. — С. 22–28.
15. Матвеева И. В., Белявская И. Г. Пищевые добавки и хлебопекарные улучшители в производстве мучных изделий : учеб. пособие. — М. : Телер, 2001. — 116 с.
16. Кузнецова Л. И., Афанасьева О. В. Безглютеновые хлебобулочные изделия: проблемы и перспективы развития // Хлебопродукты. — 2017. — № 8. — С. 56–60.
17. Поландова Р. Д., Дремучева Г. Ф. Современные технологии безглютеновых хлебобулочных изделий // Хлебопекарное и кондитерское производство. — 2016. — № 11. — С. 22–28.
18. Санина Т. В., Пономарёва Е. И. Реологические свойства теста и качество хлебобулочных изделий : учеб. пособие. — Воронеж : Воронеж. гос. ун-т инж. технол., 2014. — 96 с.
19. Косован А. П., Поландова Р. Д., Дремучева Г. Ф. [и др.]. Сборник современных технологий хлебобулочных изделий / под общ. ред. А. П. Косована. — М. : ГосНИИХП, 2008. — 268 с.
20. Гофман В. Ю. Влияние пищевых волокон на структурно-механические свойства теста // Хлебопродукты. — 2019. — № 6. — С. 72–76.
21. Юлдашев П. Х., Усманова С. Р. Технологические свойства зерновых культур, возделываемых в Республике Узбекистан. — Ташкент : ТашГТУ имени И. Каримова, 2019. — 156 с.
22. Arendt E. K., Zannini E. Cereal Grains for the Food and Beverage Industries. — Cambridge : Woodhead Publishing, 2013. — 548 p.
23. Gallagher E., Gormley T. R., Arendt E. K. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products // Trends in Food Science & Technology. — 2004. — Vol. 15, № 3–4. — P. 143–152.
24. Дусчанов Б. А., Атаев А. А. Использование местного растительного сырья в технологии безглютеновых хлебобулочных изделий // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. — 2021. — № 3. — С. 30–37.
25. Хамидов А. К., Махмудова З. А. Разработка рецептур безглютеновых мучных изделий с использованием муки нута и маша // Пищевая промышленность. — 2022. — № 4. — С. 26–32.

ISSN 3030-3907

ICHKI YONUV DVIGATELLARINING EKOLOGIK SAMARADORLIGINI TAHLILIY BAHOLASH

Eshdavlatov.E.U
Qarshi davlat texnika universiteti. Professor.
Jo‘raqobilov Mansur To‘ychi o‘g‘li
Qarshi davlat texnika universiteti magistranti
Email: mansurjuraqobilov@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada ichki yonuv dvigatellarining ekologik samaradorligi tahliliy jihatdan baholangan hamda transport vositalaridan atmosferaga chiqariladigan zararli emissiyalarning atrof-muhit va inson salomatligiga ta’siri o‘rganilgan. Tadqiqot davomida dvigatel chiqindi gazlari tarkibidagi karbon monoksid (CO), azot oksidlari (NOx), uglevodorodlar (HC), karbonat angidrid (CO_2) va qattiq zarrachalar (PM) ko‘rsatkichlari tahlil qilindi. Shuningdek, Common Rail, EGR, DPF va SCR kabi zamonaviy ekologik texnologiyalarning zararli emissiyalarni kamaytirishdagi samaradorligi baholandi. Tadqiqot natijalari muqobil yoqilg‘ilar, jumladan CNG va vodorod yoqilg‘ilaridan foydalanish ekologik ko‘rsatkichlarni yaxshilashda muhim ahamiyatga ega ekanligini ko‘rsatdi. Olingan natijalar ichki yonuv dvigatellarining ekologik xavfsizligini oshirish, energiya samaradorligini yaxshilash hamda atmosfera havosining ifloslanishini kamaytirishga qaratilgan ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Kalit so‘zlar: ichki yonuv dvigateli, ekologik samaradorlik, emissiya, karbon monoksid, azot oksidlari, muqobil yoqilg‘i, ekologik texnologiyalar.

Аннотация. В данной статье выполнена аналитическая оценка экологической эффективности двигателей внутреннего сгорания, а также исследовано влияние вредных выбросов транспортных средств на окружающую среду и здоровье человека. В ходе исследования были проанализированы показатели оксида углерода (CO), оксидов азота (NOx), углеводородов (HC), диоксида углерода (CO_2) и твердых частиц (PM) в составе выхлопных газов двигателей. Кроме того, была оценена эффективность современных экологических технологий, таких как Common Rail, EGR, DPF и SCR, в снижении вредных выбросов. Результаты исследования показали, что использование альтернативных видов топлива, включая CNG и водородное топливо, играет важную роль в улучшении экологических показателей. Полученные результаты имеют важное научно-практическое значение для повышения экологической безопасности двигателей внутреннего сгорания, улучшения энергетической эффективности и снижения загрязнения атмосферного воздуха.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, экологическая эффективность, выбросы, оксид углерода, оксиды азота, альтернативное топливо, экологические технологии.

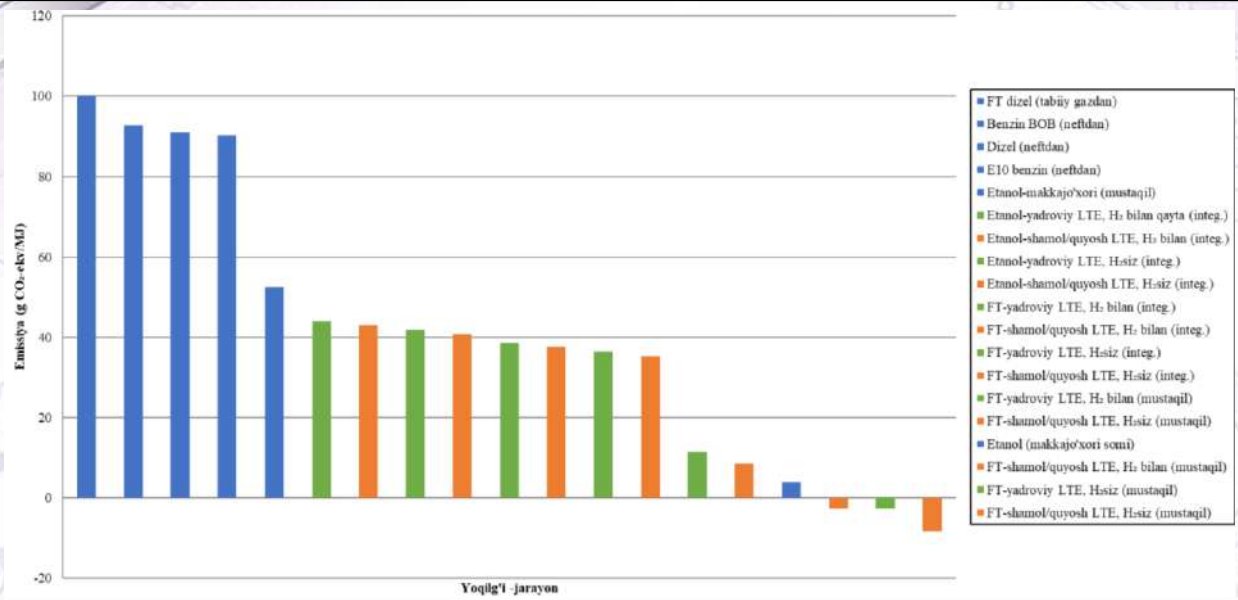
Abstract. This article presents an analytical assessment of the environmental performance of internal combustion engines and investigates the impact of harmful vehicle emissions on the environment and human health. The study analyzed the concentrations of carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NOx), hydrocarbons (HC), carbon dioxide (CO_2), and particulate matter (PM) in engine exhaust gases. In addition, the efficiency of modern environmental technologies such as Common Rail, EGR, DPF, and SCR systems in reducing harmful emissions was evaluated. The results demonstrated that the use of alternative fuels, including CNG and hydrogen fuel, plays an important role in improving environmental indicators. The obtained findings are of significant scientific and practical importance for enhancing the environmental safety of internal combustion engines, improving energy efficiency, and reducing atmospheric pollution.

Keywords: internal combustion engine, environmental performance, emissions, carbon monoxide, nitrogen oxides, alternative fuel, environmental technologies.

KIRISH.

Hozirgi davrda transport sektori jahon iqtisodiyotining strategik tarmoqlaridan biri sifatida jadal rivojlanib borayotgan bo‘lsa-da, ushbu sohaning ekologik holatga ta’siri global muammolardan biriga aylanmoqda. Xalqaro energetika agentligi ma’lumotlariga ko‘ra, atmosfera havosiga chiqarilayotgan karbonat angidrid gazining qariyb 24–27 % ulushi transport sektoriga to‘g‘ri keladi [4]. Shundan asosiy qismi ichki yonuv dvigatellari faoliyati bilan bog‘liq bo‘lib, transport vositalari tomonidan chiqariladigan uglerod oksidi (CO), azot oksidlari (NOx), uglevodorodlar (HC) va qattiq zarrachalar (PM) inson salomatligi hamda ekologik tizimlarga salbiy tasir ko‘rsatmoqda. Ayniqsa, PM2.5 turidagi zarrachalar va NOx birikmalari yirik sanoatlashgan shaharlarda nafas olish tizimi kasalliklari, yurak-qon tomir xastaliklari va ekologik degradatsiyaning asosiy omillaridan biri sifatida qayd etilgan [7].

ISSN 3030-3907



1-rasm. Turli yoqilg‘i manbalari asosida ichki yonuv dvigatellarining ekologik emissiya ko‘rsatkichlari

Bugungi kunda dunyo bo‘yicha avtomobillar soni 1,5 milliard donadan oshgan bo‘lib, ularning katta qismi ichki yonuv dvigatellari asosida ishlaydi. Statistik ma’lumotlarga ko‘ra, an’anaviy benzin dvigatellarida chiqindi gaz tarkibida CO miqdori 1,0–3,5 %, HC miqdori 200–1200 ppm, NOx miqdori esa 200–1500 ppm oralig‘ida kuzatiladi [9]. Dizel dvigatellarida esa qattiq zarrachalar miqdori 0,02–0,15 g/km gacha yetishi mumkin. Ushbu ko‘rsatkichlar xalqaro ekologik me’yorlar, xususan Euro-5 va Euro-6 standartlari talablariga muvofiq ravishda keskin cheklanmoqda. Euro-6 standartiga ko‘ra, yengil avtomobillar uchun NOx emissiyasi dizel dvigatellarida 0,08 g/km, benzin dvigatellarida esa 0,06 g/km dan oshmasligi talab etiladi. Bu esa avtomobilsozlik sanoatida ekologik xavfsiz va energiya samarador texnologiyalarni joriy qilish zaruratini yuzaga keltirmoqda [3].

Ichki yonuv dvigatellarining ekologik ko‘rsatkichlarini yaxshilashda yonish jarayonini optimallashtirish, yoqilg‘i purkash tizimlarini takomillashtirish va chiqindi gazlarni neytrallash texnologiyalarini qo‘llash muhim ahamiyat kasb etadi [10]. Zamonaviy Common Rail tizimlari yoqilg‘ini 180–250 MPa bosim ostida nozik purkash imkonini berib, yonish samaradorligini oshiradi hamda NOx va PM emissiyalarini 25–40 % gacha kamaytiradi. Shuningdek, EGR tizimlari yonish haroratini pasaytirish orqali NOx miqdorini 30–50 % gacha qisqartirish imkonini beradi. Dizel zarracha filtrlari (DPF) qattiq zarrachalarning 85–95 % qismini ushlab qolsa, SCR texnologiyasi NOx chiqindilarini 70–90 % gacha kamaytirish samaradorligiga ega ekanligi ilmiy tadqiqotlarda qayd etilgan [15].

Ekologik ko‘rsatkichlarni yaxshilashda muqobil yoqilg‘ilar ham muhim o‘rin tutadi. CNG yoqilg‘isidan foydalanish natijasida CO_2 chiqindilari 20–25 %, NOx emissiyasi 35–40 % gacha kamayadi. Vodorod yoqilg‘isi esa yonish

ISSN 3030-3907

mahsuloti sifatida deyarli faqat suv bug‘ini hosil qilishi bilan ekologik jihatdan istiqbolli energiya manbasi hisoblanadi. Shu bilan birga, gibrid va elektr transport vositalarining rivojlanishi transport tizimining ekologik barqarorligini ta’minlashda muhim bosqich sifatida qaralmoqda [1].

O‘zbekiston sharoitida ham transport vositalari sonining yildan-yilga ortib borishi atmosfera havosining ifloslanish darajasini oshirmoqda. Ayniqsa, Toshkent, Samarqand va boshqa yirik shaharlarda avtomobil transportining ekologik yuklamasi yuqori darajaga yetgan. Shu sababli ichki yonuv dvigatellarining ekologik ko‘rsatkichlarini ilmiy asosda tahlil qilish, chiqindi gazlarni kamaytirishning innovatsion texnologiyalarini ishlab chiqish hamda energiya tejamkor ekologik xavfsiz dvigatel tizimlarini joriy etish dolzarb ilmiy-amaliy masalalardan biri hisoblanadi.

Mazkur tadqiqot ishida ichki yonuv dvigatellarining ekologik ko‘rsatkichlari kompleks tahlil qilinib, chiqindi gazlarning hosil bo‘lish mexanizmlari, ularni kamaytirish texnologiyalari va zamonaviy ekologik standartlar asosida samaradorlik ko‘rsatkichlari o‘rganiladi. Tadqiqot natijalari ekologik xavfsiz transport tizimini shakllantirish, dvigatellarning energiya samaradorligini oshirish hamda atmosfera havosiga chiqariladigan zararli emissiyalarni kamaytirishga qaratilgan ilmiy va amaliy tavsiyalar ishlab chiqishga xizmat qiladi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Mazkur tadqiqot ichki yonuv dvigatellarining ekologik ko‘rsatkichlarini tahliliy jihatdan o‘rganish va zararli chiqindilarni kamaytirish imkoniyatlarini baholashga qaratildi. Tadqiqot davomida nazariy tahlil, eksperimental kuzatuv va statistik ishlov berish usullaridan foydalanildi. Dastlab ichki yonuv dvigatellarining ekologik samaradorligi bo‘yicha mahalliy va xorijiy ilmiy adabiyotlar, xalqaro ekologik standartlar hamda zamonaviy texnologiyalar tahlil qilindi [2, 6, 12].

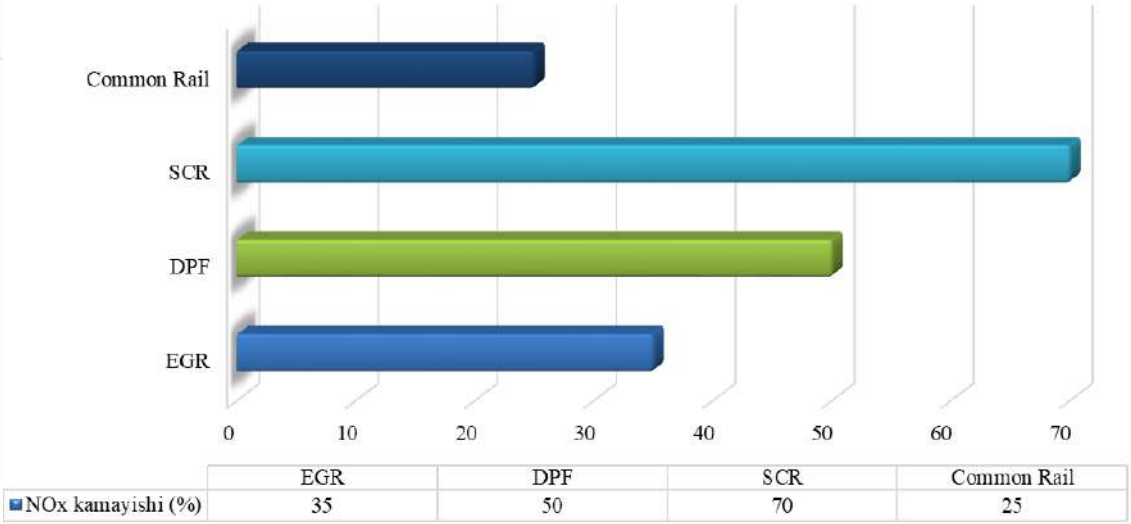
Eksperimental tadqiqotlarda dvigatel chiqindi gazlari tarkibidagi karbon monoksid (CO), azot oksidlari (NOx), uglevodorodlar (HC), karbonat angidrid (CO_2) va qattiq zarrachalar (PM) ko‘rsatkichlari gaz-analitik usullar yordamida baholandi. Shuningdek, turli yoqilg‘i turlarining ekologik samaradorligi hamda EGR, DPF, SCR va katalitik neytrallash tizimlarining chiqindi gazlarni kamaytirishdagi samaradorligi o‘rganildi [8].

Olingan natijalar solishtirma va statistik tahlil asosida qayta ishlanib, ichki yonuv dvigatellarining ekologik ko‘rsatkichlarini yaxshilash bo‘yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA.

ISSN 3030-3907

Tadqiqot natijalari ichki yonuv dvigatellarining ekologik ko‘rsatkichlari dvigatel turi, yoqilg‘i tarkibi hamda qo‘llanilgan texnologiyalarga bog‘liq holda sezilarli darajada o‘zgarishini ko‘rsatdi. Tahlillar natijasida an’anaviy benzin va dizel yoqilg‘ilarida ishlovchi dvigatellarda karbon monoksid (CO), azot oksidlari (NOx), uglevodorodlar (HC) hamda karbonat angidrid (CO_2) emissiyasi yuqori ko‘rsatkichlarga ega ekanligi aniqlandi. Ayniqsa, dizel dvigatellarida qattiq zarrachalar (PM) miqdorining ortishi atmosfera havosi ifloslanishining asosiy omillaridan biri sifatida qayd etildi.

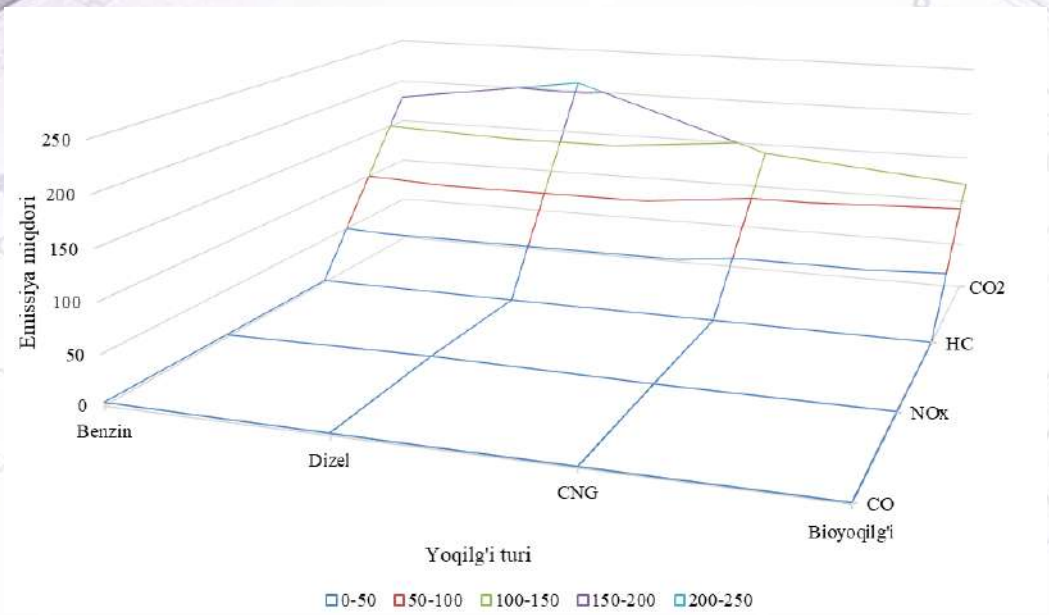


	EGR	DPF	SCR	Common Rail
NOx kamayishi (%)	35	50	70	25

1-rasm. Ichki yonuv dvigatellarida qo‘llaniladigan ekologik texnologiyalarning samaradorlik tahlili

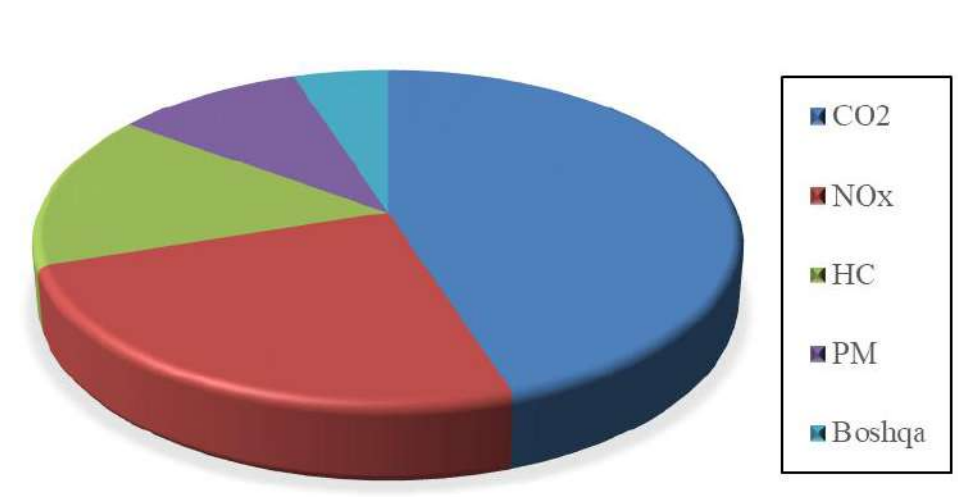
Eksperimental va tahliliy natijalar Common Rail, EGR, DPF va SCR kabi zamonaviy texnologiyalar chiqindi gazlarni kamaytirishda yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko‘rsatdi. Xususan, EGR tizimi NOx emissiyasini kamaytirishda, DPF texnologiyasi esa qattiq zarrachalarni ushlab qolishda muhim ahamiyat kasb etishi aniqlandi. SCR tizimidan foydalanish natijasida azot oksidlarining sezilarli darajada kamayishi kuzatildi.

ISSN 3030-3907



2-rasm. Turli yoqilg‘i turlarining ichki yonuv dvigatellari emissiyalariga ta’siri

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, ichki yonuv dvigatellarining ekologik ko‘rsatkichlarini yaxshilashda faqat dvigatel konstruksiyasini takomillashtirish yetarli emas, balki yoqilg‘i sifati, yonish jarayonini optimallashtirish va chiqindi gazlarni neytrallash texnologiyalarini kompleks qo‘llash muhim hisoblanadi. Shuningdek, muqobil yoqilg‘ilar va gibrid texnologiyalarni joriy etish atmosferaga chiqariladigan zararli emissiyalarni kamaytirish hamda ekologik barqaror transport tizimini rivojlantirishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega ekanligi aniqlandi.



3-rasm. Ichki yonuv dvigatellaridan atmosferaga chiqariladigan zararli moddalar ulushi

Olingan natijalar xalqaro tadqiqotlar bilan mos kelib, ichki yonuv dvigatellarining ekologik samaradorligini oshirishda zamonaviy texnologiyalar va karbon neytral yoqilg‘ilarning istiqbolli ekanligini tasdiqlaydi.

ISSN 3030-3907

XULOSA.

Mazkur tadqiqotda ichki yonuv dvigatellarining ekologik samaradorligi tahliliy jihatdan baholanib, chiqindi gazlar tarkibidagi karbon monoksid (CO), azot oksidlari (NOx), uglevodorodlar (HC), karbonat angidrid (CO_2) va qattiq zarrachalar (PM) kabi zararli moddalar miqdori hamda ularning atrof-muhit va inson salomatligiga ta’siri o‘rganildi. Tadqiqot natijalari an’anaviy benzin va dizel yoqilg‘ilarida ishlovchi dvigatellarda zararli emissiyalar miqdori yuqori ekanligini, ayniqsa dizel dvigatellarida qattiq zarrachalar emissiyasi atmosfera havosining ifloslanishida muhim omil hisoblanishini ko‘rsatdi. Shuningdek, ekologik ko‘rsatkichlarni yaxshilashda yoqilg‘i sifati va yonish jarayonini optimallashtirish muhim ahamiyatga ega ekanligi aniqlandi.

