ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME -12

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 12

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 shaharlarni barpo etishda energiyani tejovchi texnologiyalar va qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish istiqbollari *Mirzayeva Umidaxon Murodjon qizi*	9
2	Шудгорланган ерларни экишга тайёрлашда қўлланиладиган машина текислагичининг параметрларини асослаш *Муқимова Давлатхон Каримовна*	16
3	Avtomobillarda interyer dizaynining zamonaviy rivojlanish yo‘nalishlari va ergonomik ahamiyati *Musayev Abrorjon Ilxomjon o‘g‘il*	22
4	O‘zbek tilida savol generatsiyasi uchun morfologik-sintaktik-semantik tahlilga asoslangan lingvistik model *Nasriddinova Iroda Sayfiddin qizi*	31
5	Gidroelektrostansiyalarning mrp/prp protokollari va OPC UA asosida SIL 2 va IEC 62443 talablariga mos zaxiralangan avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimi arxitekturasi *Najmiddinov Shoxijaxon Tursunboy o‘g‘li* *Madaminov Nodirbek Zafarbek o‘g‘li*	40