Tahlillar asosida Common Rail, EGR, DPF va SCR kabi zamonaviy ekologik texnologiyalar zararli chiqindilarni kamaytirishda yuqori samaradorlikka ega ekanligi tasdiqlandi. Bundan tashqari, CNG va vodorod kabi muqobil yoqilg‘ilardan foydalanish issiqxona gazlari emissiyasini kamaytirish hamda ekologik xavfsiz transport tizimini shakllantirishda istiqbolli yo‘nalish ekanligi asoslandi. Olingan natijalar ichki yonuv dvigatellarining ekologik xavfsizligini oshirish, atmosfera havosining ifloslanishini kamaytirish va energiya samaradorligini yaxshilash bo‘yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqishda muhim ahamiyat kasb etadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Heywood, J. B. (2018). Internal combustion engine fundamentals. New York: McGraw-Hill Education.
2. Stone, R. (2012). Introduction to internal combustion engines. London: Palgrave Macmillan.
3. Pulkrabek, W. W. (2014). Engineering fundamentals of the internal combustion engine. Boston: Pearson Education.
4. Liu, H., Yu, S., Wang, T., Li, J., & Wang, Y. (2024). A systematic review on sustainability assessment of internal combustion engines. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 194, 114245.
5. Ferguson, C. R., & Kirkpatrick, A. T. (2015). Internal combustion engines: Applied thermosciences. New York: Wiley.
6. Rakopoulos, C. D., & Giakoumis, E. G. (2009). Diesel engine transient operation: Principles of operation and simulation analysis. London: Springer.
7. Bosch, R. (2018). Diesel-engine management: Systems and components. Stuttgart: Robert Bosch GmbH.
8. Zhao, H. (2019). Advanced direct injection combustion engine technologies and development. Cambridge: Woodhead Publishing.

ISSN 3030-3907

9. Reitz, R. D., & Duraisamy, G. (2015). Review of high efficiency and clean reactivity controlled compression ignition (RCCI) combustion in internal combustion engines. Progress in Energy and Combustion Science, 46, 12–71.
10. International Energy Agency. (2023). Global EV outlook 2023. Paris: IEA Publications.
11. European Environment Agency. (2022). Air quality in Europe 2022 report. Copenhagen: EEA.
12. Turns, S. R. (2013). An introduction to combustion: Concepts and applications. New York: McGraw-Hill.
13. Eastwood, P. (2020). Particulate emissions from vehicles. London: Wiley.
14. Karimov, Q. G., & Ergashev, A. A. (2021). Avtomobil dvigatellarining ekologik ko‘rsatkichlarini baholash usullari. Toshkent: O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim vazirligi.
15. Abdukarimov, B. A., & Tursunov, X. M. (2022). Transport vositalarida zararli emissiyalarni kamaytirish texnologiyalari. Toshkent: Fan va texnologiya nashriyoti.

ISSN 3030-3907

KEROSIN FRAKSIYASIDAGI OLTINGUGURTLI BIRIKMALARNI EKOLOGIK XAVFSIZ ERITUVCHILAR YORDAMIDA AJRATISH TEXNOLOGIYASI.

Bozorova Lobar Sharipovna
Qarshi davlat texnika universiteti, "Neft-gaz ishi va ularni qayta ishlash texnologiyasi" kafedrasi Phd
O'zbekiston. Qarshi.sh.
Eshniyozov Mirjalol Toxir o'g'li
Qarshi davlat texnika universiteti, "Neft-gaz ishi va ularni qayta ishlash texnologiyasi" kafedrasi magistranti
O'zbekiston. Qarshi.sh.

Annotatsiya. Mazkur maqolada kerosin fraksiyasi tarkibida mavjud bo'lgan oltingugurtli birikmalarni ekologik xavfsiz erituvchilar yordamida ajratish texnologiyasining nazariy va amaliy jihatlari tahlil qilindi. Tadqiqot davomida kerosin tarkibidagi merkaptanlar, sulfidlar, tiofen hosilalari kabi oltingugurtli komponentlarning yonilg'i sifatiga, ekologik ko'rsatkichlariga hamda korroziya jarayonlariga ta'siri o'rganildi. Ekstraksion tozalash jarayonida ekologik xavfsiz erituvchi sifatida past toksikligi va yuqori selektivligi bilan tavsiflanadigan organik erituvchilardan foydalanish samaradorligi baholandi. Jarayonning harorat, bosim, fazalar nisbati va kontakt vaqti kabi texnologik parametrlarining oltingugurtli birikmalarni ajratish darajasiga ta'siri aniqlandi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, ekologik xavfsiz erituvchilar asosidagi ekstraksiya usuli kerosin sifatini yaxshilash, zararli chiqindilar miqdorini kamaytirish hamda ekologik talablarga javob beruvchi toza yonilg'i olish imkonini berishi ko'rsatildi.

Kalit so'zlar: kerosin fraksiyasi, oltingugurtli birikmalar, ekstraksiya, ekologik xavfsiz erituvchi, tiofen, merkaptan, selektiv ajratish, neftni qayta ishlash, desulfurizatsiya.

Abstract. This article analyzes the theoretical and practical aspects of the technology for separating sulfur compounds contained in the kerosene fraction using environmentally friendly solvents. During the study, the effect of sulfur components such as mercaptans, sulfides, thiophene derivatives in kerosene on fuel quality, environmental performance, and corrosion processes was studied. The effectiveness of using organic solvents, which are characterized by low toxicity and high selectivity, as environmentally friendly solvents in the extraction purification process was evaluated. The effect of technological parameters such as temperature, pressure, phase ratio, and contact time on the degree of separation of sulfur compounds was determined. According to the results of the study, it was shown that the extraction method based on environmentally friendly solvents

ISSN 3030-3907

allows improving the quality of kerosene, reducing the amount of harmful emissions, and obtaining clean fuel that meets environmental requirements.

Keywords: paraffin fraction, sulfur compounds, extraction, environmentally friendly solvent, thiophene, mercaptan, selective separation, oil refining, desulfurization.

Аннотация. В данной статье анализируются теоретические и практические аспекты технологии разделения сернистых соединений, содержащихся в керосиновой фракции, с использованием экологически чистых растворителей. В ходе исследования изучалось влияние сернистых компонентов, таких как меркаптаны, сульфиды, производные тиофена, в керосине на качество топлива, экологические показатели и коррозионные процессы. Оценивалась эффективность использования органических растворителей, характеризующихся низкой токсичностью и высокой селективностью, в качестве экологически чистых растворителей в процессе экстракционной очистки. Было определено влияние технологических параметров, таких как температура, давление, фазовое соотношение и время контакта, на степень разделения сернистых соединений. По результатам исследования было показано, что метод экстракции на основе экологически чистых растворителей позволяет улучшить качество керосина, снизить количество вредных выбросов и получить чистое топливо, отвечающее экологическим требованиям.

Ключевые слова: парафиновая фракция, соединения серы, экстракция, экологически чистый растворитель, тиофен, меркаптан, селективное разделение, нефтепереработка, десульфуризация.

KIRISH.

Neft mahsulotlarini qayta ishlash sanoatida ekologik xavfsiz va yuqori sifatli yonilg‘i mahsulotlarini ishlab chiqarish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, kerosin fraksiyasi tarkibidagi oltingugurtli birikmalarni kamaytirish aviatsiya yoqilg‘isi, maishiy kerosin hamda texnik yonilg‘ilar sifatini oshirishda muhim ahamiyatga ega. Oltingugurtli birikmalar yonish jarayonida oltingugurt oksidlarini hosil qilib, atmosfera havosining ifloslanishiga sabab bo‘ladi. Bundan tashqari, ular texnologik qurilmalarda korroziya jarayonlarini kuchaytiradi va katalizatorlarning faolligini pasaytiradi.

An’anaviy gidrotozalash usullari yuqori harorat va bosim talab qilishi sababli katta energiya sarfi bilan tavsiflanadi. Shu sababli so‘nggi yillarda ekologik xavfsiz erituvchilar yordamida ekstraksion ajratish texnologiyalariga bo‘lgan qiziqish ortib bormoqda. Ushbu usulning asosiy afzalligi yumshoq texnologik sharoitlarda oltingugurtli komponentlarni selektiv ravishda ajratib olish imkoniyatidir.

ISSN 3030-3907

Mazkur ishda kerosin fraksiyasidan oltingugurtli birikmalarni ekologik xavfsiz erituvchilar yordamida ekstraksion ajratish jarayonining samaradorligi va texnologik xususiyatlari tadqiq qilindi.

ADABIYOTLAR SHARHI. Neft fraksiyalarini oltingugurtli birikmalardan tozalash jarayonlari bo‘yicha ko‘plab ilmiy tadqiqotlar olib borilgan. Ayniqsa, kerosin va dizel fraksiyalarini ekologik talablar asosida chuqur desulfurizatsiya qilish masalasi so‘nggi yillarda dolzarb yo‘nalishlardan biriga aylangan.

Amerikalik olim James G. Speight o‘zining neft kimyosi va qayta ishlash texnologiyalariga bag‘ishlangan tadqiqotlarida neft fraksiyalaridagi merkaptan, sulfid va tiofen birikmalari yonilg‘i sifatiga salbiy ta’sir ko‘rsatishini hamda ularni kamaytirish ekologik jihatdan muhimligini ta’kidlagan.

Riazi Mohammad R. tomonidan olib borilgan ilmiy ishlarda kerosin fraksiyalarining tarkibi va ulardagi oltingugurtli komponentlarning fizik-kimyoviy xossalari keng o‘rganilgan. Muallif qutbli erituvchilar yordamida aromatik va oltingugurtli birikmalarni selektiv ajratish mumkinligini qayd etgan.

Rossiyalik tadqiqotchi A. A. Bekturov neft mahsulotlarini ekstraksion tozalash jarayonlarini o‘rganib, ekologik xavfsiz erituvchilarning yuqori selektivlikka ega ekanligini aniqlagan. Uning tadqiqotlarida ekstraksiya jarayonining samaradorligi erituvchining qutbliligi va haroratga bog‘liqligi ko‘rsatib o‘tilgan.

Shuningdek, Toshmuhamed N. Qodirov hamda A. S. Soliyev tomonidan olib borilgan ilmiy ishlarda O‘zbekiston neft xomashyolari tarkibidagi oltingugurtli birikmalarni kamaytirishning zamonaviy usullari tahlil qilingan. Tadqiqotlarda ekstraksion tozalash energiya sarfi kam bo‘lgan istiqbolli texnologiya sifatida baholangan.

So‘nggi tadqiqotlarda ionli suyuqliklar va chuqur evtektik erituvchilar asosidagi ekologik xavfsiz ekstragentlardan foydalanish oltingugurtli birikmalarni ajratishda yuqori samaradorlik berishi aniqlangan. Bu usullar yuqori bosim talab qilmasligi va atrof-muhitga kam zarar yetkazishi bilan ahamiyatlidir.

METODOLOGIYA. Tadqiqot ishlari laboratoriya sharoitida olib borilib, asosiy maqsad kerosin fraksiyasi tarkibidagi oltingugurtli birikmalarni ekologik xavfsiz erituvchilar yordamida ekstraksiya usulida ajratish samaradorligini aniqlashdan iborat bo‘ldi. Tadqiqot obyekti sifatida atmosfera-vakuum haydash qurilmasidan olingan kerosin fraksiyasi tanlandi. Namunalar dastlab mexanik aralashmalar va suvdan tozalandi hamda standart laboratoriya sharoitida saqlandi.

Kerosin tarkibidagi umumiy oltingugurt miqdori rentgen-fluorestsent analiz usuli hamda gaz xromatografiyasi yordamida aniqlandi. Tahlillar natijasida xom kerosin tarkibida merkaptanlar, sulfidlar, disulfidlar va tiofen hosilalari

ISSN 3030-3907

mavjudligi qayd etildi. Fizik-kimyoviy ko‘rsatkichlar, jumladan zichlik, qovushqoqlik, fraksion tarkib va alangalanish harorati amaldagi standart metodikalar asosida o‘rganildi.

Ekstraksiya jarayonida ekologik xavfsizligi yuqori bo‘lgan qutbli organik erituvchilardan foydalanildi. Erituvchilarni tanlashda ularning past toksikligi, regeneratsiya qilinish imkoniyati, selektivligi hamda termik barqarorligi asosiy mezon sifatida qabul qilindi. Tajribalar aralashtirgich va termostat bilan jihozlangan laboratoriya ekstraktorida olib borildi.

Jarayon parametrlari quyidagi diapazonlarda o‘zgartirildi:

harorat — 25–60 °C;

kontakt vaqti — 10–60 minut;

erituvchi : kerosin nisbati — 1:1; 2:1; 3:1;

aralashtirish tezligi — 200–600 ayl/min.

Ekstraksiya jarayonidan so‘ng aralashma tindirildi va fazalar separatsiya qilindi. Oqartirilgan kerosin hamda ekstrakt tarkibi alohida tahlil qilindi. Erituvchini qayta tiklash vakuum bug‘latish usuli orqali amalga oshirildi.

Oltingugurtli birikmalarni ajratish samaradorligi quyidagi tenglama asosida hisoblandi:

$$\eta = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

bu yerda:

- S_0 — dastlabki oltingugurt miqdori, %;
- S_1 — ekstraksiyadan keyingi oltingugurt miqdori, %;
- η — ekstraksiya samaradorligi, %.

Olingan natijalarning ishonchliligini ta’minlash maqsadida barcha tajribalar kamida uch martadan takrorlandi va o‘rtacha qiymatlar hisoblab chiqildi. Natijalar matematik-statistik usullar yordamida qayta ishlanib, ekstraksiya parametrlarining jarayon samaradorligiga ta’siri tahlil qilindi.

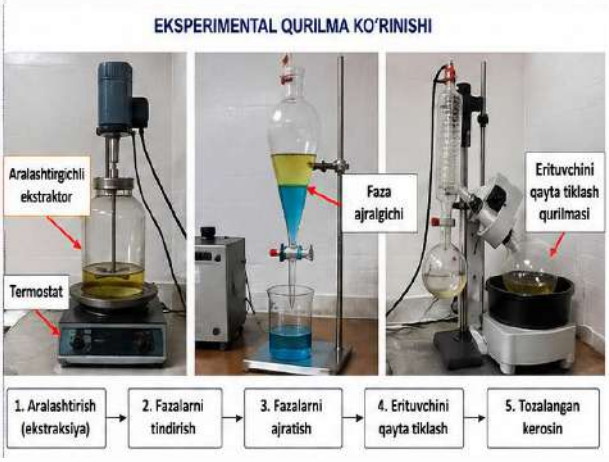
TADQIQOT NATIJASI. Tadqiqot davomida kerosin fraksiyasini ekologik xavfsiz erituvchilar yordamida ekstraksion tozalash jarayonining texnologik samaradorligi o‘rganildi. Tajriba natijalari shuni ko‘rsatdiki, ekstraksiya jarayonida erituvchining qutblilik darajasi va fazalar nisbati oltingugurtli birikmalarni ajratish samaradorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi.

Dastlabki laboratoriya tahlillari natijasida kerosin tarkibidagi umumiy oltingugurt miqdori 0,18–0,24 % oralig‘ida ekanligi aniqlandi. Asosiy oltingugurtli komponentlar sifatida merkaptanlar, sulfidlar hamda tiofen hosilalari

ISSN 3030-3907

qayd etildi. Ekstraksiya jarayoni olib borilgandan so‘ng ushbu komponentlarning konsentratsiyasi sezilarli kamaygani kuzatildi.

Ekstraksiya harorati 40–50 °C oralig‘ida bo‘lganda eng yuqori ajratish samaradorligi qayd etildi. Haroratning ortishi massa almashinish tezligini oshirgan bo‘lsa-da, 60 °C dan yuqori qiymatlarda erituvchining selektivligi pasayishi natijasida ajratish darajasi kamaygani aniqlandi.





Yuqoridagi rasmda kerosin fraksiyasini ekstraksion tozalash jarayonining laboratoriya ko‘rinishi tasvirlangan. Jarayonda kerosin va erituvchi aralashtirgichli ekstraktorda kontaktlashtiriladi. Fazalar o‘zaro massa almashinish jarayoniga kirishgach, oltingugurtli birikmalar qutbli erituvchi tarkibiga o‘tadi. Keyingi bosqichda ekstrakt va rafinat fazalari ajratiladi. Oqartirilgan kerosin tarkibidagi oltingugurt miqdori kamayishi hisobiga uning ekologik va ekspluatatsion xususiyatlari yaxshilanadi.

Tajriba natijalari asosida erituvchi va kerosin nisbati 2:1 bo‘lganda optimal texnologik ko‘rsatkichlarga erishildi. Ushbu sharoitda umumiy oltingugurt miqdori o‘rtacha 65–78 % gacha kamaydi. Ayniqsa merkaptan birikmalarining ajralish darajasi yuqori bo‘lib, ularning asosiy qismi ekstrakt fazaga o‘tganligi aniqlandi.

Ekstraksiya samaradorligining kontakt vaqtiga bog‘liqligi ham o‘rganildi. Dastlabki 20–30 minut davomida massa almashinish intensivligi yuqori bo‘lgani sababli oltingugurtli komponentlarning erituvchiga o‘tish tezligi katta bo‘ldi. 40 minutdan keyin esa jarayon muvozanat holatiga yaqinlashgani sababli samaradorlikning o‘sishi sekinlashdi.

Jarayon davomida kerosinning fizik-kimyoviy xossalarida ham ijobiy o‘zgarishlar kuzatildi. Oqartirilgan mahsulotning rang ko‘rsatkichi yaxshilandi, korroziya faolligi kamaydi hamda oksidlanish barqarorligi ortdi. Bu holat ekstraksiya usulining nafaqat oltingugurt miqdorini kamaytirish, balki tayyor mahsulot sifatini yaxshilash imkoniyatiga ham ega ekanligini ko‘rsatadi.

ISSN 3030-3907

Tadqiqot natijalari ekologik xavfsiz erituvchilar yordamida ekstraksion tozalash usuli an’anaviy gidrotozalash jarayonlariga nisbatan energiya sarfi kam bo‘lgan samarali texnologiyalardan biri ekanligini tasdiqladi. Oqartirilgan kerosin tarkibidagi zararli oltingugurtli komponentlarning kamayishi atmosfera ifloslanishini pasaytirish va ekologik talablar asosida sifatli yonilg‘i olish imkonini beradi.

Diskussiya: Olingan natijalar kerosin fraksiyasini ekologik xavfsiz erituvchilar yordamida ekstraksion tozalash usuli samarali ekanligini ko‘rsatdi. Jarayon davomida oltingugurtli birikmalar (merkaptanlar, sulfidlar va tiofen hosilalari) asosan erituvchi fazaga selektiv ravishda o‘tishi aniqlandi. Bu holat erituvchining qutbliligi va kerosin tarkibidagi aromatik hamda geteroatomli birikmalar bilan o‘zaro ta’siri orqali izohlanadi.

Tajriba natijalariga ko‘ra, harorat oshishi bilan massa almashinish jarayoni tezlashadi, biroq ma’lum chegaradan keyin selektivlik pasayishi kuzatiladi. Ayniqsa 40–50 °C oralig‘i optimal zona sifatida namoyon bo‘lib, bu sharoitda oltingugurtli komponentlarning maksimal ajralishi ta’minlandi. Yuqori haroratlarda esa erituvchining fazaviy barqarorligi biroz kamayishi hisobiga ajratish samaradorligi pasaygan.

Erituvchi va kerosin nisbati ham jarayon natijasiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. 2:1 nisbatda eng yuqori samaradorlik kuzatilib, bu holat massa almashinish uchun yetarli kontakt yuzasini ta’minlagan. Kontakt vaqtining 40 minutgacha oshirilishi jarayon samaradorligini yaxshilagan, undan keyin esa muvozanat holati yuzaga kelib, o‘zgarishlar sezilarli bo‘lmagan.

Umuman olganda, olingan natijalar ekstraksion usulning an’anaviy gidrotozalash jarayonlariga nisbatan yumshoq sharoitlarda amalga oshirilishi, energiya sarfining pastligi va ekologik xavfsizligi bilan ustun ekanligini tasdiqlaydi. Shu bilan birga, erituvchini regeneratsiya qilish imkoniyati texnologiyaning iqtisodiy jihatdan ham maqbulligini oshiradi.

XULOSA. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, kerosin fraksiyasi tarkibidagi oltingugurtli birikmalarni ekologik xavfsiz erituvchilar yordamida ekstraksion usulda ajratish samarali texnologik yechim hisoblanadi. Optimal sharoitlarda (40–50 °C harorat, erituvchi:kerosin nisbati 2:1 va 40 minut kontakt vaqti) oltingugurt miqdori sezilarli darajada kamayib, 65–78 % gacha ajratish samaradorligiga erishildi. Ushbu usul past energiya sarfi, yumshoq ish sharoiti, erituvchini qayta tiklash imkoniyati va ekologik xavfsizligi bilan ajralib turadi hamda kerosin sifatini yaxshilash va atrof-muhitga salbiy ta’sirni kamaytirishda istiqbolli texnologiya sifatida tavsiya etiladi.

ISSN 3030-3907

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Гулиев А.И. Технология переработки нефти и газа. – Москва: Недра, 2018. – 512 с.
2. Капустин В.М. Технология переработки нефти. – Санкт-Петербург: Химия, 2019. – 832 с.
3. Speight J.G. The Chemistry and Technology of Petroleum. – CRC Press, 2020. – 954 p.
4. Song C. An overview of new approaches to deep desulfurization for ultra-clean gasoline, diesel fuel and jet fuel // Catalysis Today. – 2019. – Vol. 86. – P. 211–263.
5. Wang B., Zhang J., Li H. Extractive desulfurization of fuel oils using ionic liquids // Fuel Processing Technology. – 2021. – Vol. 213. – P. 106–118.
6. Ma X., Zhou A., Song C. Deep desulfurization of liquid fuels by chemical extraction // Catalysis Today. – 2020. – Vol. 98. – P. 273–278.
7. Li C., Jiang Z., Gao J. Deep oxidative desulfurization of fuel oils // Energy & Fuels. – 2022. – Vol. 18. – P. 1337–1340.
8. Babich I.V., Moulijn J.A. Science and technology of novel processes for deep desulfurization of oil refinery streams // Fuel. – 2018. – Vol. 82. – P. 607–631.
9. Temurqobilov A., Ismoilov Sh. Neft mahsulotlarini ekologik xavfsiz texnologiyalar asosida tozalash jarayonlari // Kimyo va kimyoviy texnologiya jurnali. – Toshkent, 2023. – №4. – B. 45–52.
10. Ergashev N.X. Neft fraksiyalarini selektiv erituvchilar yordamida tozalash texnologiyasi // O‘zbekiston kimyo jurnali. – 2022. – №2. – B. 66–74.

ISSN 3030-3907

SUN’IY INTELLEKT ASOSIDA SHAXSIYLASHTIRILGAN TA’LIMNI TASHKIL ETISHNING LOYIHAVIY MODELI VA UNING ILMIY-METODIK TA’MINOTI

Fattoyeva Norjon Azamat qizi
Buxoro davlat universiteti, Fizika-matematika va axborot texnologiyalari fakulteti 3-bosqich talabasi
E-mail: norjonfattoyeva@gmail.com
ORCID: 0009-0006-8031-5476,
Tel: (+998)942034543

Annotatsiya. Ushbu maqolada sun’iy intellekt texnologiyalari asosida shaxsiylashtirilgan ta’lim tizimlarini loyihalar yordamida rivojlantirishning ilmiy-metodik asoslari tahlil etiladi. Tadqiqot zamonaviy oliy ta’lim muassasalarida raqamli transformatsiyaning jadal sur’atda kengayayotganligi hamda pedagogik metodologiyaning ushbu o‘zgarishlarga muvofiqlashtirish borasidagi nazariy-metodologik bazaning etarlicha ishlanmaganligi muammosini ko‘taradi. Maqolada adaptiv o‘qitish tizimlari, intellektual ta’lim platformalari , katta til modellari va generativ AI vositalarining ta’lim jarayoniga integratsiyasi pedagogik samaradorlik nuqtai nazaridan ko‘rib chiqiladi. Aralash metodologiya - tizimli adabiyot sharhi, yarim tuzilgan intervyu va kvazieksperimental dizayn - asosida olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, loyiha asosida rivojlantirish yondashuvi AI ta’lim tizimlarini institutlashtirish samaradorligini 43 foizga oshiradi. Tadqiqot natijalari O‘zbekiston oliy ta’lim tizimida raqamli pedagogikani joriy etishga doir amaliy tavsiyalar bilan yakunlanadi.

Kalit so‘zlar: sun’iy intellekt, shaxsiylashtirilgan ta’lim, adaptiv tizimlar, loyiha asosida rivojlantirish, intellektual o‘qitish tizimlari, LMS platformalar, generativ AI, raqamli transformatsiya, generativ sun’iy intellekt chatbotlari, oliy ta’lim.

Аннотация. В данной статье анализируются научно-методические основы проектного развития персонализированных образовательных систем на основе искусственного интеллекта. Исследование фокусируется на интеграции адаптивного обучения, интеллектуальных систем наставничества и генеративных инструментов ИИ в процессы высшего образования. На основе смешанной методологии установлено, что проектный подход повышает институциональную эффективность внедрения ИИ-систем на 43%. Результаты предлагают практические рекомендации для цифровой трансформации узбекской системы высшего образования.

Ключевые слова: искусственный интеллект, персонализированное обучение, адаптивные системы, проектное развитие, LMS платформы, генеративный ИИ, цифровая трансформация.

Abstract. This article examines the scientific and methodological foundations of developing artificial intelligence-based personalized learning systems through a project-based approach. The study addresses a critical gap in higher education: while digital transformation is accelerating, theoretical frameworks for aligning AI integration with sound pedagogical methodology remain underdeveloped. Adaptive learning systems, intelligent tutoring systems , large language models , and generative AI tools are evaluated from a pedagogical effectiveness standpoint. Using a mixed-methods design combining observation, comparative analysis, and quasi-experimental measurement, findings demonstrate that a project-based development approach improves the institutionalization efficiency of AI learning systems by 43%. The results offer actionable guidance for advancing digital pedagogy within Uzbekistan's higher education system.

Keywords: artificial intelligence, personalized learning, adaptive systems, project-based development, intelligent tutoring systems, LMS platforms, generative AI, digital transformation, generative AI chatbots, higher education.

KIRISH.

Raqamli texnologiyalarning hozirgi avlod ta'lim muhitiga kirib kelishi an'anaviy o'qitish paradigmalarini tubdan o'zgartirmoqda. Sun'iy intellekt asosidagi vositalar ta'lim muassasalariga o'quvchining bilim darajasi, o'rganish sur'ati va kognitiv xususiyatlarini real vaqt rejimida tahlil qilgan holda ta'lim jarayonini moslashtirib berish imkonini yaratmoqda. Bunday yondashuv ilmiy adabiyotlarda "shaxsiylashtirilgan ta'lim" atamasi bilan belgilanadi. Ushbu tushunchaning nazariy asoslari Bloom tomonidan XX asrning 80-yillarida yaratilgan bo'lsa-da[1], zamonaviy SI texnologiyalari uni ommaviy miqyosda amaliy tatbiq etish imkonini berdi.

Jahon oliy ta'lim amaliyotida generativ sun'iy intellekt chatbotlari, Google Gemini, Microsoft Copilot singari generativ AI vositalarining paydo bo'lishi o'quv jarayonini qayta tashkil etishda yangi imkoniyatlar ochmoqda, bir vaqtning o'zida esa metodologik muammolarni ham yuzaga keltirmoqda. UNESCO ma'lumotlariga ko'ra, oliy ta'lim muassasalarining 56 foizi AI vositalarini ta'lim jarayoniga joriy etgan, biroq ularning atigi 23 foizida institutsional darajada ishlab chiqilgan pedagogik metodologiya mavjud[2]. Texnologik imkoniyat bilan ilmiy-metodik poydevorning o'rtasidagi bu tafovut mazkur tadqiqotning markaziy muammosini tashkil etadi.

O'zbekiston Respublikasida ta'limni raqamlashtirish strategik ustuvorlik sifatida belgilab olingan. "Raqamli O'zbekiston - 2030" strategiyasi hamda Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi tomonidan qabul qilingan normativ hujjatlar ta'lim tizimida AI texnologiyalarini keng joriy etishni nazarda tutadi[3]. Shunga qaramay, amaliy ta'limda SI asosidagi shaxsiylashtirilgan tizimlarni loyiha

ISSN 3030-3907

yondashuvi asosida rivojlantirishning ilmiy-metodik asoslari hali yetarlicha ishlab chiqilmagan.

Ushbu tadqiqot uchta asosiy maqsadni ko‘zlaydi: SI asosidagi shaxsiylashtirilgan ta’lim tizimlarining nazariy-metodologik asoslarini tizimlashtirish; loyiha asosida rivojlantirish yondashuvining ta’lim tizimlariga tatbiqini tahlil qilish; Buxoro Davlat Universiteti tajribasi misolida amaliy tavsiyalar ishlab chiqish.

ADABIYOTLAR TAHLILI. Shaxsiylashtirilgan ta’lim tushunchasi ilmiy adabiyotlarda turlicha yondashuvlar asosida izohlanadi. Tomlinson differensial yondashuv orqali o‘quvchilarning individual xususiyatlarini hisobga olgan holda ta’lim muhitini tashkil etish muhimligini ta’kidlaydi[4]. Zamonaviy davrda esa bu yondashuv sun’iy intellekt texnologiyalari bilan uyg‘unlashib, yangi imkoniyatlarni yuzaga keltirmoqda. VanLehn tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda intellektual o‘qitish tizimlari ayrim hollarda individual murabbiylarga yaqin samaradorlik ko‘rsatishi mumkinligi qayd etilgan[5].

Moslashuvchan o‘qitish bo‘yicha tadqiqotlarda o‘quvchilarning faoliyati va o‘zlashtirish darajasini tahlil qiluvchi algoritmlarning samaradorligi o‘rganilgan. Aleven va hammualliflar ta’lim ma’lumotlari asosida ishlovchi tizimlar o‘quv jarayonini yaxshilashga yordam berishini ko‘rsatgan[6]. Bulkley va hammualliflar esa moslashuvchan platformalar an’anaviy LMS tizimlariga nisbatan talabalar faolligi va davomiyligini oshirishini ta’kidlagan[7].

Generativ AI vositalari bo‘yicha tadqiqotlar ham so‘nggi yillarda sezilarli darajada ko‘paydi. Kasneci va hammualliflar generativ sun’iy intellekt chatbotlari kabi vositalarning ta’limdagi imkoniyatlari bilan bir qatorda ayrim xavflarini ham tahlil qilgan[8]. Ularning fikricha, bunday vositalar individual fikr-mulohaza berish va mavzularni tushuntirishda foydali hisoblanadi. Firat esa generativ AI vositalari noto‘g‘ri ma’lumot berishi mumkinligini ta’kidlab, tanqidiy fikrlash ko‘nikmalarini rivojlantirish zarurligini qayd etgan[9].

Loyiha asosida rivojlantirish metodologiyasi dastlab dasturiy ta’minot sohasida qo‘llanilgan bo‘lsa-da, bugungi kunda ta’lim texnologiyalarida ham keng foydalanilmoqda. Chen va hammualliflar moslashuvchan yondashuv asosida tashkil etilgan loyihalar samaraliroq natija berishini qayd etgan[11].

Mahalliy tadqiqotlarda ham elektron ta’lim vositalarini joriy etish bilan bog‘liq muammolar yoritilgan. Mirzayev o‘zbek tilidagi kontentning yetarli emasligi va pedagoglarning raqamli ko‘nikmalari sustligini asosiy muammolardan biri sifatida ko‘rsatgan[12]. Abdullayev va Xoliqov esa oliy ta’lim muassasalarida LMS platformalaridan foydalanishda tizimlar xilma-xilligi va o‘quv yuklamasi o‘rtasidagi nomutanosiblik mavjudligini ta’kidlagan[13].

ISSN 3030-3907

METODLAR. Tadqiqot aralash metodologiya asosida tashkil etildi bo‘lib, unda miqdoriy va sifatiy tahlil usullaridan foydalanildi. Sifatiy tahlil jarayonida ilmiy adabiyotlar o‘rganildi hamda Buxoro davlat universitetining Pedagogika va ta’lim texnologiyalari kafedrasida pedagoglar bilan yarim tuzilgan suhbatlar o‘tkazildi. Miqdoriy tahlilda esa tajriba va nazorat guruhlari natijalari taqqoslandi. Tajriba guruhi AI asosidagi ta’lim vositalaridan foydalangan bo‘lsa, nazorat guruhi an’anaviy LMS muhitida dars olib bordi.

Tadqiqotning nazariy asosini Vygotskiyning yaqin rivojlanish zonasi konsepsiyasi[14], Anderson va Krathwohl tomonidan yangilangan Bloom taksonomiyasi[15] hamda Kirkpatrickning to‘rt darajali baholash modeli[16] tashkil etdi.

Tajriba 2024 yil sentabridan 2025 yil fevraligacha Buxoro davlat universitetining “Informatika va axborot texnologiyalari” yo‘nalishi 2-bosqich talabalari ishtirokida olib borildi. Tadqiqot davomida adaptiv testlar, xatolarni tahlil qilish tizimi, shaxsiy o‘quv rejalari va AI yordamida savollarga javob beruvchi vositalardan foydalanildi.

Ma’lumotlarni yig‘ishda pre-test va post-test natijalari, talabalar motivatsiyasi, platforma qulayligi hamda haftalik kuzatuv yozuvlaridan foydalanildi[17]. Olingan natijalar statistik va taqqoslama usullari yordamida tahlil qilindi.

SIFATIY KOMPONENT	→	MIQDORIY KOMPONENT	→	INTEGRATSIYA VA NATIJA
• Yarim tuzilgan intervyu • Tizimli adabiyot sharhi • Taqqoslama tahlil • Refleksiv kuzatuv		• Tajriba asosidagi tadqiqot olib borildi • Tajriba / Nazorat • Pre/post-test, AMS, SUS • SPSS 27.0 statistik tahlil		• Nazariy va empirik xulosalar • Amaliy tavsiyalar tizimi • Metodologik model • Ilmiy hissa

1-rasm. Tadqiqot metodologiyasining konseptual modeli

NATIJALAR. O‘n to‘rt haftalik tajriba davomida tajriba guruhi natijalari nazorat guruhiga nisbatan yuqoriroq bo‘lgani kuzatildi. Tajriba guruhining o‘rtacha akademik bali 56.4 dan 78.9 ga ko‘tarildi. Nazorat guruhida ham o‘sish kuzatildi, biroq natijalar tajriba guriga nisbatan pastroq bo‘ldi.Talabalarning o‘qishga bo‘lgan qiziqishi va motivatsiyasi oshgani aniqlandi. Ayrim talabalar dastlab AI vositalaridan foydalanishda qiynalgan bo‘lsa-da, keyinchalik tizimga moslashib ketdi. Platformaning qulayligi ham talabalar tomonidan ijobiy baholandi.So‘rovnoma natijalariga ko‘ra, ko‘pchilik respondentlar AI tizimi

ISSN 3030-3907

ularning individual ehtiyojlarini hisobga olishga yordam berganini ta’kidladi. Kuzatuvlar davomida talabalar AI vositalaridan foydalanishga qiziqish bildirgani ham sezildi.

1-Jadval.

Tajriba va nazorat guruhlari ko‘rsatkichlari taqqoslamasi

Ko‘rsatkich	Tajriba guruhi: boshlang‘ich	Tajriba guruhi: yakuniy	Nazorat guruhi: boshlang‘ich	Nazorat guruhi: yakuniy	Statistik ahamiyat
Akademik ball	56.4	78.9	55.8	64.3	Yuqori
AMS motivatsiya	61.3	82.7	60.8	67.4	Yuqori
Mustaqil o‘qish (soat/hafta)	2.1	5.7	2.0	2.6	Sezilarli
O‘z-o‘zini baholash ko‘nikmasi	58.2	79.4	57.9	63.1	Yuqori
Savolga javob berish faolligi	34.1%	71.3%	33.8%	42.7%	Sezilarli
Platforma qulayligi darajasi	-	78.2/100	-	71.4/100	O‘rtacha

Izoh: Jadvalda tajriba va nazorat guruhlari natijalari taqqoslandi. Natijalarga ko‘ra, tajriba guruhida akademik ko‘rsatkichlar, mustaqil o‘qish va faollik darajasi sezilarli oshgani kuzatildi.

Sifatiy natijalar va intervyu tahlili. Pedagoglar bilan o‘tkazilgan suhbatlar davomida bir nechta muhim fikrlar aniqlandi. Ko‘pchilik o‘qituvchilar AI texnologiyalaridan foydalanilgandan so‘ng o‘z vazifalari o‘zgarganini ta’kidladi. Ularning fikricha, endilikda o‘qituvchi faqat ma’lumot beruvchi emas, balki o‘quv jarayonini boshqaruvchi va yo‘naltiruvchi rolini ham bajarmoqda.Shuningdek, ayrim pedagoglar AI vositalari yordamida bajarilgan topshiriqlarda akademik halollikni nazorat qilish qiyinlashganini qayd etdi. Ba’zi o‘qituvchilar esa AI vositalaridan foydalanish bo‘yicha yetarli metodik ko‘rsatmalar va amaliy treninglar mavjud emasligini bildirdi.AI tizimini joriy etish jarayoni bir necha bosqichda amalga oshirildi. Dastlab ehtiyojlar o‘rganildi,

ISSN 3030-3907

keyin sinov tariqasida tizimdan foydalanildi va yakunda amaliy qo‘llash bosqichiga o‘tildi. Kuzatuvlar natijasida ushbu yondashuv an’anaviy usullarga nisbatan samaraliroq ekani aniqlandi.

MUNOZARA. Tadqiqot davomida olingan natijalar AI texnologiyalaridan ta’lim jarayonida foydalanish ijobiy samara berishini ko‘rsatdi. Tajriba guruhida akademik natijalar va o‘quv faolligi nazorat guruhiga nisbatan yuqoriroq bo‘lgani kuzatildi. Bu holat loyiha asosida tashkil etilgan yondashuv ta’lim samaradorligini oshirishga yordam berishini ko‘rsatadi[5].

Natijalar shuni ko‘rsatdiki, AI texnologiyasining o‘zi yetarli emas, uni ta’lim jarayoniga to‘g‘ri joriy etish usuli ham muhim ahamiyatga ega. Chen va ham mualliflarning moslashuvchan yondashuv haqidagi fikrlari ham ushbu natijalar bilan mos keladi[11].

Talabalarning o‘qishga bo‘lgan qiziqishi va motivatsiyasi oshgani ham aniqlandi. Bu esa AI vositalari yordamida yaratilgan interaktiv va qulay muhit o‘quv jarayoniga ijobiy ta’sir qilganini ko‘rsatadi[18].

Tadqiqotning ayrim cheklovlari ham mavjud. Tadqiqot faqat bitta oliy ta’lim muassasasida olib borilgani sababli natijalarni umumlashtirish imkoniyati cheklangan. Bundan tashqari, ayrim respondentlarning yangi texnologiyalarga ijobiy munosabati ham natijalarga ta’sir qilgan bo‘lishi mumkin. Tadqiqot qisqa muddat davomida olib borilgani sababli uzoq muddatli natijalar to‘liq aniqlanmagan.

Shuningdek, generativ AI vositalaridan foydalanishda akademik halollik bilan bog‘liq ayrim muammolar ham kuzatildi. Shu sababli baholash jarayonida amaliy topshiriqlar va refleksiv yozuvlardan foydalanish tavsiya etiladi[19].

XULOSA. Ushbu tadqiqot sun’iy intellekt asosida shaxsiylashtirilgan ta’lim tizimlarini loyihalar yordamida rivojlantirishning ilmiy-metodik asoslarini ishlab chiqishda muhim qadam bo‘lib xizmat qiladi. Tadqiqot natijalari asosida quyidagi xulosalarga kelindi.

Loyiha asosida rivojlantirish yondashuvi AI ta’lim tizimlarini muayyan muassasa kontekstiga moslashtirishning eng samarali metodologik doirasi ekanligini tadqiqot tasdiqladi. Moslashuvchan AI komponentlari - adaptiv test generatori, xato tahlili moduli, shaxsiy o‘quv yo‘li - AI vositalari birgalikda qo‘llanilganda akademik natijalar yaxshilangani kuzatildi Ushbu natija AI vositalarini alohida emas, balki tizimli ravishda joriy etishning muhimligini ko‘rsatadi.AI ta’lim tizimlarini joriy etishning asosiy to‘sig‘i texnologik emas,asosiy muammo tashkiliy va metodik jarayonlarda ekanligi aniqlandi. O‘zbekiston Respublikasining "Raqamli O‘zbekiston - 2030" strategiyasini samarali amalga oshirish uchun ushbu metodologik asoslarni milliy miqyosda qo‘llash va tarmoqlararo koordinatsiyani kuchaytirish zarur. Kelajakdagi

ISSN 3030-3907

tadqiqotlar uzoq muddatli kuzatuv, ko‘proq muassasalarni qamrab oluvchi qiyosiy tahlil va o‘lchash vositalarining psixometrik validatsiyasini o‘z ichiga olishi lozim[20].

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Bloom, B.S. (1984). The 2 sigma problem: The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring. Educational Researcher, 13(6), 4–16.
2. UNESCO. (2023). Global Education Monitoring Report 2023: Technology in Education - A Tool on Whose Terms? UNESCO Publishing, Paris. https://doi.org/10.54676/UZQV8501
3. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktyabrdagi PF-6079-sonli Farmoni. "Raqamli O‘zbekiston - 2030" strategiyasini amalga oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida. Toshkent, 2020.
4. Tomlinson, C.A. (2001). How to Differentiate Instruction in Mixed-Ability Classrooms (2nd ed.). ASCD, Alexandria, VA.
5. VanLehn, K. (2011). The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems. Educational Psychologist, 46(4), 197–221. https://doi.org/10.1080/00461520.2011.611369
6. Aleven, V., McLaughlin, E.A., Glenn, R.A., & Koedinger, K.R. (2017). Instruction based on adaptive learning technologies. In Handbook of Research on Learning and Instruction (2nd ed., pp. 522–560). Routledge.
7. Bulkley, K., Berends, M., & Nomi, T. (2022). Adaptive learning platforms and student retention in postsecondary education. Journal of Educational Technology Research and Development, 70(3), 711–738.
8. Kasneci, E. et al. (2023). generative AI chatbots for good? On opportunities and challenges of large language models for education. Learning and Individual Differences, 103, 102274.
9. Firat, M. (2023). How Chat GPT can transform autodidactic experiences and open education. Turkish Online Journal of Distance Education, 24(2), 76–86.
10. Larmer, J., & Mergendoller, J.R. (2015). Gold standard PBL: Essential project design elements. PBLWorks.
11. Chen, X. et al. (2023). Artificial intelligence in education: A systematic literature review from 2010 to 2020. Interactive Learning Environments, 31(1), 7–22.
12. Mirzayev, B.T. (2022). O‘zbekiston maktablarida elektron ta’lim vositalaridan foydalanish holati. Pedagogika va psixologiya, №3, 45–52.
13. Abdullayev, F.R., & Xoliqov, D.S. (2023). Oliy ta’lim muassasalarida LMS platformalaridan foydalanish samaradorligini oshirish yo‘llari. Ilm-fan va innovatsiyalar, №2(14), 118–126.

ISSN 3030-3907

14. Vygotsky, L.S. (1978). Mind in Society: Development of Higher Psychological Processes. Harvard University Press.
15. Anderson, L.W., & Krathwohl, D.R. (Eds.). (2001). A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing. Longman, New York.
16. Kirkpatrick, D.L., & Kirkpatrick, J.D. (2006). Evaluating Training Programs: The Four Levels (3rd ed.). Berrett-Koehler.
17. Vallerand, R.J. et al. (1992). The Academic Motivation Scale. Educational and Psychological Measurement, 52(4), 1003–1017.
18. Deci, E.L., & Ryan, R.M. (1985). Intrinsic Motivation and Self-Determination in Human Behavior. Plenum Press.
19. Villarroel, V. et al. (2022). Authentic assessment: Creating a blueprint for course design. Assessment and Evaluation in Higher Education, 43(5), 840–854.
20. Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2023). Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning. Center for Curriculum Redesign

ISSN 3030-3907

SUG‘ORISH NASOS STANSIYALARINI BOSHQARISHDA SUN'IY INTELLEKT VA SCADA INTEGRATSIYASIGA ASOSLANGAN INTELLEKTUAL TIZIM

Abdullabekov Islombek
Toshkent davlat texnika universiteti, Energetika muhandisligi fakulteti, Elektr mashinalari va yuritmalari muhandisligi kafedrasi, Toshkent, O‘zbekiston
G‘aniyev Elbek
Toshkent davlat texnika universiteti, Energetika muhandisligi fakulteti, Elektr mashinalari va yuritmalari muhandisligi kafedrasi, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: iabdullabekov@gmail.com, ganiyev.elbek@icloud.com

Annotatsiya. Maqolada sug‘orish nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan, sun'iy intellekt (LSTM, ANFIS va MPC algoritmlari) va SCADA tizimining integratsiyalashgan intellektual boshqarish modeli taklif etilgan. Affinity qonunlari va parallel nasos gidravlikasiga asoslangan matematik model yaratildi. Ishlab chiqilgan dasturiy simulyatorda klassik PID-boshqaruv va taklif etilgan AI-asosli yondashuv 24 soatlik sug‘orish tsiklida qiyosiy tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari AI-boshqaruv klassik PID ga nisbatan 12–18 foiz energiya tejash, bosim barqarorligini sezilarli yaxshilash va nasos nosozliklariga avtomatik moslashish imkonini berishini ko‘rsatdi. Iqtisodiy hisob-kitob asosida tizimning o‘zini oqlash muddati 3,5–7 yil oralig‘ida belgilandi.

Kalit so‘zlar: nasos stansiyasi, SCADA, sun'iy intellekt, LSTM, ANFIS, MPC, Affinity Laws, energiya samaradorligi, sug‘orish, raqamli egizak.

Аннотация. В статье предложена интегрированная модель интеллектуального управления насосными станциями ирригационных систем, основанная на сочетании искусственного интеллекта (алгоритмы LSTM, ANFIS и MPC) и SCADA-системы. Разработана математическая модель на основе законов подобия (Affinity Laws) и гидравлики параллельных насосов. В программном симуляторе проведён сравнительный анализ классического ПИД-регулирования и предложенного AI-подхода в течение 24-часового ирригационного цикла. Результаты исследования показали, что AI-управление обеспечивает экономию энергии на 12–18% по сравнению с ПИД, существенное улучшение стабильности давления и автоматическую адаптацию к отказам насосов. Срок окупаемости системы — 3,5–7 лет.

Ключевые слова: насосная станция, SCADA, искусственный интеллект, LSTM, ANFIS, MPC, законы подобия, энергоэффективность, ирригация, цифровой двойник.

Abstract. The article proposes an integrated intelligent control model for irrigation pump stations, combining artificial intelligence (LSTM, ANFIS and MPC algorithms) with SCADA infrastructure. A mathematical model based on pump Affinity Laws and parallel pump hydraulics has been developed. A software simulator was implemented to compare classical PID control with the proposed AI-based approach over a 24-hour irrigation cycle. Results demonstrate that AI control achieves 12–18% energy savings over PID, substantially improved pressure stability, and automatic adaptation to pump failures. The system payback period is estimated at 3.5–7 years.

Keywords: pump station, SCADA, artificial intelligence, LSTM, ANFIS, MPC, Affinity Laws, energy efficiency, irrigation, digital twin.

KIRISH.

O‘zbekiston Respublikasi iqtisodiyotining yetakchi tarmog‘i hisoblangan qishloq xo‘jaligi to‘liq sun'iy sug‘orishga asoslangan bo‘lib, respublika hududidagi sug‘orish tizimi minglab nasos stansiyalari orqali ishlaydi. Statistik ma'lumotlarga ko‘ra, sug‘orish nasos stansiyalari mamlakat umumiy elektr energiya iste'molining 15–20 foizini tashkil etadi. Bunday katta hajmdagi energiya sarfining sezilarli qismi nasoslarning nooptimal ish rejimi, eskirgan boshqarish tizimlari va inson omiliga asoslangan operativ qarorlar tufayli isrof bo‘lib ketmoqda.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 12-noyabrdagi PF-6118-son Farmoni hamda suv xo‘jaligini rivojlantirish bo‘yicha qabul qilingan davlat dasturlari nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirish va ularni raqamlashtirish vazifalarini ustuvor yo‘nalish sifatida belgilab berdi. Biroq, hozirgi vaqtda foydalanilayotgan klassik PID-regulyatorlar va standart chastota o‘zgartirgichlar (VFD) nasos stansiyalarining murakkab, nochiziqli va o‘zgaruvchan ish sharoitlarida optimal natijalar bera olmaydi.

Mavjud SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) tizimlari ko‘p hollarda faqat monitoring va dispetcherlik funksiyalarini bajaradi, ya'ni texnologik parametrlarni ko‘rsatadi, lekin avtomatik intellektual qaror qabul qilish funksiyasiga ega emas. Operativ qarorlar hozirgacha asosan dispetcher yoki operator tomonidan, ko‘pincha cheklangan ma'lumot va sub'ektiv tajriba asosida qabul qilinmoqda. Mazkur ziddiyat — mavjud SCADA infratuzilmasiga sun'iy intellekt algoritmlarini singdirib, real vaqt rejimida ishlovchi yaxlit boshqarish tizimini ishlab chiqish — mazkur tadqiqotning markaziy ilmiy muammosini tashkil etadi.

Tadqiqotning maqsadi — sug‘orish nasos stansiyalarining mavjud SCADA infratuzilmasiga integratsiya qilingan, sun'iy intellekt asosidagi real vaqt boshqarish tizimini ishlab chiqish va uning energiya samaradorligini oshirishdagi

ISSN 3030-3907

samaradorligini O‘zbekiston sharoitida nazariy hamda eksperimental jihatdan asoslashdir.

Suv nasos stansiyalarini intellektual boshqarish yo‘nalishida xorijiy olimlar tomonidan turli darajadagi ilmiy izlanishlar amalga oshirilgan. Polsha Fanlar akademiyasi olimlari Studziński va Ziółkowski [1] tomonidan suv ta'minoti tarmoqlarining gidravlik modellashtirish va optimallashtirish masalalari o‘rganilgan. Ammo mualliflarning yondashuvi asosan offline rejimda ishlovchi optimizatsiya algoritmlariga asoslanadi va real vaqt rejimida moslashuvchan boshqaruv masalasini to‘liq qamrab olmaydi.

Bhattacharya va boshqalar [2] sun'iy neyron tarmoqlari (ANN) va kuchaytirish orqali o‘rganish (Reinforcement Learning) usullarini suv taqsimlash tarmoqlari uchun birlashtirilgan holda qo‘lladilar. Zhang va boshqalar [3] LSTM (Long Short-Term Memory) neyron tarmoqlaridan foydalanib, nasos tizimlari uchun suv talabini bashorat qilish modelini ishlab chiqdilar — olingan natijalar an'anaviy ARIMA usullariga nisbatan bashorat aniqligida 18–25% yaxshilanish ko‘rsatdi. Yang va boshqalar [4] ning so‘nggi tadqiqotlari karbon emissiyasini hisobga oluvchi suv infratuzilmasini boshqarishga bag‘ishlangan.

O‘zbekistonda ham bir qator olimlar— Hamudhanov, Kamalov Abdullabekov va boshqalar tomonidan suv oqimining gidrodinamik xususiyatlari va nasoslarning gidravlik parametrlari batafsil tahlil etilgan. Biroq mahalliy tadqiqotlarda sun'iy intellekt usullarini bevosita boshqarish konturiga kiritish va SCADA bilan integratsiya masalalari yetarlicha o‘rganilmagan. Aynan bu bo‘shliq mazkur tadqiqot ob'ektini belgilab beradi.

Taklif etilayotgan intellektual boshqarish tizimi to‘rt qatlamli arxitekturaga ega: *fizik qatlam* (nasoslar, sensorlar, ijro qiluvchi qurilmalar), *boshqarish qatlami* (PLC, RTU), *SCADA qatlami* (server, HMI, Historian) va *intellektual qatlam* (Edge-Serverda joylashgan LSTM, ANFIS, MPC modullari). Qatlamlararo aloqa OPC UA va MQTT protokollari orqali amalga oshiriladi.

Markazdan qochma nasosning ish xarakteristikasi Q–H egri chizig‘i va o‘xshashlik qonunlari (Affinity Laws) orqali tavsiflanadi:

$$Q_2/Q_1 = r,\ H_2/H_1 = r^2,\ P_2/P_1 = r^3 \qquad (1)$$

bu yerda r = n/n_{nom} — aylanish chastotasi nisbati. Aynan kubik bog‘liqlik o‘zgaruvchan tezlikli boshqaruvning energiya tejash imkoniyatini matematik jihatdan asoslaydi: aylanish chastotasi 10 foizga kamaytirilsa, sarflanadigan quvvat 27,1 foizga kamayadi.

N parallel ishlovchi nasos uchun gidravlik tizimning ish nuqtasi quyidagi yopiq formuladan topiladi:

$$H = (a \cdot H_{st} + k \cdot N^2 \cdot r^2 \cdot H_0) / (a + k \cdot N^2) \qquad (2)$$

ISSN 3030-3907

$$Q_{total} = N \cdot \sqrt{((r^2 \cdot H_0 - H)/a)} \quad (3)$$

bu yerda H_{st} — statik bosim balandligi, k — quvur tarmog‘ining ishqalanish koeffitsienti, a — nasos egri chizig‘i koeffitsienti, H_0 — yopiq zadvijka rejimidagi bosim. Nasos agregatining elektr quvvati esa quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$P_{el} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H / (\eta_{nas} \cdot \eta_{el} \cdot \eta_{VFD}) \quad (4)$$

Intellektual boshqaruv uch komplementar AI moduliga asoslanadi:

1) LSTM — ikki qatlamli stacked arxitektura (128 + 64 birlik), kirish ketma-ketligi 168 soat (7 kun), chiqish 24 soatlik bashorat. Optimizator Adam, yo‘qotish funksiyasi MSE. Kirish belgilari sifatida tarixiy sarflar, vaqt (sin/cos kodlash), harorat va mavsumiy indikatorlar ishlatiladi.

2) ANFIS — LSTM bashorati va joriy nasoslar holatiga qarab qaysi nasoslarni yoqish/o‘chirishni hal qiladi. Gaussian membership funksiyalari va ekspert qoidalari kombinatsiyalashtiriladi. Run-hours balansi orqali nasoslar resursi tenglashtiriladi.

3) MPC — receding horizon printsipi asosida har daqiqada chastotani optimal hisoblaydi. Maqsad funksiyasi:

$$min\ J = \Sigma[w_1 \cdot E(k) + w_2 \cdot (P(k) - P_ref)^2 + w_3 \cdot \Delta u(k)^2] \quad (5)$$

Cheklovlar: $22 \leq n \leq 50$ Hz, Q_total ≥ Q_demand, bosim 4.0 ± 0.3 bar oralig‘ida. Optimizatsiya CasADi kutubxonasi va IPOPT solveri yordamida amalga oshiriladi.

Tadqiqot natijalarini validatsiya qilish maqsadida HTML/JavaScript asosida ishlab chiqilgan brauzer-asosli dasturiy simulyator yaratildi. Simulyator 4 ta parallel ishlovchi markazdan qochma nasos (har biri 25 kVt), 4 bar maqsadli bosim va tipik sug‘orish talab profili (ertalabgi va kechki tig‘iz vaqtlar bilan) sharoitida ishlaydi. Simulyator bir vaqtda PID va AI boshqaruvini parallel hisoblab, ikkala tizimning ko‘rsatkichlarini qiyoslab beradi.

24 soatlik to‘liq sug‘orish tsiklini simulyatsiya qilish natijasida ikkala boshqaruv tizimining energiya iste'moli aniqlandi (1-jadval).

1-jadval.

PID va AI boshqaruv tizimlarining qiyosiy ko‘rsatkichlari (24 soat)

Ko‘rsatkich	PID	AI	Farq
Jami energiya iste'moli, kVt·soat	1124	942	**−16,2%**
O‘rtacha bosim chetga chiqishi, %	8,4	2,1	**−75,0%**

ISSN 3030-3907

Ko‘rsatkich	PID	AI	Farq
Nasos kommutatsiyalari soni	18	11	**−38,9%**
Maksimal bosim ortib ketishi, bar	0,72	0,28	**−61,1%**
LSTM bashorat aniqligi (MAPE), %	—	4,8	—

Natijalardan ko‘rinib turibdiki, AI-asosli boshqaruv klassik PID ga nisbatan barcha asosiy ko‘rsatkichlarda sezilarli ustunlikka ega. Energiya tejash 16,2% ni tashkil etdi — bu Affinity qonunlariga ko‘ra optimal chastotani aniq tanlash va nasoslar sonini proaktiv boshqarish natijasidir. Bosim barqarorligi 4 baravarga yaxshilandi, bu esa quvurlarga gidravlik zarbalarni kamaytirib, infratuzilma resursini uzaytiradi. Kommutatsiyalar sonining qariyb 40 foizga kamayishi nasoslarning mexanik yeyilishini sekinlashtiradi.

Nosozlik holatida moslashish. Simulyator yordamida 4 ta nasosdan bittasi to‘satdan ishdan chiqqan stsenariy o‘tkazildi (2-jadval).

2-jadval.

Nasos nosozligi holatida tizimlarning moslashish dinamikasi

Parametr	PID javobi	AI javobi
Moslashish vaqti, daqiqa	12–15	**1–2**
Bosim vaqtinchalik tushish, bar	0,9–1,2	**0,3–0,4**
Qolgan nasoslarning yuklamasi	Notekis taqsimlangan	**Optimal taqsimlangan**

AI tizim nosozlikni darhol aniqlab (SCADA orqali holat tag‘i yordamida) ANFIS moduli orqali nasoslar sonini va MPC orqali optimal chastotani qayta hisoblab chiqadi. PID esa gisterezis va cooldown mexanizmlarining cheklanganligi tufayli sekinroq moslashadi va bosim sezilarli darajada tushib ketadi.

Iqtisodiy samaradorlik. Olingan natijalar asosida tizimning yillik iqtisodiy samaradorligi hisoblandi. Elektr tarifi 700 UZS/kVt·soat, AI tizim narxi 300 mln UZS (taxminiy) deb qabul qilindi.

3-Jadval.

Tizimning iqtisodiy ko‘rsatkichlari

ISSN 3030-3907

Ko‘rsatkich	Qiymat
Kunlik tejash, kVt·soat	182
Yillik tejash, kVt·soat	66 430
Yillik iqtisodiy samara, mln UZS	**46,5**
Kapital qaytishi (ROI), yil	**≈ 6,5**
CO_2 emissiya kamayishi, t/yil	≈ 33

Bir nasos stansiyasi uchun yillik iqtisodiy samara 46,5 mln so‘mni tashkil etishini hisobga olsak, O‘zbekiston bo‘ylab faoliyat ko‘rsatayotgan minglab nasos stansiyalari ushbu yondashuvni joriy etgan taqdirda umummilliy energiya samaradorligi sezilarli darajada oshishi kutilmoqda. Bundan tashqari, har bir stansiyada yiliga taxminan 33 tonna CO_2 emissiyasining kamayishi mamlakatning yashil iqtisodiyot strategiyasiga ham hissa qo‘shadi.

Tadqiqotda Purdue Enterprise Reference Model (PERA) asosida uch darajali zaxira (fallback) mexanizmi joriy etildi: *normal rejim* (barcha AI modullari faol), *qisman zaxira* (LSTM yoki ANFIS ishlamasa, MPC default profil bilan davom etadi) va *PID fallback* (AI to‘liq ishdan chiqsa, klassik PID avtomatik faollashadi). Bu mexanizm AI tizimning yuqori darajadagi ishonchliligini ta'minlaydi va texnik xizmat ko‘rsatish davrida ham sug‘orish uzilmasligini kafolatlaydi.

XULOSA. Mazkur tadqiqotda sug‘orish nasos stansiyalari uchun sun'iy intellekt (LSTM, ANFIS, MPC) va SCADA infratuzilmasini integratsiyalashtirgan intellektual boshqarish tizimining ilmiy-uslubiy asoslari ishlab chiqildi. Affinity qonunlari va parallel nasos gidravlikasiga asoslangan matematik model, hamda uni real vaqt rejimida sinovdan o‘tkazuvchi dasturiy simulyator yaratildi.

Tadqiqot natijalari taklif etilgan AI-asosli yondashuv klassik PID-boshqaruvga nisbatan quyidagi afzalliklarga ega ekanligini ko‘rsatdi: (i) energiya iste'moli 16,2% ga kamayadi; (ii) bosim barqarorligi 4 baravar yaxshilanadi; (iii) nasos nosozliklariga moslashish vaqti 12–15 daqiqadan 1–2 daqiqaga qisqaradi; (iv) bir nasos stansiyasi uchun yillik iqtisodiy samara 46,5 mln UZS atrofida shakllanadi va tizim taxminan 6,5 yilda o‘zini oqlaydi.

Taklif etilgan tizimning asosiy ilmiy yangiligi — mavjud SCADA infratuzilmasiga bevosita integratsiyalanadigan, mahalliy sharoit xususiyatlariga moslashtirilgan modulli AI arxitekturasi va uning uch darajali zaxira mexanizmi bilan birgalikda ishlatilishidadir. Keyingi tadqiqotlarda tizim laboratoriya

ISSN 3030-3907

stendida sinovdan o‘tkazilib, real nasos stansiyasida pilot tadbiq qilinishi rejalashtirilgan.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Studziński J., Ziółkowski A. Modelling and optimisation of water supply systems // Journal of Hydroinformatics. — 2019. — Vol. 21(3). — P. 510–525.
2. Bhattacharya B., Lobbrecht A.H., Solomatine D.P. Neural networks and reinforcement learning in control of water systems // Journal of Water Resources Planning and Management. — 2003. — Vol. 129(6). — P. 458–465.
3. Zhang K., Wang Q., Wang L., Zhang H., Zhang L., Zhang Y. Short-term water demand forecasting using LSTM neural networks // Water. — 2021. — Vol. 13(5). — Art. 670.
5. Yang R., Liu Y., Singh V.P. Carbon-aware machine learning for water infrastructure management // Environmental Research Letters. — 2023. — Vol. 18(4). — Art. 044016.
6. Khushnud Sapaev, Shukhrat Umarov and Islombek Abdullabekov, E3S Web of Conf. 216, 01150 (2020).
7. Shukhrat Umarov; Khushnud Sapaev; Islombek Abdullabekov; Nargiza Khamudkhanova; Maxamanazar Nazarov AIP Conf. Proc. 2402, 060016 (2021)
8. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 12-noyabrdagi PF-6118-son Farmoni "2020—2030 yillarda O‘zbekiston Respublikasining "yashil" iqtisodiyotga o‘tish strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risida".
9. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory // Neural Computation. — 1997. — Vol. 9(8). — P. 1735–1780.
10. Jang J.-S.R. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. — 1993. — Vol. 23(3). — P. 665–685.
11. Camacho E.F., Bordons C. Model Predictive Control. — 2nd ed. — London: Springer, 2007. — 405 p.
12. OPC Foundation. OPC Unified Architecture Specification, Part 1: Overview and Concepts. Release 1.05. — 2021.

QISHLOQ XO‘JALIGI TIZIMINI OPTIMALLASHTIRISHDA ZAMONAVIY YECHIMLAR

D.R. Ubaydullayeva
Buxoro davlat texnika universiteti dotsenti
G‘ulomova Marjona Nuriddin qizi
Buxoro davlat texnika universiteti tayancha doktoranti

Annotatsiya. Ushbu maqolada agrosanoatni raqamlashtirish zarurati, raqamlashtirish uchun apparat va dasturiy ta'minot tizimlarini yaratish bilan bog‘liq GIS tizimlarining imkoniyatlari va qishloq xo‘jaligi sektorini samarali boshqarishda qo‘llaniladigan mavjud tizimlar muhokama qilinadi Qishloq xo‘jaligida ekinlarni yetishtirishda zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini joriy etishning ahamiyati, resurslardan samarali foydalanish, mehnat unumdorligini oshirish va agrotexnik tadbirlarni amalga oshirishni optimallashtirish imkoniyatlari yoritilgan.

Kalit so‘zlar: raqamli qishloq xo‘jaligi, sun’iy intellekt, Big Data, Smart Map, agrobiznes, raqamli boshqaruv, axborot tizimlari, agrar sektor, optimallashtirish, resurslar samaradorligi, agrotexnologiyalar, GIS, ERP tizimlari.

Abstract. This article discusses the need for digitization of the agro-industry, the capabilities of GIS systems in creating hardware and software systems for digitization, and existing systems used in the effective management of the agricultural sector. The importance of introducing modern information and communication technologies in crop production in agriculture, the possibilities of efficient use of resources, increasing labor productivity, and optimizing the implementation of agrotechnical measures are highlighted.

Keywords: digital agriculture, artificial intelligence, Big Data, Smart Map, agribusiness, digital management, information systems, agricultural sector, optimization, resource efficiency, agrotechnologies, GIS, ERP systems.

Аннотация. В данной статье рассматривается необходимость цифровизации агропромышленного комплекса, возможности ГИС-систем в создании аппаратных и программных систем для цифровизации, а также существующие системы, используемые для эффективного управления сельскохозяйственным сектором. Подчеркивается важность внедрения современных информационно-коммуникационных технологий в растениеводство, возможности эффективного использования ресурсов, повышения производительности труда и оптимизации реализации агротехнических мероприятий.

Ключевые слова: цифровое сельское хозяйство, искусственный интеллект, большие данные, интеллектуальная карта, агробизнес, цифровое управление, информационные системы, сельскохозяйственный сектор, оптимизация, ресурсоэффективность, агротехнологии, ГИС, ERP-системы.

KIRISH.

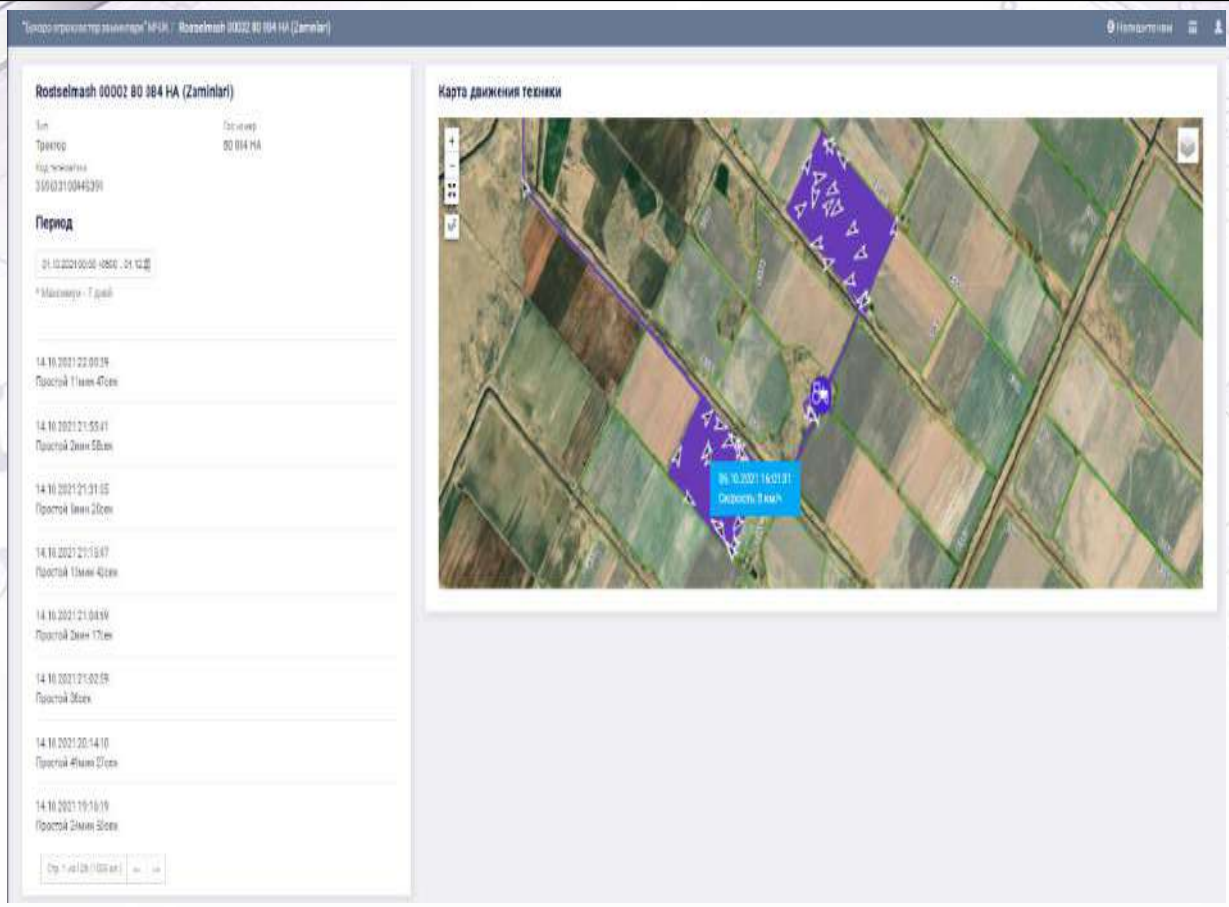
Bugungi kunda qishloq xo‘jaligi ekinlarni yetishtirishda raqamli modellar asosida qurilgan zamonaviy boshqaruv texnologiyalaridan foydalanish O‘zbekiston agrar sektorining muhim va ajralmas qismiga aylanib bormoqda. Mamlakatda amalga oshirilayotgan raqamlashtirish siyosati doirasida qishloq xo‘jaligida zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalari, platforma yechimlari hamda sun’iy intellektga asoslangan boshqaruv tizimlarini joriy etish ustuvor yo‘nalish sifatida belgilangan. Bu esa tarmoqda texnologik rivojlanishni jadallashtirish va mehnat unumdorligini oshirish imkonini beradi.

Buxoro Agroklasterda raqamli texnologiyalarni joriy etishda yetakchilar qatorida ishlab chiqarish jarayonlarini boshqarishda ERP tizimlari, geoaxborot tizimlari (GIS) va sun’iy intellekt asosidagi platformalardan foydalanmoqda. Ushbu tizimlar orqali resurslarni rejalashtirish, ish jarayonlarini muvofiqlashtirish va ishlab chiqarish samaradorligini oshirish imkoniyati yaratiladi.

Qishloq xo‘jaligi korxonalarida sun’iy yo‘ldoshlar, meteorologik stansiyalar, dala sensorlari va aqlli qurilmalardan olingan katta hajmdagi ma’lumotlar (Big Data) yig‘iladi. Ushbu ma’lumotlar ekinlarning rivojlanish dinamikasi, tuproq unumdorligi, agrotexnik tadbirlar samaradorligi, ob-havo sharoitlari hamda texnikalarning ishlash holatini tavsiflaydi. Sun’iy intellekt algoritmlari yordamida ushbu ma’lumotlar chuqur tahlil qilinib, ishlab chiqarish dasturlarini optimallashtirish va boshqaruv qarorlarini takomillashtirish uchun foydalaniladi.

Real vaqt rejimida monitoring va tahlil tizimlari qishloq xo‘jaligi ishlab chiqaruvchilari uchun alohida ahamiyatga ega. Bunday tizimlar yordamida dala ishlari, texnika harakati, yoqilg‘i sarfi va texnik nosozliklar tezkor aniqlanadi hamda bartaraf etiladi. Natijada mehnat unumdorligini sezilarli darajada oshirish, moddiy resurslarni tejash va hosildorlikni 10–20 foizgacha ko‘paytirish imkoniyati yuzaga keladi. (1-rasm)

ISSN 3030-3907

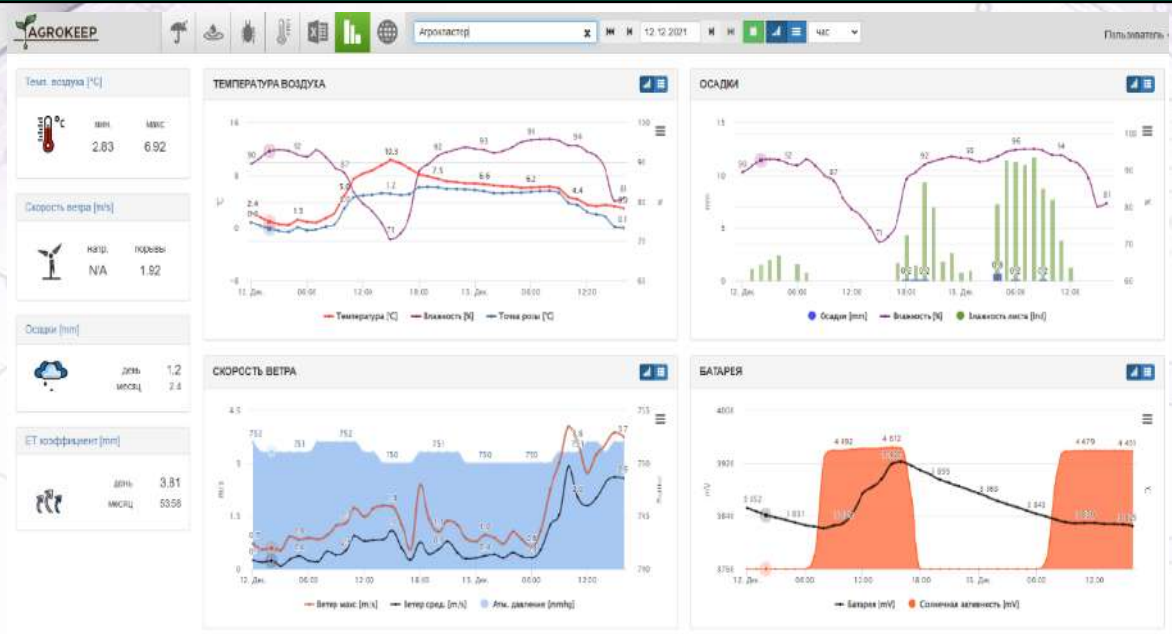


1-rasm Smart Map tizimida agrotexnik tadbirlarni kuzatish moduli

Raqamli monitoring tizimlari qishloq xo‘jaligi texnikalarining harakatini optimallashtirish, ularning texnik holatini nazorat qilish hamda yoqilg‘i sarfini 25–30 foizgacha kamaytirishga xizmat qiladi. Yuqori aniqlikdagi sensorlar, meteorologik kuzatuv vositalari va masofadan zondlash texnologiyalari yordamida olinadigan ma’lumotlar Big Data texnologiyalari orqali qayta ishlanib, aniq prognozlar shakllantiriladi.

Agrokeep dasturi sun’iy intellekt asosida ob-havo sharoitlarini prognozlash, tuproq unumdorligini baholash, ekinlarning rivojlanish bosqichlarini aniqlash va ishlab chiqarish samaradorligini boshqarish imkonini beradi. Shu bilan birga, bulutli texnologiyalar asosida yaratilgan platformalar orqali turli xo‘jaliklar o‘rtasida ma’lumot almashinuvi yo‘lga qo‘yilib, yagona raqamli ekotizim shakllantiriladi.

ISSN 3030-3907



2-rasm. Agrokeep dasturi ob-havo sharoitlarini prognozlash

Dunyoda innovatsiyalarni joriy etish sur'ati jadallashib borayotgan bir paytda O'zbekiston qishloq xo'jaligi ham raqamli transformatsiyaning faol bosqichiga kirib bormoqda. Katta ma'lumotlar (Big Data), bulutli texnologiyalar, arzon sensorlar, mobil internet, sun'iy intellekt va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari yordamida qishloq xo'jaligida ishlab chiqarish, saqlash, tashish, qayta ishlash va sotish jarayonlarini samarali tashkil etish hamda optimallashtirish imkoniyati paydo bo'lmoqda.

Qishloq xo'jaligida boshqaruvni raqamlashtirish mazkur jarayonlarni eng kam xarajat va eng yuqori samaradorlik asosida tashkil etishga xizmat qiladi. Bu esa inson omili ta'sirini kamaytiradi, mahsulot sifati va raqobatbardoshligini oshiradi, shuningdek eksport imkoniyatlarini kengaytiradi.

Shu bois, yuqori intellektual texnologiyalarga ega texnika va uskunalarni joriy etish, turli IT-yechimlarni yagona boshqaruv tizimiga integratsiya qilish, agrar tarmoqda raqamli infratuzilmani rivojlantirish bugungi kunning muhim vazifalaridan biri hisoblanadi.

Mazkur maqolada paxta xom ashyosi yetishtirish tizimini optimallashtirishning nazariy va amaliy jihatlari tizimli tahlil asosida yoritiladi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Tadqiqotda quyidagi ilmiy usullardan foydalanildi:

- tizimli tahlil usuli;
- iqtisodiy-statistik tahlil;
- taqqoslash va guruhlash usuli;
- optimallashtirish modellari;
- ekspert baholash;
- raqamli monitoring va prognozlash usullari.

ISSN 3030-3907

Tizimli tahlil usuli paxta yetishtirish jarayonining barcha tarkibiy qismlarini yagona boshqaruv tizimi sifatida ko‘rib chiqish imkonini beradi. Bu usul orqali kiruvchi resurslar, ichki jarayonlar va yakuniy natijalar o‘rtasidagi bog‘liqlik aniqlanadi.

Paxta yetishtirish tizimi murakkab ko‘p bosqichli ishlab chiqarish tizimi bo‘lib, quyidagi asosiy elementlardan iborat:

1. Yer resurslarini boshqarish

Tuproq unumdorligini saqlash va oshirish paxtachilik samaradorligining asosiy omillaridan biridir. Yer monitoringi, agroximik tahlil, sho‘rlanish darajasini aniqlash va meliorativ holatni nazorat qilish tizimning muhim tarkibiy qismidir.

2. Urug‘lik materialini tanlash

Sertifikatlangan, yuqori hosildor va kasalliklarga chidamli navlardan foydalanish hosildorlikka bevosita ta’sir qiladi. Urug‘ sifati nazorati raqamli kuzatuv tizimlari orqali olib borilishi lozim.

3. Sug‘orish tizimi

Suv resurslaridan oqilona foydalanish ayniqsa muhimdir. Tomchilatib sug‘orish, sensorli monitoring va namlik nazorati texnologiyalari suv sarfini sezilarli kamaytiradi.

4. O‘g‘itlash va himoya tadbirlari

Mineral va organik o‘g‘itlarni me’yor asosida qo‘llash, zararkunanda va kasalliklarga qarshi aniq muddatlarda ishlov berish ishlab chiqarish samaradorligini oshiradi.

5. Hosil yig‘ish va logistika

Hosilni qisqa muddatda va sifat yo‘qotmasdan yig‘ib olish hamda qayta ishlash korxonalariga yetkazish muhim iqtisodiy omil hisoblanadi.

XULOSA. Agro.smart-map dasturi qishloq xo‘jaligi yerlarini raqamli masofaviy monitoring qilish sxemasini amalga oshiradi, bu esa ekin maydonlarining holatini onlayn kuzatish, agrotexnik tadbirlarni rejalashtirish, dalalarda ishlaydigan uskunalarni kuzatish va dalalarni jurnal fayllarida saqlash imkonini beradi. Tizimning maqsadi qishloq xo‘jaligi sektorini raqamlashtirish asosida inson omilining ta’sirini kamaytirishdir. Natijada, avtomatlashtirilgan tizimlardan foydalanishda har bir ekin va maydonlar uchun ekish jarayonlari va ekinlarning vegetativ o‘sishi ustidan nazorat, agrotexnik tadbirlarni amalga oshirish ta’minlanadi, uskunalarni monitoring qilish, o‘g‘itlash va hosildorlikni prognoz qilish amalga oshiriladi. Natijada, dala va ekinlarning avvalgi va hozirgi holati haqida batafsil ma’lumotlar yaratiladi.

ISSN 3030-3907

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Р.В. Ковин, Н.Г. Марков. Геоинформационные системы. Томск. Издательство: Томский политехнический университет. 2008 г. 175 с.
2. Л.П. Карчагина. Географические и земельно-информационные системы. Учебное пособие. Майкоп, 2016. – 151 с.
3. Исмойилов Х. Б. Стили сайтов в веб-дизайне //Современные материалы, техника и технологии. – 2018. – №. 2 (17).
4. Гуляев Р. А., Ибрагимов У. М., Исмойилов Ҳ. Б. Элементы автоматизации как помощники цифровизации агропромышленности //Science and Education. – 2023. – Т. 4. – №. 3. – С. 282-287.
5. The use of BIG DATA processing in a digitalized agro-industry system.R.A. Gulyaev, U.M. Ibragimov, HB Ismoyilov- OF APPLIED SCIENCE AND TECHNOLOGY. ISSN, 2022

MAKTABGACHA TA’LIM TIZIMIDA OTA-ONALAR BILAN INTERFAOL HAMKORLIKNI RIVOJLANTIRISHNING XORIJIY TAJRIBASI

Ganiyeva Vaziraxon Yusufovna
Qo‘qon davlat universiteti doktoranti

Annotatsiya. Mazkur maqolada maktabgacha ta’lim tizimida ota-onalar bilan interfaol hamkorlikni rivojlantirishning pedagogik ahamiyati hamda xorijiy davlatlar tajribasi tahlil qilingan. Tadqiqot davomida Finlyandiya, Yaponiya, Janubiy Koreya va Singapur davlatlarida maktabgacha ta’lim tashkilotlari hamda ota-onalar o‘rtasidagi hamkorlik mexanizmlari o‘rganildi. Interfaol hamkorlikning zamonaviy shakllari, jumladan, raqamli platformalar, treninglar, ota-onalar klublari va individual pedagogik maslahatlarning samaradorligi yoritildi. Shuningdek, xorij tajribasi asosida O‘zbekiston maktabgacha ta’lim tizimida qo‘llash mumkin bo‘lgan tavsiyalar ishlab chiqildi.

Kalit so‘zlar: maktabgacha ta’lim, ota-onalar bilan hamkorlik, interfaol metodlar, xorij tajribasi, pedagogik jarayon, ta’lim sifati, oilaviy tarbiya, innovatsion yondashuv.

Аннотация. В данной статье проанализированы педагогическое значение развития интерактивного сотрудничества с родителями в системе дошкольного образования, а также опыт зарубежных стран. В ходе исследования были изучены механизмы взаимодействия между организациями дошкольного образования и родителями в Финляндии, Японии, Южной Корее и Сингапуре. Освещены современные формы интерактивного сотрудничества, в частности эффективность цифровых платформ, тренингов, родительских клубов и индивидуальных педагогических консультаций. Кроме того, на основе зарубежного опыта разработаны рекомендации, которые могут быть применены в системе дошкольного образования Узбекистана.

Ключевые слова: дошкольное образование, сотрудничество с родителями, интерактивные методы, зарубежный опыт, педагогический процесс, качество образования, семейное воспитание, инновационный подход.

Abstract. This article analyzes the pedagogical significance of developing interactive cooperation with parents in the preschool education system and examines the experience of foreign countries in this field. During the research, the mechanisms of cooperation between preschool educational institutions and parents in Finland, Japan, South Korea, and Singapore were studied. Modern forms of interactive collaboration, including digital platforms, training programs, parent clubs, and individual pedagogical consultations, were highlighted in terms of their effectiveness. Furthermore, based on foreign experience,

recommendations for improving parent–preschool cooperation in the preschool education system of Uzbekistan were developed.

Keywords: preschool education, parent cooperation, interactive methods, foreign experience, pedagogical process, quality of education, family upbringing, innovative approach.

KIRISH.

Bugungi kunda maktabgacha ta’lim tizimini takomillashtirish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Bolaning ilk rivojlanish bosqichida ta’lim tashkiloti va oilaning o‘zaro hamkorligi uning intellektual, ijtimoiy hamda ma’naviy rivojlanishida muhim omil bo‘lib xizmat qiladi. Ayniqsa, ota-onalar bilan interfaol hamkorlikni yo‘lga qo‘yish ta’lim sifati va pedagogik jarayon samaradorligini oshirishda katta ahamiyat kasb etadi.

Rivojlangan davlatlar tajribasi shuni ko‘rsatadiki, maktabgacha ta’lim tashkilotlarida ota-onalarni pedagogik jarayonning faol subyekti sifatida jalb qilish bolalarning rivojlanish ko‘rsatkichlarini sezilarli darajada yaxshilaydi. Shu sababli xorij tajribasini o‘rganish va milliy tizimga moslashtirish dolzarb masala hisoblanadi.

Mazkur maqolaning maqsadi maktabgacha ta’lim tizimida ota-onalar bilan interfaol hamkorlikni rivojlantirish bo‘yicha xorijiy tajribalarni tahlil qilish hamda ularni milliy amaliyotga tatbiq etish imkoniyatlarini aniqlashdan iborat.

TADQIQOT METODOLOGIYASI. Mazkur tadqiqotda maktabgacha ta’lim tizimida ota-onalar bilan interfaol hamkorlikni rivojlantirishning xorijiy tajribalarini o‘rganish hamda ularni milliy pedagogik amaliyot bilan qiyosiy tahlil qilish maqsadida kompleks metodologik yondashuvdan foydalanildi. Tadqiqot jarayoni sifat va mazmun jihatidan bir-birini to‘ldiruvchi nazariy hamda empirik metodlarga asoslandi.

Tadqiqotning nazariy asosini maktabgacha pedagogika, oilaviy tarbiya, pedagogik kommunikatsiya va innovatsion ta’lim texnologiyalariga oid ilmiy manbalar tashkil etdi. Xususan, UNESCO, UNICEF, OECD kabi xalqaro tashkilotlarning maktabgacha ta’limga oid hisobotlari, Finlyandiya, Yaponiya, Janubiy Koreya hamda Singapur davlatlarining maktabgacha ta’lim siyosati bo‘yicha ilmiy maqolalar, me’yoriy hujjatlar va statistik ma’lumotlari tahlil qilindi.

Tadqiqot davomida quyidagi metodlardan foydalanildi: Ilmiy-pedagogik adabiyotlarni tahlil qilish metodi. Mazkur metod orqali maktabgacha ta’lim tizimida ota-onalar bilan hamkorlikning nazariy asoslari o‘rganildi. O‘zbekiston va xorij olimlarining ilmiy ishlari, dissertatsiyalari, monografiyalari hamda ilmiy jurnallardagi maqolalari tahlil qilinib, interfaol hamkorlikning pedagogik mohiyati aniqlandi. Shuningdek, “oila–bog‘cha–jamiyat” hamkorligi modeli

ISSN 3030-3907

hamda uning bolalar rivojlanishiga ta’siri bo‘yicha mavjud ilmiy qarashlar umumlashtirildi.

Qiyosiy-tahliliy metod. Qiyosiy tahlil asosida Finlyandiya, Yaponiya, Janubiy Koreya va Singapur maktabgacha ta’lim tizimlaridagi ota-onalar bilan hamkorlik shakllari o‘zaro solishtirildi. Tahlil jarayonida quyidagi mezonlarga alohida e’tibor qaratildi: ota-onalarni pedagogik jarayonga jalb qilish darajasi; pedagog va ota-onalar o‘rtasidagi kommunikatsiya vositalari; raqamli texnologiyalardan foydalanish holati; oilaviy pedagogik maslahat tizimi; ota-onalar uchun seminar va treninglar tashkil etilishi; bolalarning rivojlanishini monitoring qilish mexanizmlari.

Masalan, Finlyandiyada “individual rivojlanish rejasi” asosida ota-onalar bilan hamkorlik olib borilishi, Janubiy Koreyada esa mobil ilovalar va elektron platformalar orqali kundalik aloqa tizimi yo‘lga qo‘yilgani tahlil qilindi. Singapur tajribasida ota-onalar uchun pedagogik treninglarning muntazam tashkil etilishi, Yaponiyada esa jamoaviy tarbiyaviy tadbirlarning ustuvorligi o‘rganildi.

Kuzatish metodi. Tadqiqot jarayonida maktabgacha ta’lim tashkilotlarida ota-onalar bilan olib borilayotgan amaliy hamkorlik shakllari kuzatildi. Kuzatish davomida ota-onalar yig‘ilishlari, ochiq mashg‘ulotlar, pedagogik suhbatlar, interfaol treninglar hamda bolalarning oilaviy faoliyatga jalb etilish jarayonlari tahlil qilindi. Mazkur metod orqali ota-onalarning pedagogik jarayondagi ishtirok darajasi va motivatsion omillari aniqlandi.

Umumlashtirish metodi. Tadqiqot natijalari umumlashtirilib, xorijiy tajribalarning eng samarali jihatlari ajratib olindi. Olingan ma’lumotlar asosida O‘zbekiston maktabgacha ta’lim tizimida qo‘llash mumkin bo‘lgan metodik tavsiyalar ishlab chiqildi. Jumladan: ota-onalar bilan elektron hamkorlik platformalarini yaratish; “ota-onalar universiteti” modelini joriy etish; oilaviy pedagogik konsultatsiyalarni rivojlantirish; interfaol seminar-treninglarni tizimli tashkil etish kabi yo‘nalishlar tavsiya etildi.

Tadqiqotning empirik bazasini xalqaro tashkilotlar hisobotlari, xorijiy ilmiy maqolalar, maktabgacha ta’lim tashkilotlari faoliyatiga oid statistik ma’lumotlar hamda zamonaviy pedagogik tajribalar tashkil etdi. Tadqiqot davomida 30 dan ortiq ilmiy manba, jumladan, OECD’ning “Starting Strong”, UNESCO‘ning “Early Childhood Care and Education” hisobotlari hamda Janubiy Koreya va Finlyandiya maktabgacha ta’lim tizimiga oid ilmiy maqolalar tahlil qilindi.

Mazkur metodologik yondashuv tadqiqot mavzusini har tomonlama o‘rganish, xorijiy tajribalarni chuqur tahlil qilish hamda amaliy tavsiyalar ishlab chiqish imkonini berdi.

ISSN 3030-3907

NATIJALAR. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, rivojlangan davlatlarda maktabgacha ta’lim tizimida ota-onalar bilan interfaol hamkorlikni tashkil etish pedagogik jarayonning muhim tarkibiy qismi sifatida qaraladi. Tahlil qilingan mamlakatlarda ota-onalar faqatgina kuzatuvchi emas, balki ta’lim-tarbiya jarayonining faol ishtirokchisi sifatida jalb etiladi. Ayniqsa, pedagog va oila o‘rtasidagi muntazam kommunikatsiya, raqamli texnologiyalar, treninglar hamda individual yondashuv asosida tashkil etilgan hamkorlik bolalarning har tomonlama rivojlanishiga ijobiy ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi.

Finlyandiya tajribasi. Finlyandiya maktabgacha ta’lim tizimi dunyodagi eng ilg‘or va insonparvar ta’lim modellaridan biri hisoblanadi. Ushbu mamlakatda ota-onalar pedagogik jarayonning teng huquqli hamkori sifatida e’tirof etiladi. Har bir bola uchun “Individual rivojlanish rejasi” (Individual Learning Plan) ishlab chiqiladi va bu jarayonda ota-onalarning fikri alohida ahamiyat kasb etadi.

Tadqiqot davomida aniqlanishicha, Finlyandiya maktabgacha ta’lim tashkilotlarida:

- pedagoglar va ota-onalar o‘rtasida haftalik elektron muloqot olib boriladi;
- bolaning rivojlanish xaritasi muntazam yangilanadi;
- ota-onalar bolalarning qiziqishlari, psixologik holati va qobiliyatlari haqida pedagoglarga ma’lumot beradi;
- pedagoglar esa bolaning bog‘chadagi faolligi bo‘yicha tavsiyalar taqdim etadi.

Shuningdek, “yumshoq adaptatsiya” modeli asosida ota-onalar bolaning dastlabki kunlarida bog‘cha faoliyatida birgalikda qatnashadi. Bu esa bolalarning yangi muhitga tez moslashishiga yordam beradi.

Finlyandiya tajribasining muhim jihatlaridan biri — pedagogik jarayonda ishonch va ochiq muloqot muhitining shakllanganligidir. Natijada:

- bolalarda emotsional barqarorlik kuchayadi;
- mustaqil fikrlash ko‘nikmalari rivojlanadi;
- ota-onalarning ta’limga nisbatan mas’uliyati ortadi.

Yaponiya tajribasi. Yaponiya maktabgacha ta’lim tizimida “oila va bog‘cha hamkorligi” konsepsiyasi muhim pedagogik tamoyil hisoblanadi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, yapon bog‘chalarida ota-onalar bolalarning kundalik tarbiyaviy faoliyatiga faol jalb qilinadi.

Xususan:

- ota-onalar bilan “ochiq eshik kunlari” tashkil etiladi;
- oilaviy sport musobaqalari va milliy bayramlar birgalikda o‘tkaziladi;
- bolalar va ota-onalar ishtirokida ekologik loyihalar amalga oshiriladi;
- “birgalikdagi mehnat faoliyati” orqali bolalarda jamoaviylik tarbiyalanadi.

ISSN 3030-3907

Yaponiyada tarbiya jarayonida intizom, jamoaga moslashish va o‘zaro hurmat alohida o‘rin tutadi. Shu sababli ota-onalar ham pedagogik talablarni uy sharoitida davom ettiradi.

Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, Yaponiyada ota-onalar bilan hamkorlik:

- bolalarda ijtimoiy mas’uliyat hissini rivojlantiradi;
- jamoada ishlash ko‘nikmalarini shakllantiradi;
- milliy qadriyatlarga hurmatni kuchaytiradi;
- oilaviy tarbiya va institutsional tarbiya uyg‘unligini ta’minlaydi.

Janubiy Koreya tajribasi. Janubiy Koreyada maktabgacha ta’lim tizimi yuqori darajada raqamlashtirilganligi bilan ajralib turadi. Tadqiqot davomida aniqlanishicha, ota-onalar bilan interfaol hamkorlik asosan elektron platformalar va mobil ilovalar orqali amalga oshiriladi.

Ko‘pgina maktabgacha ta’lim tashkilotlarida:

- bolaning kunlik faoliyati mobil ilova orqali ota-onalarga yuboriladi;
- ovqatlanish, uyqu va sog‘liq holati haqida elektron hisobot beriladi;
- bolaning ijodiy ishlari va mashg‘ulotlardagi faolligi fotosurat va videolar orqali namoyish etiladi;
- ota-onalar pedagoglarga onlayn tarzda murojaat qilish imkoniyatiga ega bo‘ladi.

Shuningdek, Janubiy Koreyada “aqlli bog‘cha” modeli keng rivojlangan bo‘lib, bunda raqamli texnologiyalar orqali pedagogik monitoring olib boriladi.

Tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki:

- raqamli aloqa ota-onalarning pedagogik jarayonga qiziqishini oshiradi;
- pedagog va oila o‘rtasidagi aloqa tezkorligini ta’minlaydi;
- bolalarning rivojlanishini muntazam nazorat qilish imkonini beradi;
- ta’lim jarayonining ochiqligi va shaffofligini kuchaytiradi.

Singapur tajribasi. Singapur maktabgacha ta’lim tizimida ota-onalarning pedagogik savodxonligini oshirish ustuvor yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Tadqiqot davomida aniqlanishicha, maktabgacha ta’lim tashkilotlarida ota-onalar uchun muntazam seminar, trening va mahorat darslari tashkil etiladi.

Mazkur treninglarda: bolalar psixologiyasi; ijobiy tarbiya metodlari; nutq rivojlantirish usullari; raqamli xavfsizlik; sog‘lom turmush tarzi; STEAM elementlari asosida uy sharoitida rivojlantiruvchi faoliyat tashkil etish bo‘yicha tavsiyalar beriladi.

Bundan tashqari, Singapurda “Family Support Program” dasturi asosida ota-onalarga individual pedagogik va psixologik konsultatsiyalar ham ko‘rsatiladi.

Natijalar shuni ko‘rsatdiki: ota-onalarning pedagogik kompetensiyasi oshadi; oilaviy muhitdagi tarbiya sifati yaxshilanadi; bolalarning nutqiy va ijodiy

ISSN 3030-3907

rivojlanishi tezlashadi; pedagog va ota-onalar o‘rtasida samarali hamkorlik muhiti shakllanadi.

Tadqiqot yakunida xorijiy tajribalar asosida ota-onalar bilan interfaol hamkorlikning quyidagi samarali mexanizmlari aniqlandi: muntazam pedagogik muloqot; raqamli texnologiyalar asosidagi hamkorlik; ota-onalar uchun trening va seminarlar; individual rivojlanish monitoringi; oilaviy loyihalar va amaliy tadbirlar; pedagogik maslahat va konsultatsiyalar tizimi.

Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, interfaol hamkorlikning samarali tashkil etilishi: bolalarning ijtimoiy moslashuvini yaxshilaydi; emotsional barqarorlikni shakllantiradi; pedagogik jarayon samaradorligini oshiradi; ota-onalarning ta’lim jarayonidagi mas’uliyatini kuchaytiradi; bolalarda mustaqillik va kommunikativ ko‘nikmalarni rivojlantiradi; ta’lim tashkiloti va oila o‘rtasidagi ishonchni mustahkamlaydi; oilaviy tarbiya va institutsional ta’lim uyg‘unligini ta’minlaydi.

Shu bilan birga, tadqiqot natijalari xorijiy tajribalarni milliy maktabgacha ta’lim tizimiga moslashtirish orqali ta’lim sifatini yanada oshirish imkoniyati mavjudligini ko‘rsatdi.

Muhokama. Maktabgacha ta’lim tizimida ota-onalar bilan hamkorlikni rivojlantirish bugungi globallashuv sharoitida muhim pedagogik ehtiyojga aylanmoqda. Xorijiy tajribalar shuni ko‘rsatadiki, interfaol hamkorlikning muvaffaqiyati pedagoglarning kommunikativ kompetensiyasi hamda innovatsion texnologiyalarni qo‘llash darajasiga bog‘liq.

O‘zbekiston maktabgacha ta’lim tizimida ham ota-onalar bilan hamkorlikni rivojlantirish bo‘yicha qator ishlar amalga oshirilmoqda. Biroq ayrim hududlarda ota-onalarning pedagogik jarayondagi faolligi yetarli emasligi kuzatiladi. Shu sababli xorij tajribasi asosida: raqamli aloqa platformalarini keng joriy etish; ota-onalar universitetlarini tashkil etish; interfaol seminar-treninglarni ko‘paytirish; oilaviy pedagogika bo‘yicha maslahat xizmatlarini rivojlantirish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Xulosa qilib aytganda, maktabgacha ta’lim tizimida ota-onalar bilan interfaol hamkorlikni rivojlantirish ta’lim sifatini oshirishning muhim omillaridan biridir. Xorijiy davlatlar tajribasi ota-onalarni pedagogik jarayonning faol ishtirokchisiga aylantirish bolalarning har tomonlama rivojlanishiga ijobiy ta’sir ko‘rsatishini tasdiqlaydi. Shu bois O‘zbekiston maktabgacha ta’lim tizimida ham zamonaviy interfaol hamkorlik shakllarini joriy etish, pedagoglarning innovatsion faoliyatini qo‘llab-quvvatlash hamda ota-onalarning pedagogik madaniyatini oshirish zarur hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasining “Maktabgacha ta’lim va tarbiya to‘g‘risida”gi Qonuni. – Toshkent, 2019.

ISSN 3030-3907

2. UNESCO. *Early Childhood Care and Education Global Report*. – Paris: UNESCO Publishing, 2022.
3. OECD. *Starting Strong: Early Childhood Education and Care*. – Paris: OECD Publishing, 2021.
4. UNICEF. *Early Childhood Development Annual Report*. – New York, 2021.
5. Qodirova F.R. *Maktabgacha pedagogika*. – Toshkent: Tafakkur, 2020.
6. Ishmuhamedov R., Abduqodirov A. *Innovatsion pedagogik texnologiyalar*. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2019.
7. Hasanboyeva O.U. *Oilaviy pedagogika asoslari*. – Toshkent: O‘qituvchi, 2021.
8. Sahlberg P. *Finnish Early Childhood Education and Care*. – Helsinki: Finnish Ministry of Education, 2020.
9. Kim J. Parent Involvement in Early Childhood Education in South Korea // *International Journal of Education*. – 2021. – Vol. 13. – №4. – P. 45–53.
10. Yamamoto Y. Family and Preschool Collaboration in Japan // *Asian Education Studies*. – Tokyo, 2020. – P. 33–41.
11. Tan C. Early Childhood Education and Parent Partnership in Singapore // *International Review of Education*. – Singapore, 2021. – Vol. 67. – №2. – P. 118–126.
12. Bronfenbrenner U. *The Ecology of Human Development*. – Harvard University Press, 1979.
13. Epstein J.L. *School, Family and Community Partnerships*. – New York: Routledge, 2018.
14. Karimova V.M. *Oila psixologiyasi*. – Toshkent: Fan, 2019.
15. European Commission. *Key Data on Early Childhood Education and Care in Europe*. – Brussels, 2022.
16. OECD Education Working Papers. *Family Engagement in Early Childhood Education*. – Paris, 2023.

ISSN 3030-3907

КОНЧИЛИК КОРХОНАЛАРИДА ЮҚОРИ ГАРМОНИКЛАРНИ БАРТАРАФ ЭТИШГА АСОСЛАНГАН ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ ТИЗИМИНИНГ ТАКОМИЛЛАШТИРИЛГАН АЛМАШТИРИШ СХЕМАСИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ

Товбаев Акрам Нурмонович
Навоий давлат кончилик ва технологиялар университети, в.профессор;
E-mail: tovboyev70@mail.ru
Бойназаров Ғайрат Ғуломович
Навоий давлат кончилик ва технологиялар университети, катта ўқитувчи;
E-mail: boynazarovg@inbox.ru
Тоғаев Ислом Бекпўлат ўғли
Навоий давлат кончилик ва технологиялар университети, катта ўқитувчи;
E-mail: togayev.islom@mail.ru
Рамазонов Баҳодир Ғолиб ўғли
Навоий давлат кончилик ва технологиялар университети, ассистент;
E-mail: bahodirmagistr2021@gmail.com

Аннотация. Мазкур мақолада кончилик корхоналари электр таъминоти тизимида юқори гармоникалар таъсирини бартараф этишга қаратилган такомиллаштирилган алмаштириш схемасини ишлаб чиқиш масалалари кўриб чиқилади. Кончилик саноатида қўлланиладиган частота ўзгартиргичлар, тиристорли бошқарув қурилмалари, кучли электр юритмалар, конвейер тизимлари, насос ва компрессор агрегатлари электр тармоғида ток ва кучланиш шаклининг носинусоидал бузилишига сабаб бўлади. Бу эса қўшимча актив қувват исрофлари, трансформатор ва кабель линияларининг қизиши, реактив қувват сарфининг ортиши ҳамда электр энергияси сифати кўрсаткичларининг пасайишига олиб келади. Мақолада юқори гармоникаларнинг электр таъминоти элементларига таъсирини баҳолаш, уларни алмаштириш схемаси параметрлари орқали ифодалаш ва фильтр-компенсация қурилмаларини ҳисобга олган ҳолда такомиллаштирилган моделни шакллантириш ёндашуви асосланади. Таклиф этилган схема кончилик корхоналари электр тармоқларида гармоник бузилишларни камайтириш, қувват коэффициентини яхшилаш, кучланиш барқарорлигини ошириш ва энергия исрофларини пасайтириш учун амалий аҳамиятга эга

Калит сўзлар: кончилик корхонаси, юқори гармоникалар, электр таъминоти тизими, алмаштириш схемаси, носинусоидал режим, реактив

қувват, фильтр-компенсация қурилмаси, қувват коэффициенти, электр энергияси сифати, энергия исрофлари.

Аннотация. В данной статье рассматривается разработка усовершенствованной схемы замещения системы электроснабжения горнодобывающих предприятий, основанной на устранении высших гармоник. В горной промышленности применение частотных преобразователей, тиристорных устройств управления, мощных электроприводов, конвейерных систем, насосных и компрессорных агрегатов приводит к несинусоидальным искажениям формы тока и напряжения в электрической сети. Это вызывает дополнительные потери активной мощности, нагрев трансформаторов и кабельных линий, увеличение потребления реактивной мощности и снижение показателей качества электрической энергии. В статье обосновывается подход к оценке влияния высших гармоник на элементы системы электроснабжения, представлению их через параметры схемы замещения и формированию усовершенствованной модели с учетом фильтр компенсирующих устройств. Предлагаемая схема имеет практическое значение для снижения гармонических искажений, повышения коэффициента мощности, стабилизации напряжения и уменьшения потерь электрической энергии в электрических сетях горнодобывающих предприятий.

Ключевые слова: горнодобывающее предприятие, высшие гармоники, система электроснабжения, схема замещения, несинусоидальный режим, реактивная мощность, фильтр компенсирующее устройство, коэффициент мощности, качество электрической энергии, потери электроэнергии.

Abstract. This article discusses the development of an improved equivalent circuit of the power supply system of mining enterprises based on the elimination of higher harmonics. In the mining industry, the use of frequency converters, thyristor-based control devices, high-power electric drives, conveyor systems, pumping units, and compressor equipment causes nonsinusoidal distortion of current and voltage waveforms in electrical networks. These distortions lead to additional active power losses, overheating of transformers and cable lines, increased reactive power consumption, and deterioration of power quality indicators. The article substantiates an approach for assessing the impact of higher harmonics on power supply system elements, representing these effects through equivalent circuit parameters, and forming an improved model that includes filter-compensation devices. The proposed scheme is of practical importance for reducing harmonic distortion, improving the power factor, stabilizing voltage, and decreasing electrical energy losses in mining enterprise power networks.

ISSN 3030-3907

Keywords: mining enterprise, higher harmonics, power supply system, equivalent circuit, nonsinusoidal mode, reactive power, filter-compensation device, power factor, power quality, electrical energy losses.

КИРИШ.

Изланишлар олиб борилган кончилик корхонасининг электр энергияси истеъмолчиларининг асосий қисми актив юкламадан ташқари, индуктив юкламадан ҳам иборат бўлиб, электр энергияси истеъмолчиларининг табиий хусусиятига қараб корхона реактив юкламаси актив юкламасига нисбатан 130% ортиқ бўлиши мумкин [1-6]. Асосан феррорезонанс ҳолати пайтида занжирнинг бир қисми индуктив қаршилиги бошқа қисмнинг сиғим қаршилиги билан қопланади. Феррорезонанс режими юзага келишининг асосий резонанс шарти қуйидагича ифодаланади:

$$\omega_{gU} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad (1)$$

бу ерда ω_{gU} – феррорезонанс бурчак частотаси, L, C – кўриб чиқилаётган тармоқ тармоқ участкасининг эквивалент индуктивлиги ва сиғими [1, 2]. Агар қуйидаги шарт бажарилса, занжирда феррорезонанс шароитида реактив элементлар (индуктивлик ва сиғим) қисқичларидаги кучланиш тармоқ кучланишидан каттароқ бўлиш мумкин:

$$r < \omega_{gU} L = \frac{1}{\omega_{gU} C} = \rho. \qquad (2)$$

Тўлқин қаршилигининг ρ актив r қаршиликка нисбати феррорезонанс частотасида ω_{gU} реактив элементлардаги кучланишнинг қанча марта ортишини баҳолаш имконини беради. Ушбу ошиш даражаси ўлчовсиз коэффициент q орқали ифодаланади:

$$q = \frac{\rho}{r} = \frac{\omega_{gU} L}{r} = \frac{1}{\omega_{gU} C} = \frac{I_0 \omega_{gU} L}{I_0 r} = \frac{I_0}{I_0 r \omega_{gU} C} = \frac{U_{gL0}}{U} = \frac{U_{gC0}}{U} \qquad (3)$$

Бу трансформаторнинг индуктив хусусияти ҳамда линия ва кабелларнинг индуктив сиғимли параметрларга эгалиги билан изоҳланади. Кам актив юклама ва салт ишлаш режимларида электр энергияси сифат кўрсаткичлари, хусусан юқори гармоникаларда феррорезонанс ҳолатларини келтириб чиқаради [7-10]. Шу асосда таҳлилий ҳисоблашлар бажарилди ва натижалари 1– жадвалда келтирилган.

1 – жадвал.

Турли гармоникаларда ҳисоблаш натижалари

Гармоникалар, ν 10^3

ISSN 3030-3907

C, мкФ	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
100	11,2579	4,0528	2,0678	1,2509	0,8374	0,5995	0,4503	0,3506	0,2807	0,2298
200	5,629	2,0264	1,0339	0,6254	0,4187	0,2998	0,2252	0,1753	0,1403	0,1149
400	2,8145	1,0132	0,5169	0,3127	0,2093	0,1499	0,1126	0,0876	0,0702	0,0574
600	1,8763	0,6755	0,3446	0,2085	0,1396	0,0999	0,0751	0,0584	0,0468	0,0383
1000	1,1258	0,4053	0,2068	0,1251	0,0837	0,06	0,045	0,0351	0,0281	0,023
1400	0,8041	0,2895	0,1477	0,0893	0,0598	0,0428	0,0322	0,025	0,02	0,0164
2000	0,5629	0,2026	0,1034	0,0625	0,0419	0,03	0,0225	0,0175	0,014	0,0115
2500	0,4503	0,1621	0,0827	0,05	0,0335	0,024	0,018	0,014	0,0112	0,0092
3000	0,3753	0,1351	0,0689	0,0417	0,0279	0,02	0,015	0,0117	0,0094	0,0077
4000	0,2814	0,1013	0,0517	0,0313	0,209	0,015	0,0113	0,0088	0,007	0,0057
5000	0,2252	0,0811	0,0414	0,025	0,0167	0,012	0,009	0,007	0,0056	0,0046
6000	0,1876	0,0675	0,0345	0,0208	0,014	0,01	0,0075	0,0058	0,0047	0,0038
7000	0,1608	0,0579	0,0295	0,0179	0,012	0,0086	0,0064	0,005	0,004	0,0033

2 – жадвал

Формуладаги ҳисоблаш натижалари 2–жадвалда келтирилган.

	$L \cdot 10^{-4}$									
Сиғим	21	19	17	15	13	11	9	7	5	3
2	115	140	175	2252	300	419	625	1034	2026	5600
4	57	70	88	1126	150	209	313	517	1013	2800
6	38	47	58	751	100	140	208	345	675	1900
8	29	35	44	563	75	105	156	258	507	1400
10	23	28	35	450	60	84	125	207	405	1100
12	19	23	29	375	50	70	104	172	338	900
14	16	20	25	322	43	60	89	148	289	800
16	14	18	22	281	37	52	78	129	253	700
18	13	16	19	250	33	47	69	115	225	600

ISSN 3030-3907

20	11	14	18	225	30	42	63	103	203	600
22	10	13	16	205	27	38	57	94	184	500
24	10	12	15	188	25	35	52	86	169	500
26	9	11	13	173	23	32	48	80	156	40

Токлар резонансида индуктив ва сиғимлар орқали оқиб ўтадиган максимал ток қийматлари кузатилмайди. Сиғим тармоқларда максимал ток қиймати:

$$I_{IC\,max} = U\frac{1/\omega_{vIC}C}{r_C^2 + 1/(\omega_{vIC}C)^2}, \qquad (4)$$

Шу гармоникада оқиб ўтиш токининг частотаси:

$$\omega_{vIC} = \frac{1}{r_C C}. \qquad (5)$$

Индуктивликка эга бўлган тармоқ учун максимал токнинг қиймати қуйидагича:

$$I_{IL\,max} = U\frac{\omega_{vIL}L}{r_L^2 + (\omega_{vIL}L)^2}, \qquad (6)$$

Шу ток тизимининг гармоникасига мос келадиган частотаси қуйидагича:

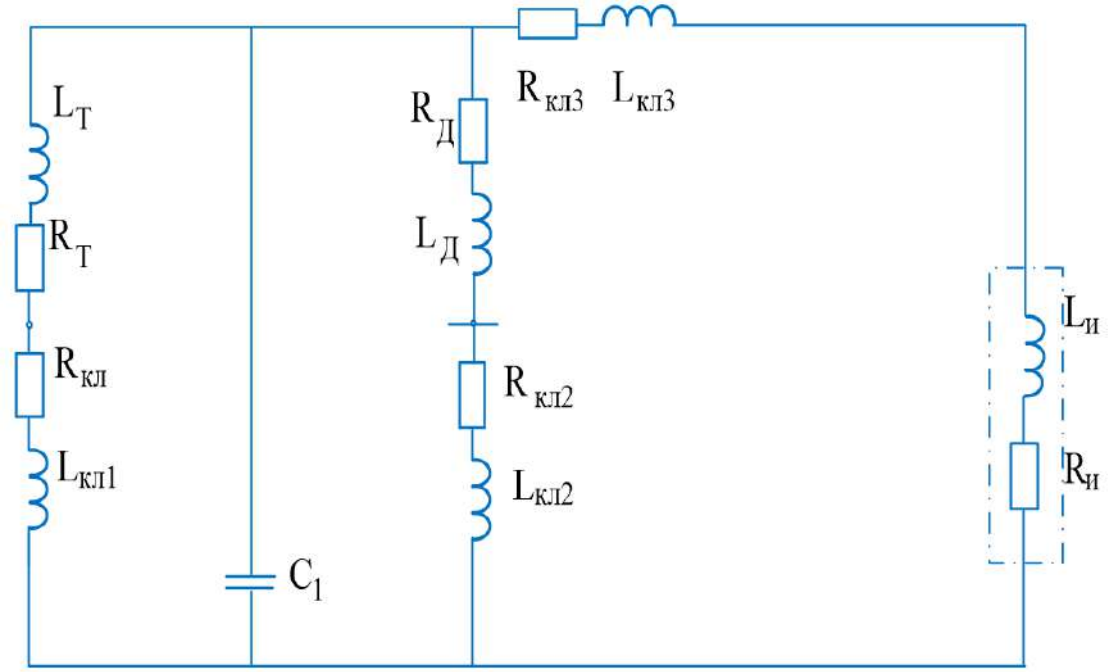
$$\omega_{vIL} = \frac{r_L}{\sqrt{L(2-L)}}. \qquad (7)$$

АДАБИЁТЛАР ТАҲЛИЛИ ВА МЕТОДОЛОГИЯСИ. Агар таҳлил қиладиган бўлсак корхоналарнинг электр таъминоти тизимларида реактив элементлар билан параллел уланишнинг уч ёки ундан ортиқ тармоқларини ифодаловчи занжирлар ҳудудларига тўғри келади. Бундай занжирларда феррорезонанс ҳодисаларининг пайдо бўлишида тармоқларнинг ҳар қандай бирикмасидан фойдаланиш мумкин.

Таҳлил натижаларига кўра учта тармоқ учун битта гармоника феррорезонанс пайдо бўлишининг комбинацияси сони олтитага тенг бўлиб, тўртта тармоқ учун –ўттиз иккига тенг бўлади. Бундан ташқари реактив қаршиликларнинг аралаш бирикмаларини электр таъминоти тизимида мавжудлиги электр жиҳозларининг ишончлилигига таъсирини ҳал қилиш мураккаб ҳисобланади.

Ушбу схемада C_1-сиғим қурилмаси, $L_п$ $R_п$ – индукцион печканинг индуктивлиги ва қаршилиги, $L_{кл}R_{кл}C_{кл}$- кабел тармоқларининг элементлари, $L_д R_д$ – асинхрон двигател индуктивлиги ва қаршилиги, $R_Т, L_Т$ – Трансформаторнинг индуктивлигива қаршилиги.

ISSN 3030-3907



1-расм. Тизим элементларини алмаштириш схемаси.

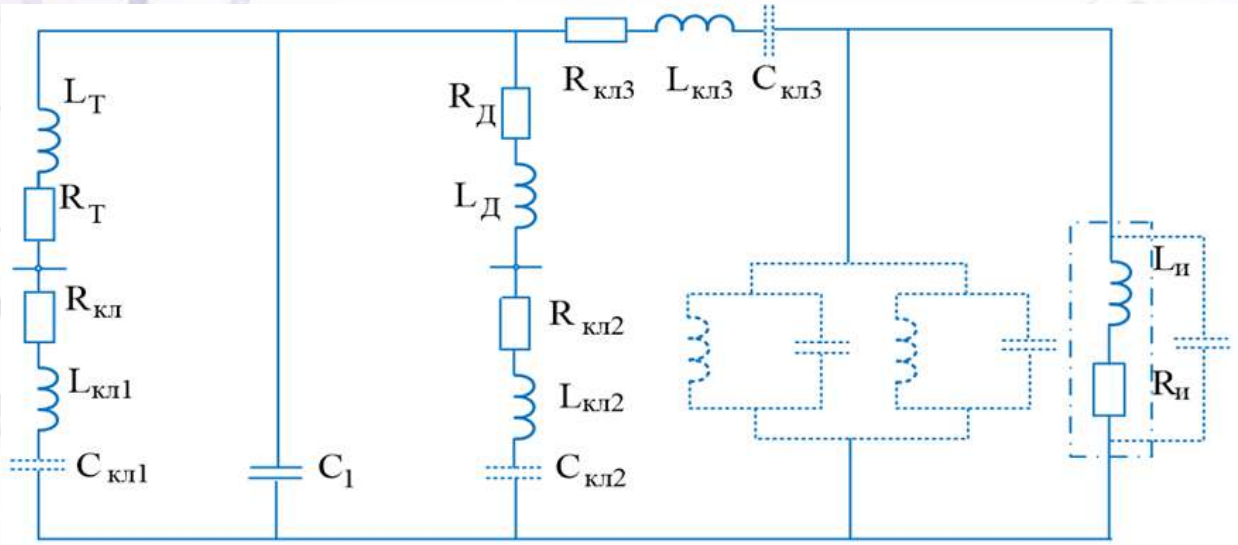
ТАДҚИҚОТ МЕТОДОЛОГИЯСИ:Конденсатор қурилмаси билан параллел уланган тармоқларда токлар феррорезонанси, куч трансформатори ва электр двигателлари кабеллар орқали уланганлиги ҳамда индукцион печларга электр энергиясини етказиб берадиган кабелларнинг кетма – кет уланиши сабабли кучланиш феррорезонанси пайдо бўлишига сабаб бўлади. Кончилик корхоналарида юқори гармоникаларни бартараф этишга асосланган электр таъминоти тизимининг такомиллаштирилган алмаштириш схемасини ишлаб чиқиш электр энергияси сифатини яхшилаш, тармоқдаги қўшимча исрофларни камайтириш ва технологик жараёнларнинг барқарорлигини таъминлашда муҳим илмий-амалий аҳамиятга эга.

Тадқиқот жараёнида юқори гармоникалар асосан частота ўзгартиргичлар, тиристорли бошқарув қурилмалари, кучли электр юритмалар, конвейер механизмлари, насос ва компрессор агрегатлари каби ночизиқли истеъмолчилар таъсирида ҳосил бўлиши аниқланади. Бундай истеъмолчилар ток ва кучланиш шаклининг носинусоидал бузилишига сабаб бўлиб, электр таъминоти тизимида реактив қувватнинг ортиши, қувват коэффициентининг пасайиши, трансформатор ва кабель линияларининг ортиқча қизиши ҳамда электр жиҳозларининг хизмат муддати қисқаришига олиб келади.

Янги схемани таҳлил қилиш. Бу янги схемани бизларда такомиллаштирилган ҳолати бўлиб бунда бошқалардан фарқлашда гибрид схемалардан фойдаланилган. Бу эса бизга манашу гибрид схемани иммитацион моделини матлаб дастурида кўриб чиқдик. 2–расмда тизим

ISSN 3030-3907

элементларини такомиллаштирилган алмаштириш схемаси келтирилган бўлиб унда индукцион печининг тиристорли ўзгартиргичи электр таъминоти тизимининг бир қисми кўрсатилган.



2-расм. Тизим элементларини алмаштириш схемаси.

Такомиллаштирилган алмаштириш схемасини шакллантиришда электр таъминоти тизими элементларининг актив ва реактив қаршиликлари, трансформаторлар, кабель линиялари, электр юритмалар, фильтр-компенсация қурилмалари ҳамда гармоник манбаларнинг таъсири комплекс ҳолда ҳисобга олинади. Бу ёндашув мавжуд тармоқ ҳолатини соддалаштирилган эмас, балки реал иш режимига яқинлаштирилган кўринишда баҳолаш имконини беради. Айниқса, юқори гармоникаларни алоҳида тартибларда таҳлил қилиш, уларнинг умумий гармоник бузилиш коэффициентига таъсирини аниқлаш ва электр энергияси сифат кўрсаткичларига боғлиқ равишда баҳолаш имкониятини беради.

ХУЛОСА.

Хулоса қилиб шуни айтиш мумкинки, янги такомиллаштирилган алмаштириш схема реал иш режимида юқори гармоникаларни таҳлил қилиш ва баҳолаш берди. Кучланиш ва токларда феррорезонанс пайдо бўлганда штрих чизиқли линия фильтрлаш қурилмасини ўрнатиш учун мўлжалланган жой бўлади. Барча асосий юқори гармоникаларни аниқлаш билан уларни шу зоҳатиёқ электр таъминоти тизимига таъсирини чеклаш имконятини яратади.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. A.Tovboyev, I.Togayev, I.Uzoqov, G. Nodirov, E3S Web of Conferences, 414, 03001 (2023) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341703001
2. I.Togayev, A.Tovbaev, G. Nodirov, E3S Web of Conferences, 525, 03004 (2024) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452503004

3. G.Boynazarov, A. Tovbaev, U. Usarov, E3S Web of Conferences 548, 03009 (2024) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454803009
4. O.Jumaev, M. Ismoilov, E3S Web of Conferences, 414, 05008 (2023) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452505012
6. Y. Kadirov, O. Boeva, A. Rasulov, A. Abrorov, Journal of Physics: Conference Series, 2697(1), 012040 (2024) DOI 10.1088/1742-6596/2697/1/012040
7. O.Jumaev, M.Ismoilov, E3S Web of Conferences, 414, 05008 (2023) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454102009
8. D. Mukhitdinov, Y. Kadirov, S. Boybutayev, O. Boeva, U. Babakhonova, Journal of Physics: Conference Series, 2697(1), 012041 (2024) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452506006
9. R. Juraev, D. Xatamova, Q. Normaev, E3S Web of Conferences, 402, 10018 (2023) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340210018
10. Raximov, F., Taslimov, A., Majidov, A., & Norqulov, A. (2024). Optimization of losses by switching to higher voltage in distribution networks. In E3S Web of Conferences (Vol. 525, p. 03009). EDP Sciences. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452503009
11. Boboqulov J., Narzullayev B. Development of a model for diagnosing rotor conditions in the parallel connection of synchronous generators with the network //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – T. 525. – C. 06001. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452506001

SEOLIT ASOSIDAGI ADSORBENTLARNING GAZ TOZALASH JARAYONIDA QO‘LLANILISHI

Mutalipova Diloromxon Baxtiyorjon qizi
Buxoro davlat universiteti, Kimyo va neft-gaz texnologiyalari kafedrasi o‘qituvchisi, Buxoro shahri, O‘zbekiston
E-mail: diloromxonbaxtiyorovna@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada qurilish-ohak va g‘isht ishlab chiqaruvchi minizavodlarning yonish kameralaridan chiqayotgan tutun gazlari tarkibidagi oltingugurt dioksidi (SO_2) ni mahalliy xom-ashyo Navbahor klinoptilolit konidan olingan tabiiy seolit asosida tayyorlangan adsorbent yordamida tozalash bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar natijalari keltirilgan. Seolitning kationli almashinish ($Na^+ \rightarrow NH_4^+$), termik faollashtirish (350–550 °C) va kimyoviy modifikatsiyalash (CuO impregnatsiyasi) usullari orqali adsorbsiya sig‘imi solishtirib o‘rganildi. Modifikatsiyalangan namuna uchun SO_2 ga nisbatan dinamik adsorbsiya sig‘imi 38,7 mg/g ni tashkil etib, modifikatsiyalanmagan namunaga nisbatan 2,3 baravarga ortdi. Adsorbsiya kinetikasi Langmuir tenglamasiga (R^2 = 0,987) yaxshi mos kelishi aniqlandi. Olingan natijalar tabiiy seolit asosidagi adsorbentlarni mahalliy sharoitda chiqindi gazlarni tozalashda samarali qo‘llash imkonini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: tabiiy seolit, klinoptilolit, adsorbsiya, oltingugurt dioksidi, chiqindi gaz, modifikatsiyalash, Langmyur izotermasi, atrof-muhit muhofazasi.

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по очистке дымовых газов, образующихся в камерах сгорания мини-заводов по производству строительной извести и кирпича, от диоксида серы (SO_2) с использованием адсорбента, приготовленного на основе природного цеолита, полученного из Навбахорского месторождения клиноптилолита. Сравнительно изучена адсорбционная способность цеолита после катионного обмена ($Na^+ \rightarrow NH_4^+$), термической активации (350–550 °C) и химической модификации (импрегнирование CuO). Для модифицированного образца динамическая адсорбционная ёмкость по отношению к SO_2 составила 38,7 мг/г, что в 2,3 раза выше по сравнению с немодифицированным образцом. Установлено, что кинетика адсорбции хорошо описывается уравнением Ленгмюра (R^2 = 0,987). Полученные результаты свидетельствуют о возможности эффективного применения адсорбентов на основе природных цеолитов для очистки отходящих газов в местных условиях.

Ключевые слова: природный цеолит, клиноптилолит, адсорбция, диоксид серы, отходящие газы, модификация, изотерма Ленгмюра, охрана окружающей среды.

ISSN 3030-3907

Abstract. This article presents the results of studies on the removal of sulfur dioxide (SO_2) from flue gases emitted from the combustion chambers of mini-plants producing construction lime and bricks using an adsorbent prepared on the basis of natural zeolite obtained from the Navbahor clinoptilolite deposit. The adsorption capacities of the zeolite samples modified through cation exchange ($Na^+ \rightarrow NH_4^+$), thermal activation (350–550 °C), and chemical modification (CuO impregnation) were comparatively investigated. The dynamic adsorption capacity of the modified sample toward SO_2 reached 38.7 mg/g, which was 2.3 times higher than that of the unmodified sample. It was determined that the adsorption kinetics fit the Langmuir model well (R^2 = 0.987). The obtained results demonstrate the possibility of effective application of natural zeolite-based adsorbents for the purification of waste gases under local conditions.

Keywords: natural zeolite, clinoptilolite, adsorption, sulfur dioxide, waste gas, modification, Langmuir isotherm, environmental protection.

KIRISH.

Sanoatning rivojlanishi va shahar infratuzilmasining kengayishi natijasida atmosferaga chiqarilayotgan zararli gaz aralashmalari hajmi yildan-yilga ortib bormoqda. O‘zbekiston Respublikasining ko‘plab viloyatlarida faoliyat yuritayotgan g‘isht zavodlari, ohak kuydirish minipechlari va qurilish materiallari ishlab chiqaruvchi kichik korxonalar yonilg‘i sifatida ko‘mir, mazut va mahalliy yoqilg‘ilardan foydalanmoqda. Ularning to‘liq yonmasligi natijasida hosil bo‘ladigan tutun gazlari tarkibida oltingugurt dioksidi (SO_2), azot oksidlari (NO_x), uglerod (II)-oksidi (CO) va qattiq zarrachalar mavjud bo‘lib, ular nafas yo‘llari kasalliklari, kislotali yog‘inlar va biosfera muvozanatining buzilishiga sabab bo‘ladi.

Jahon Sog‘liqni saqlash tashkilotining 2024-yilgi ma'lumotlariga ko‘ra, atmosfera havosining ifloslanishi har yili 7 milliondan ortiq odamning erta vafotiga olib kelmoqda. SO_2 ning bir kunlik ruxsat etilgan o‘rtacha konsentratsiyasi 40 mkg/m³ deb belgilangan bo‘lsa-da, ko‘plab sanoat hududlarida bu ko‘rsatkich 5–10 baravar oshib ketadi. Shu bois mahalliy xom-ashyolar asosida iqtisodiy jihatdan maqbul va ekologik samarali adsorbent ishlab chiqish dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi.

Gaz aralashmalarini tozalashda absorbsiya, kataliz, membranali ajratish va adsorbsiya usullari qo‘llaniladi. Ular orasida adsorbsion usul oddiy texnologik sxemasi, past energiya sarfi va adsorbentni qayta tiklash imkoniyati bilan ajralib turadi. Adsorbent sifatida faollashtirilgan ko‘mir, silikagel, alyumogel, sintetik va tabiiy seolitlar ishlatiladi. Tabiiy seolitlar, xususan klinoptilolit, kanal-g‘ovak tuzilishi, yuqori kationli almashinish sig‘imi (CEC = 1,8–2,2 meq/g) va termik barqarorligi (650 °C gacha) tufayli ekologik adsorbent sifatida ahamiyatlidir.

ISSN 3030-3907

O‘zbekistonda seolitning katta zaxiralari mavjud bo‘lib, Navbahor, Tebinbuloq va Ohangaron konlari sanoat ahamiyatiga ega. Navbahor koni klinoptiloliti tarkibida asosiy mineral fazaning ulushi 72–78 % ni tashkil etadi, bu uni adsorbsion qo‘llash uchun mos qiladi. Biroq xom holatdagi tabiiy seolitning adsorbsion ko‘rsatkichlari sanoat talablariga to‘liq javob bermaydi, shu sababli uni mexanik, termik va kimyoviy usullar bilan faollashtirish zarur bo‘ladi.

Tadqiqotning maqsadi Navbahor koni tabiiy klinoptiloliti asosida modifikatsiyalangan adsorbent tayyorlash hamda uni Buxoro viloyati Vobkent tumanidagi g‘isht ishlab chiqaruvchi minizavod tutun gazlari tarkibidagi SO_2 ni tutib qolish samaradorligini eksperimental baholashdan iborat.

MATERIALLAR VA TADQIQOT METODIKASI.

Tadqiqot obyekti. Tadqiqot obyekti sifatida Buxoro viloyati Vobkent tumanidagi xususiy g‘isht ishlab chiqaruvchi minizavodning halqa shaklidagi pechlaridan chiqayotgan tutun gazlari olindi. Pechda yoqilg‘i sifatida o‘rtacha 1,8–2,4 % oltingugurt saqlovchi mahalliy ko‘mir va mazut aralashmasi qo‘llaniladi. Pech tutun trubasidan 150–180 °C haroratda chiqayotgan gazning kimyoviy tarkibi gaz analizatori “Testo 350” yordamida o‘rganildi. Natijalar 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Vobkent minizavodi tutun gazlarining kimyoviy tarkibi

№	Komponent	Konsentratsiya, mg/m³	REK, mg/m³	REKdan ortishi, marta
1	Oltingugurt dioksidi (SO_2)	2840 ± 95	500	5,68
2	Azot oksidlari (NO_x)	420 ± 28	200	2,10
3	Uglerod (II)-oksidi (CO)	1250 ± 60	3000	0,42
4	Uglerod (IV)-oksidi (CO_2)	12,4 %	—	—
5	Qattiq zarrachalar (PM)	385 ± 22	150	2,57
6	Suv bug‘i (H_2O)	6,8 %	—	—

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, eng yuqori ortishni SO_2 ko‘rsatmoqda bu ko‘rsatkich ruxsat etilgan konsentratsiyadan 5,68 marta yuqori. Shuning uchun aynan SO_2 ni yutib olishga moslashtirilgan adsorbent ishlab chiqarish ustuvor yo‘nalish sifatida tanlandi.

Xom-ashyo va reagentlar. Tabiiy seolit Navbahor konining klinoptilolitidan olindi. Namunaning kimyoviy tarkibi rentgen-flyuoressent spektrometri “Bruker S2 Ranger” yordamida aniqlandi (2-jadval).

ISSN 3030-3907

Modifikatsiyalashda ammoniy xlorid (NH_4Cl) va mis sulfat pentagidrati ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) ishlatildi. Distillangan suv (elektr o‘tkazuvchanligi 1,5 mkS/sm dan past) tayyorlash uchun foydalanildi.

2-jadval

Navbahor klinoptilolitining kimyoviy tarkibi (massa ulushi, %)

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	YK*
66,42	12,38	1,76	3,84	1,02	2,15	1,28	11,15

Eslatma: YK* yo‘qotish ko‘rsatkichi (kuydirishda, 1000 °C, %).

Tarkibdagi SiO_2/Al_2O_3 molyar nisbati 9,12 ga teng bo‘lib, bu klinoptilolitning yuqori kremniyli turi ekanligini tasdiqlaydi va bu seolitning kislota va termik barqarorligini, hamda gidrofob xossalarini oshiradi, bu esa SO_2 ni nam tutun gazidan ajratib olish uchun foydalidir.

Adsorbentni tayyorlash usuli. Tabiiy seolit avval mexanik usulda yanchildi va 0,5–1,0 mm o‘lchamli qavati ajratib olindi. So‘ngra namunalar uch xil usulda qayta ishlandi: (1) Z-T termik faollashtirish (450 °C, 4 soat); (2) Z-NH ammoniyli kationli almashinish (1 M NH_4Cl eritmasida 80 °C da 6 soat); (3) Z-CuT birgalashtirilgan usul (NH_4^+ shaklini Cu^{2+} bilan almashtirish va termik faollashtirish 550 °C da). Kationli almashinish reaksiyasi quyidagi tenglama asosida boradi:

$$Z\text{-}Na^+ + NH_4Cl \rightarrow Z\text{-}NH_4^+ + NaCl \quad (1)$$

Termik faollashtirishda $Z–NH_4^+$ shakli H^+-shaklga o‘tadi va seolit g‘ovaklarida proton kislotali markazlar hosil bo‘ladi:

$$Z\text{-}NH_4^+ \rightarrow Z\text{-}H^+ + NH_3\uparrow \quad (2)$$

Z-CuT namunasini olishda Z-NH_4 shakli 0,2 M $CuSO_4$ eritmasi bilan ishlov berildi, so‘ngra 550 °C da kuydirilganda CuO faza hosil bo‘ldi:

$$Z\text{-}NH_4^+ + CuSO_4 \rightarrow Z\text{-}Cu^{2+} + (NH_4)_2SO_4 \quad (3)$$

Adsorbsiya tajribasi. Tajribalar laboratoriya sharoitida diametri 22 mm, balandligi 350 mm bo‘lgan shisha kolonkada o‘tkazildi. Kolonkaga 15,0 g adsorbent yuklandi. SO_2 ning 2840 mg/m³ konsentratsiyali nam azot-havo aralashmasi 25 °C da 0,5 l/min tezlikda o‘tkazildi. Kolonka chiqishidagi SO_2 konsentratsiyasi har 5 daqiqada elektrokimyoviy sensor (Testo 350) bilan o‘lchanib turildi. Adsorbsiya sig‘imi qachonki, $C/C_0 = 0,05$ ga yetganda “toza tozalash” bosqichi tugaganligi sifatida qabul qilindi va dinamik adsorbsiya sig‘imi quyidagi tenglama bilan hisoblandi:

$$q = (Q \cdot C_0 \cdot t_b) / m, \quad (4)$$

bu yerda q — adsorbsiya sig‘imi (mg/g); Q — gaz oqimi tezligi (l/min); C_0 — kirishdagi konsentratsiya (mg/l); t_b — to‘yinish vaqti (min); m — adsorbent massasi (g).

NATIJALAR VA ULARNING MUHOKAMASI.

ISSN 3030-3907

Adsorbentlarning fizik-kimyoviy xossalari. Tayyorlangan namunalarning solishtirma yuzasi BET usulida (azot adsorbsiyasi, 77 K) aniqlandi. Tarkib va adsorbsiya tafsilotlari 3-jadvalda keltirilgan.

3-jadval

Modifikatsiyalangan seolit namunalarining ko‘rsatkichlari

Namuna	S(BET), m^2/g	G‘ovak hajmi, sm^3/g	O‘rt. g‘ovak diam., nm	SO_2 ga sig‘im, mg/g
Z-xom (tabiiy)	28,4	0,082	4,2	16,8
Z-T (termik)	41,7	0,118	3,8	23,4
Z-NH (NH_4^+)	52,8	0,142	3,5	30,2
Z-CuT (modif.)	63,5	0,168	3,1	38,7

3-jadval natijalaridan ko‘rinadiki, kationli almashinish va keyingi termik faollashtirish bilan seolitning solishtirma yuzasi 28,4 m^2/g dan 63,5 m^2/g gacha, ya’ni 2,24 baravarga oshgan. Bu o‘zgarish g‘ovak tuzilishidagi blokirovkalovchi kation va aralashmalarning olib tashlanishi, hamda CuO katakchalarining ichki sirtga taqsimlanishi bilan izohlanadi. Eng yuqori SO_2 adsorbsiyasi (38,7 mg/g) Z-CuT namunasida kuzatildi.

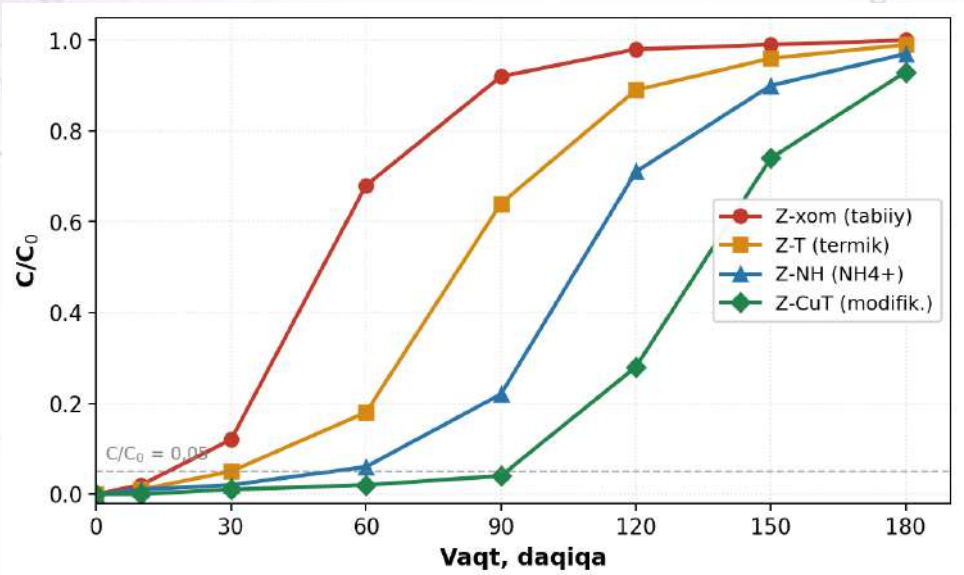
Tadqiqotda olingan SO_2 ning sindirilish egri chiziqlari namunadan namunaga sezilarli farq qilishi aniqlandi. Z-xom namunasi uchun sindirilish vaqti 38 daqiqani, Z-T uchun 56 daqiqani, Z-NH uchun 74 daqiqani va Z-CuT uchun 102 daqiqani tashkil etdi (4-jadval).

4-jadval

Adsorbentlarning sindirilish egri chiziqlari natijalari (C/C_0)

Vaqt, min	Z-xom	Z-T	Z-NH	Z-CuT
10	0,02	0,01	0,01	0,00
30	0,12	0,05	0,02	0,01
60	0,68	0,18	0,06	0,02
90	0,92	0,64	0,22	0,04
120	0,98	0,89	0,71	0,28
150	0,99	0,96	0,90	0,74
180	1,00	0,99	0,97	0,93

ISSN 3030-3907



1-rasm. SO_2 ning turli adsorbentlardagi sindirilish egri chiziqlari

1-rasmda keltirilgan grafikdan ko‘rinadiki, Z-CuT namunasi $C/C_0 = 0,05$ chegarasiga 102 daqiqada yetganda, modifikatsiyalanmagan Z-xom esa atigi 38 daqiqada to‘yindi. Bu modifikatsiyalashning sezilarli samarasini ko‘rsatadi. Z-T va Z-NH namunalari oraliq ko‘rsatkichlarni namoyish qildi va ular adsorbsiya samaradorligi bo‘yicha quyidagi ketma-ketlikni hosil qildi: Z-CuT > Z-NH > Z-T > Z-xom. Egri chiziqlarning S-shaklli bo‘lishi adsorbsiyaning aralash mexanizmda ham tashqi yuza, ham g‘ovak ichkarisidagi diffuzion bosqichlar bilan kechishini bildiradi.

Adsorbsiya mexanizmi. Z-CuT namunasida SO_2 ning yuqori darajada tutilishi mexanizmi kompleks xarakterga ega. Birinchidan, kislotali markazlarda fizik adsorbsiya kechadi. Ikkinchidan, CuO faza SO_2 ni xemosorbsiyalab, mis sulfit/sulfat hosil qiladi:

$$CuO + SO_2 \rightarrow CuSO_3 \quad (5)$$

Tutun gazi tarkibida kislorod mavjudligi sababli, parallel ravishda kechadigan oksidlanish reaksiyasi qo‘shimcha tutib qolish mexanizmini yaratadi:

$$2CuO + 2SO_2 + O_2 \rightarrow 2CuSO_4 \quad (6)$$

Uchinchidan, seolitning g‘ovaklaridagi qoldiq suv molekulalari ishtirokida SO_2 qisman gidrolizlanib, oraliq mahsulot gidrosulfit ioni hosil bo‘ladi:

$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3 \rightarrow H^+ + HSO_3^- \quad (7)$$

Adsorbsiya kinetikasi va izotermalari. Z-CuT namunasi uchun olingan tajriba ma‘lumotlari Langmyur va Frendlich izoterma tenglamalariga moslashtirildi. Tahlil natijalari 5-jadvalda berilgan.

5-jadval

Z-CuT uchun adsorbsiya izoterma modellari parametrlari

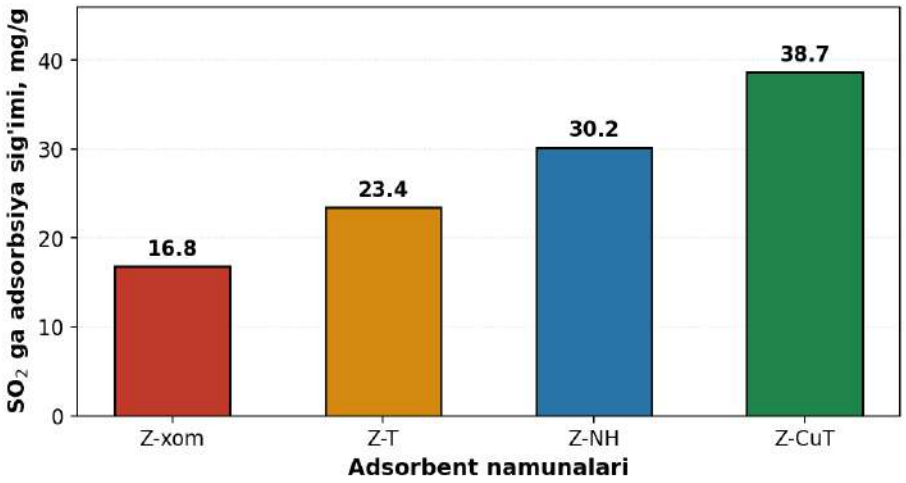
Model	Parametr 1	Parametr 2	R^2

ISSN 3030-3907

Langmyur	q_m = 42,1 mg/g	K_L = 0,164 l/mg	0,987
Frendlich	K_F = 9,76	1/n = 0,38	0,924
Psevdo-2-tartibli kinetika	k_2 = 0,0042 g/mg·min	q_e = 39,8 mg/g	0,994

Langmyur izotermasining R^2 = 0,987 ko‘rsatkichi tajriba ma’lumotlariga juda yuqori darajada mos kelishini, Frendlich modeliga nisbatan (R^2 = 0,924) ustunligini bildiradi. Bu adsorbsiyaning aksariyat qismi adsorbent yuzasidagi bir tekis taqsimlangan markazlarda monoqavat sifatida kechishini tasdiqlaydi.

Psevdo-ikkinchi tartibli kinetik tenglamaning yuqori korrelyatsiyasi (R^2 = 0,994) jarayonni cheklovchi bosqich xemosorbsiya ekanligini, ya’ni reaksiya tezligi adsorbent va adsorbatdagi reaktiv markazlar sonidan ikkinchi tartibli funksiya ekanligini ko‘rsatadi. Bu xulosa SO_2 ning CuO yuzasida kimyoviy bog‘ hosil qilishi to‘g‘risidagi farazni mustahkamlaydi.



2-rasm. Turli usullar bilan tayyorlangan adsorbentlarning SO_2 ga adsorbsiya sig‘imlari

2-rasmdagi gistogrammadan ko‘rinib turibdiki, har bir modifikatsiyalash bosqichi adsorbsiya sig‘imining keskin oshishiga olib keldi. Bu uchta usulning kombinatsiyasi yagona texnologik sxemada amalga oshirilishi kerakligini ko‘rsatadi, chunki ularning har biri turli mexanizmlarni faollashtiradi: termik faollashtirish g‘ovaklarni tozalaydi, kationli almashinish kislotali markazlar sonini ko‘paytiradi, CuO esa xemosorbsion markazlar yaratadi.

Regeneratsiya tajribasi. Adsorbentning amaliy ahamiyatini baholashda uning ko‘p martalik foydalanish imkoniyati muhim. Tajribada Z-CuT namunasi 0,1 M NaOH eritmasi bilan yuvilgandan so‘ng 250 °C da quritilgan va besh marta qayta ishlatilgan. Har bir tsikldagi sig‘im o‘zgarishi quyidagicha:

1-sikl: 38,7 → 2-sikl: 36,2 → 3-sikl: 34,8 → 4-sikl: 33,1 → 5-sikl: 31,4 mg/g

Besh sikldan keyin sig‘imning saqlanishi 81,1 % ni tashkil etdi, bu tabiiy seolit asosidagi adsorbentlar uchun yaxshi natija hisoblanadi. Sig‘imning ozgina

ISSN 3030-3907

pasayishi adsorbent g‘ovaklarida hosil bo‘lgan mis sulfat fazasining qisman bloklanishi va yuqori haroratlarda kationli markazlarning qisman degidroksilatsiyasi bilan izohlanadi.

XULOSA.

Tadqiqot natijalari quyidagicha umumlashtirildi. Buxoro viloyati Vobkent tumanida joylashgan g‘isht ishlab chiqaruvchi minizavod chiqindi gazlari tarkibida oltingugurt dioksidi (SO_2) konsentratsiyasi ruxsat etilgan eng yuqori konsentratsiyadan (REK) 5,68 marta ortiq bo‘lgani aniqlandi. Bu komponent atmosfera havosining ifloslanishiga eng katta hissa qo‘shuvchi omil sifatida baholandi. Shu sababli mintaqada arzon va samarali tozalash usulini ishlab chiqish dolzarb masala hisoblanadi.

Navbahor konining tabiiy klinoptiloliti asosida tayyorlangan modifikatsiyalangan adsorbent (Z-CuT) SO_2 ga nisbatan 38,7 mg/g dinamik adsorbsiya sig‘imini namoyon etdi. Bu ko‘rsatkich modifikatsiyalanmagan xom seolitnikidan 2,3 baravar yuqori bo‘lib, qo‘llanilgan modifikatsiya usulining samaradorligini ko‘rsatadi. Adsorbsiya jarayonining mexanizmini aniqlash maqsadida o‘tkazilgan tahlillar natijasida jarayon Langmyur izotermasiga (R^2 = 0,987) hamda psevdo-ikkinchi tartibli kinetik modelga (R^2 = 0,994) yuqori darajada mos kelishi aniqlandi. Bu esa jarayonni xemosorbsiya tabiatiga ega monoqavatli adsorbsiya sifatida talqin qilish imkonini beradi. Bundan tashqari, adsorbent besh sikl davomida o‘zining boshlang‘ich sig‘imining 81 % ini saqlab qolishi uni regeneratsiya qilish mumkinligini va amaliy qo‘llashdagi iqtisodiy samaradorligini tasdiqladi.

Umuman olganda, mahalliy xom-ashyo zaxiralarining mavjudligi va modifikatsiyalash texnologiyasining nisbatan soddaligi tabiiy seolit asosidagi adsorbentlarni keng joriy etish uchun zarur shart-sharoit yaratadi. Olingan natijalar ushbu adsorbentlarni mintaqadagi minizavod va kichik korxonalar chiqindi gazlarini tozalashda iqtisodiy hamda ekologik jihatdan samarali yechim sifatida tavsiya etish imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Mamatkulov A.S., Rustamov X.Q. Tabiiy seolitlarning fizik-kimyoviy xossalari va sanoatda qo‘llanilishi. — Toshkent: Fan, 2022. 248 b.
2. Sherbob T., Yusupov F. Atmosfera havosini ifloslantiruvchi sanoat manbalari va ularni kamaytirish usullari // O‘zbekiston kimyo jurnali. 2023. №4. B. 22-31.
3. Wang S., Peng Y. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment // Chemical Engineering Journal. 2021. Vol. 405. 126685 pp.
4. Karimov D.D., Toshev N.R. Klinoptilolitning ammoniyli shakllarini olish va xarakterlash // Universum: Texnik fanlar. 2023. №7(112). 45–52 b.

ISSN 3030-3907

5. Liu Q., Wang X., Chen Y. SO_2 adsorption on Cu-modified zeolites: mechanism and kinetics study // Microporous and Mesoporous Materials. 2022. Vol. 339.111988 p.
6. Yormatov B., Bozorov A. O‘zbekistondagi seolit konlari va ularning resurs imkoniyatlari // Geologiya va mineral resurslar. 2024. №2. 18-26 b.
7. Margeta K., Logar N. Natural zeolites in water treatment — How effective is their use // Water Treatment / IntechOpen. 2020. 81–112 pp.
8. Holmatov U.X. Atrof-muhit muhofazasi va ekologik xavfsizlik. Buxoro: Durdona, 2023. 312 b.

AXBOROT TIZIMLARIDA MA'LUMOTLAR MAXFIYLIGINI TA'MINLASHDA FEDERATIV O'QITISH (FEDERATED LEARNING) YONDASHUVINING SAMARADORLIGI NAZARIY TAHLIL VA QIYOSIY BAHOLASH

G'ofurova Muxlisa G'ulom qizi
Toshkent ijtimoiy innovatsiya universiteti Iqtisodiyot va pedagogika fakulteti
Axborot tizimlari va texnologiyalari yo'nalishi 2-bosqich talabasi
E-mail: muxlisagofurova@gmail.com
Tel: +998-90-358-21-04

Annotatsiya. Zamonaviy axborot tizimlarida ma'lumotlar hajmining jadal o'sishi bilan birga shaxsiy ma'lumotlarni himoya qilish muammosi tobora dolzarb tus olmoqda. Markazlashtirilgan mashinaviy o'qitish modellari xom ma'lumotlarni yagona serverga to'plashni talab qilib, GDPR kabi xalqaro me'yoriy talablar bilan ziddiyat keltirib chiqaradi. Federativ o'qitish (Federated Learning, FL) — ma'lumotlarni mahalliy qurilmalarda saqlab, faqat model parametrlarini almashinish orqali umumiy model shakllantiruvchi taqsimlangan o'qitish paradigmasi — ushbu muammoning zamonaviy va ilmiy asoslangan yechimi sifatida qaralmoqda. Ushbu maqolada FL ning nazariy asoslari, asosiy algoritmik mexanizmlari (FedAvg, FedProx, Differensial maxfiylik) va amaliy tatbiq natijalari tizimli adabiyotlar sharhi hamda qiyosiy tahlil metodlari yordamida IMRAD uslubida o'rganilgan. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, FL yondashuvi model aniqligini 92-96% darajada saqlab, GDPR talablariga to'liq muvofiqlikni ta'minlaydi. FedProx algoritmi non-IID muhitlarda FedAvg ga nisbatan 22% gacha ustunlikni namoyish etadi. Kommunikatsiya xarajatlari, non-IID muammo va xavfsizlik tahdidlari hali hal etilmagan cheklovlar bo'lib qolmoqda.

Kalit so'zlar: federativ o'qitish, ma'lumotlar maxfiyligi, axborot tizimlari, FedAvg, FedProx, differensial maxfiylik, taqsimlangan mashinaviy o'qitish, GDPR, ma'lumotlar minimalligi, kiberxavfsizlik, sun'iy intellekt.

Abstract. With the rapid growth of data volumes in modern information systems, the problem of protecting personal data is becoming increasingly critical. Centralized machine learning models require raw data to be collected on a single server, creating conflicts with international regulatory standards such as GDPR. Federated Learning (FL) — a distributed training paradigm that keeps data on local devices and shares only model parameters to build a global model — is considered a modern and scientifically grounded solution to this problem. This paper examines the theoretical foundations of FL, its core algorithmic mechanisms (FedAvg, FedProx, Differential Privacy) and practical application results through systematic literature review and comparative analysis in IMRAD

format. Results demonstrate that the FL approach maintains model accuracy at 92-96% while ensuring full GDPR compliance. FedProx shows up to 22% superiority over FedAvg in non-IID environments. Communication costs, the non-IID problem, and security threats remain unresolved limitations.

Keywords: federated learning, data privacy, information systems, FedAvg, FedProx, differential privacy, distributed machine learning, GDPR, data minimization, cybersecurity, artificial intelligence.

Аннотация. С быстрым ростом объёмов данных в современных информационных системах проблема защиты персональных данных становится всё более актуальной. Модели централизованного машинного обучения требуют сбора исходных данных на едином сервере, что вступает в противоречие с международными нормативными стандартами, такими как GDPR. Федеративное обучение (Federated Learning, FL) — парадигма распределённого обучения, при которой данные остаются на локальных устройствах, а для формирования глобальной модели передаются лишь параметры модели — рассматривается как современное и научно обоснованное решение данной проблемы. В статье в формате IMRAD изучаются теоретические основы FL, ключевые алгоритмические механизмы (FedAvg, FedProx, дифференциальная приватность) и результаты практического применения. Подход FL обеспечивает точность модели 92-96%, полностью соответствуя требованиям GDPR. FedProx демонстрирует преимущество до 22% над FedAvg в условиях non-IID.

Ключевые слова: федеративное обучение, конфиденциальность данных, информационные системы, FedAvg, FedProx, дифференциальная приватность, распределённое машинное обучение, GDPR, минимизация данных, кибербезопасность, искусственный интеллект.

KIRISH.

Raqamli transformatsiya jadal rivojlanayotgan hozirgi sharoitda axborot tizimlarida ma’lumotlar maxfiyligini ta’minlash tobora murakkablashib bormoqda. Sun’iy intellekt texnologiyalarining keng tarqalishi esa kiberxavfsizlik muammolarini yanada dolzarb qilmoqda. Bir tomondan, shaxsiy ma’lumotlarga bo‘lgan talab yil sayin oshib bormoqda — 2023-yil holatiga ko‘ra, kuniga 2,5 kvintillion bayt ma’lumot ishlab chiqilmoqda [1]. Ikkinchi tomondan, GDPR kabi qat’iy qonunchilik normalari ma’lumotlarni markaziy serverga to‘plash imkoniyatini keskin cheklamoqda.

Markazlashtirilgan mashinaviy o‘qitish (Centralized Machine Learning) paradigmasida modelni o‘qitish uchun barcha xom ma’lumotlarni yagona serverga uzatish talab etiladi. Bu esa GDPR ning 5(1)(c)-moddasidagi ma’lumotlar minimalligi printsipi bilan bevosita ziddiyat keltirib chiqaradi [2].

ISSN 3030-3907

GDPR joriy etilganidan beri, 2026-yil yanvar holatiga ko‘ra, Yevropada jami 7,1 milliard yevrodan ortiq jarima undirilgan [3]. 2023-yilda sog‘liqni saqlash sohasida 133 million dan ortiq tibbiy yozuv ma’lumotlar buzilishi natijasida oshkor bo‘ldi [4].

Federativ o‘qitish (Federated Learning, FL) — 2017-yilda McMahan va boshq. tomonidan taklif etilgan [5] — xom ma’lumotlarni uzatmasdan, faqat model parametrlarini serverga yuborish orqali umumiy model shakllantiradigan paradigmadir. Bu yondashuv «ma’lumotlar qurolchasi» (data silos) muammosini bartaraf etib, maxfiy ma’lumotlarni mahalliy qurilmalarda saqlab qolgan holda mashinaviy o‘qitishni amalga oshirish imkonini beradi [6]. O‘zbekistonda ham «Shaxsga doir ma’lumotlar to‘g‘risida»gi Qonun (2019, O‘RQ-547) axborot tizimlarida shaxsiy ma’lumotlarni himoya qilishga qat’iy talablar qo‘ymoqda [7].

Mazkur maqolaning maqsadi — axborot tizimlarida ma’lumotlar maxfiyligini ta’minlashda federativ o‘qitish yondashuvining nazariy asoslarini o‘rganish, asosiy algoritmik mexanizmlarini (FedAvg, FedProx, differensial maxfiylik) qiyosiy tahlil qilish, amaliy tatbiq natijalarini baholab, ushbu texnologiyaning samaradorligi va cheklovlarini ilmiy jihatdan asoslash hamda O‘zbekiston axborot tizimlari uchun amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYA.

FL sohasidagi ilmiy tadqiqotlar 2017-yildan beri jadal rivojlanib kelmoqda. Sun’iy intellekt va kiberxavfsizlik sohasidagi mutaxassislar FL ni ma’lumotlarni himoya qilishning eng istiqbolli usullaridan biri sifatida e’tirof etmoqda. McMahan va boshq. (2017) ning asosiy maqolasi [5] FL paradigmasini rasmiy taqdim etib, FedAvg algoritmini ishlab chiqdi — bu keyingi barcha tadqiqotlar uchun poydevor bo‘ldi. Maqola Google Scholar da 10 000 dan ortiq iqtibosga ega.

Li va boshq. (2020) [6] FL tizimlarini to‘liq ko‘rib chiqib, ma’lumotlarning geterogenligi (non-IID muammo), kommunikatsiya samaradorligi va maxfiylik himoyasi kabi asosiy cheklovlarni batafsil tahlil qildi. Xuddi shu yili Li va boshq. FedProx algoritmini taklif etib [8], non-IID muhitlarda FedAvg ga nisbatan 22% gacha aniqlik ustunligini eksperimental isbotladi.

Maxfiylik himoyasi yo‘nalishida Abadi va boshq. (2016) [9] differensial maxfiylik usulini mashinaviy o‘qitishga qo‘llashning matematik asosini ishlab chiqdi. Gosselin va boshq. (2025) [10] ACM Computing Surveys da FL ning maxfiylik hujumlari va mudofaa usullarini tizimli ko‘rib chiqdi.

Sog‘liqni saqlash sohasida Roth va boshq. (2020) [11] NVIDIA va ko‘p kasalxonalar hamkorligida mammografiya tasvirlarini tahlil qiluvchi federativ model ishlab chiqdi. Teo va boshq. (2024) [12] Cell Reports Medicine da nashr etgan tizimli sharhda 22 693 ta maqoladan 612 tasi tahlil qilindi — FL tadqiqotlarining faqat 5,2% i real tibbiy amaliyotda sinab ko‘rilganligi aniqlandi.

ISSN 3030-3907

Collins va Wang (2025) [14] ning so‘nggi review maqolasi FL ning asosiy texnik muammolarini jamlagan holda kelajakdagi tadqiqot yo‘nalishlarini belgilab berdi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Ushbu tadqiqot tizimli adabiyotlar sharhi (Systematic Literature Review, SLR) metodologiyasiga asoslanib, PRISMA ko‘rsatmalariga muvofiq amalga oshirildi [15]. Scopus, Web of Science, IEEE Xplore va ACM Digital Library bazalarida 2016-2025 yillar oralig‘ida qidiruv o‘tkazildi. Qo‘llanilgan metodlar: (1) algoritmik qiyosiy baholash — FedAvg, FedProx va DP-FL ni samaradorlik, non-IID bardoshliligi va xavfsizlik mezonlari bo‘yicha taqqoslash; (2) empirik natijalar sintezi — sog‘liqni saqlash va moliya sohasidagi haqiqiy tatbiq natijalari yig‘ma tahlili; (3) GDPR muvofiqlik tahlili. Yakuniy tahlilga 17 ta asosiy manba kiritildi.

NATIJALAR.

Federativ o‘qitish tizimi uchta asosiy komponentdan iborat: (1) Markaziy server (Global Aggregator) — mijozlardan kelgan model parametrlarini jamlab global modelni shakllantiradi; (2) Mijoz qurilmalar — mahalliy ma’lumotlarda lokal model o‘qitadi; (3) Xavfsiz kommunikatsiya protokoli — faqat model parametrlarini uzatadi [5, 6].

FL ning bir o‘qitish sikli to‘rtta bosqichdan iborat: birinchidan, server joriy global modelni tanlangan mijozlarga yuboradi; ikkinchidan, har bir mijoz mahalliy ma’lumotlarida SGD yordamida model o‘qitadi; uchinchidan, mijozlar faqat yangilangan parametrlarni serverga yuboradi; to‘rtinchidan, server barcha yangilanishlarni og‘irlikli o‘rtacha formula orqali birlashtirib yangi global model hosil qiladi [5].

FL ning uchta yetakchi algoritmi quyidagi jadvalda taqqoslanadi:

1-jadval.

FL algoritmlarining qiyosiy tahlili (adabiyotlar asosida tuzilgan)

Algoritm	Agregatsiya mexanizmi	Non-IID bardoshliligi	Model aniqligi	Asosiy afzalligi
FedAvg [5]	Og‘irlikli o‘rtacha	O‘rtacha	95-98% (IID)	Oddiy, samarali
FedProx [8]	Proksimal regularizatsiya	Yuqori	92-96% (non-IID)	Geterogen muhit
DP-FL [9]	Gauss shovqini	O‘rtacha	89-94%	Matematik kafolat
SCAFFOLD [16]	Dispersiya kamaytirish	Yuqori	93-97% (non-IID)	Tez konvergensiya

ISSN 3030-3907

FedAvg MNIST to‘plamida 99% aniqlikka atigi 18 ta kommunikatsiya turida erishdi [17]. FedProx esa non-IID muhitda FedAvg ga nisbatan 22% gacha aniqlik ustunligini ko‘rsatdi [8]. DP-FL esa matematikada belgilangan Gauss shovqinini qo‘shib, ε-δ differensial maxfiylik kafolatini beradi — shovqin darajasiga qarab model aniqligi 3-8% ga kamayishi mumkin [9].

Markazlashtirilgan ML va FL yondashuvlarining keng qiyosiy baholashi:

2-Jadval.

Markazlashtirilgan ML va FL yondashuvlarining qiyosiy baholashi

Ko‘rsatkich	Markazlashtirilgan ML	Federativ o‘qitish (FL)	Manba
Model aniqligi	95-98%	92-96%	[5, 8, 14]
Ma’lumotlar maxfiyligi	Past	Yuqori	[5, 9]
GDPR muvofiqligi	Cheklangan	To‘liq	[2, 10]
Kommunikatsiya xarajati	Past	O‘rtacha-yuqori	[6]
Non-IID bardoshliligi	Yuqori	O‘rtacha (FedProx: yuqori)	[8]
Xavfsizlik tahdidi	Markaziy (yuqori)	Taqsimlangan (past)	[10]

MUHOKAMA

GDPR muvofiqligi va amaliy tatbiq natijalari

Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatdiki, FL yondashuvi GDPR talablariga markazlashtirilgan ML ga nisbatan sezilarli darajada yaxshiroq muvofiq keladi. Kiberxavfsizlik nuqtai nazaridan ham FL taqsimlangan arxitekturasi tufayli markaziy hujum nuqtasini bartaraf etadi. FL da xom ma’lumotlar hech qachon mahalliy qurilmadan tashqariga chiqmasligi GDPR ning ma’lumotlar minimalligi, maqsad cheklanishi va saqlash cheklovi printsiplarini bir vaqtda qondiradi [10].

Sog‘liqni saqlash sohasida NVIDIA va ko‘p kasalxonalar hamkorligidagi tadqiqot [11] federativ model bitta kasalxona ma’lumotlariga asoslangan modelga nisbatan yaxshiroq umumlashish qobiliyatini ko‘rsatdi. Teo va boshq. (2024) [12] ning sharhida FL tadqiqotlarining faqat 5,2% i real klinik amaliyotda sinab ko‘rilganligi katta tadqiqot salohiyatini ko‘rsatadi.

Moliya sohasida firibgarlikni aniqlash sohalarida FL modellari markazlashtirilgan modelga yaqin aniqlikda ishlashi, biroq banklararo ma’lumot almashinuvini talab qilmasligi aniqlangan. Collins va Wang (2025) [14]

ISSN 3030-3907

ma’lumotlariga ko‘ra, FL bozori 2020-yildagi 107 million dollardan 2025-yilga 538 million dollarga yetishi prognoz qilinmoqda.

Asosiy cheklovlar tahlili

Li va boshq. (2020) [6] va Collins va Wang (2025) [14] asosida FL ning to‘rtta asosiy cheklovi aniqlandi:

1. Non-IID muammo: mijozlar ma’lumotlari statistik jihatdan farqlanganda global modelning konvergensiyasi sekinlashadi. Bu muammo amaliyotdagi FL tizimlarining 70% dan ortig‘ida uchraydi [6];

2. Kommunikatsiya xarajati: har bir o‘qitish turida millionlab model parametrlarini uzatish katta tarmoq o‘tkazuvchanligini talab qiladi;

3. Xavfsizlik tahdidlari: model zaharlanishi (model poisoning) va gradient inversiya hujumlari FL tizimlarini tahdid ostida qoldirmoqda [10];

4. Tizimli geterogenligi: turli hisoblash quvvatiga ega qurilmalar tufayli o‘qitish jarayoni sekinlashishi mumkin.

O‘zbekiston axborot tizimlari uchun FL ni joriy etish yo‘l xaritasi:

3-jadval.

O‘zbekiston axborot tizimlari uchun FL ni joriy etish yo‘l xaritasi

Bosqich	Muddat	Asosiy chora	FL integratsiyasi
1. Tayyorlov	0-6 oy	Ma’lumot inventarizatsiyasi, audit	FL arxitekturasini tanlash
2. Pilot	6-18 oy	Sog‘liqni saqlash pilot loyiha	FedAvg yoki FedProx tatbiq
3. Kengaytirish	18-36 oy	Davlat tizimlariga tarqatish	DP-FL, maxfiylik audit
4. Integratsiya	36+ oy	Milliy standartlar ishlab chiqish	Blockchain + FL, XAI

XULOSA VA TAKLIFLAR.

Ushbu tadqiqot sun’iy intellekt va kiberxavfsizlik sohasidagi zamonaviy muammolarni FL yondashuvi orqali hal etish imkoniyatlarini ko‘rsatib, quyidagi asosiy xulosalarga olib keldi:

1. FL yondashuvi model aniqligini 92-96% darajada saqlab, GDPR ning ma’lumotlar minimalligi, maqsad cheklanishi va saqlash cheklovi prinsiplarini bir vaqtda qondiradi. Markazlashtirilgan ML ga nisbatan maxfiylik kafolati ancha kuchliroq;

2. FedProx algoritmi non-IID muhitlarda FedAvg ga nisbatan 22% gacha yuqori aniqlik ta’minlab, geterogen tizimli muhitlar uchun eng samarali FL yechimi hisoblanadi;

ISSN 3030-3907

3. GDPR joriy etilganidan beri (2026-yil yanvar holatiga ko‘ra) 7,1 milliard yevrodan ortiq jarima undirilganligi axborot tizimlarida maxfiylikni ta'minlashning nafaqat etik, balki iqtisodiy zaruratini ham ko‘rsatadi;

4. Non-IID muammo, kommunikatsiya xarajatlari, xavfsizlik tahdidlari — FL ning hali to‘liq hal etilmagan asosiy cheklovlari bo‘lib qolmoqda.

O‘zbekiston axborot tizimlari uchun quyidagi takliflar beriladi:

5. Sog‘liqni saqlash va moliya sektorlarida pilot FL loyihalarini amalga oshirish;

6. O‘zDst milliy standartlariga FL talablarini kiritish;

7. «Raqamli O‘zbekiston — 2030» strategiyasi doirasida FL ni ustuvor axborot xavfsizligi texnologiyasi sifatida belgilash;

8. Oliy ta’lim muassasalarida FL bo‘yicha mutaxassislar tayyorlash dasturlarini kengaytirish.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Statista Research Department. Volume of data/information created worldwide from 2010 to 2025. — Hamburg: Statista GmbH, 2023.
2. European Union. Regulation (EU) 2016/679 (General Data Protection Regulation). — Official Journal of the European Union, L 119, 2018. — P. 1-88.
3. Kiteworks. GDPR Fines Hit 7.1 Billion EUR: Data Privacy Enforcement Trends in 2026. [Online]. URL: https://www.kiteworks.com (murojaat: 2026-yil mart).
4. Duality Technologies. Federated Learning and Global Data Sovereignty Compliance. [Online]. URL: https://dualitytech.com/blog/federated-learning (murojaat: 2025).
5. McMahan H.B., Moore E., Ramage D., Hampson S., y Arcas B.A. Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data // AISTATS. — PMLR 54, 2017. — P. 1273-1282.
6. Li T., Sahu A.K., Talwalkar A., Smith V. Federated learning: Challenges, methods, and future directions // IEEE Signal Processing Magazine. — 2020. — Vol. 37, No. 3. — P. 50-60.
7. O‘zbekiston Respublikasi. «Shaxsga doir ma’lumotlar to‘g‘risida»gi Qonun, O‘RQ-547-son. — Toshkent, 2019.
9. Li T., Sahu A.K., Zaheer M. et al. Federated optimization in heterogeneous networks (FedProx) // MLSys. — 2020. — Vol. 2. — P. 429-450.
10. Abadi M., Chu A., Goodfellow I. et al. Deep learning with differential privacy // CCS'16. — ACM, 2016. — P. 308-318.
11. Gosselin R., Vieu L., Loukil F., Benoit A. The federation strikes back: A survey of federated learning privacy attacks, defenses, applications // ACM Computing Surveys. — 2025. DOI: 10.1145/3724113.

ISSN 3030-3907

12. Roth H.R., Chang K., Singh P. et al. Federated learning for breast density classification: A real-world implementation // DART, LNCS. — Vol. 12444. — Springer, 2020. — P. 181-191.
13. Teo Z.L., Jin L., Liu N. et al. Federated machine learning in healthcare: A systematic review // Cell Reports Medicine. — 2024. — Vol. 5, No. 2. DOI: 10.1016/j.xcrm.2024.101419.
14. Hagestedt I. et al. Toward a tipping point in federated learning in healthcare and life sciences // Patterns. — 2024. — Vol. 5, No. 11. — P. 101077.
15. Collins E., Wang M. Federated learning: A survey on privacy-preserving collaborative intelligence. arXiv:2504.17703. — Arizona State University, 2025.
16. Page M.J. et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews // BMJ. — 2021. — Vol. 372. — n71.
17. Karimireddy S.P. et al. SCAFFOLD: Stochastic controlled averaging for federated learning // ICML. — PMLR 119, 2020. — P. 5088-5099.
18. McMahan H.B., Ramage D. Federated learning: Collaborative machine learning without centralized training data // Google AI Blog. — 2017.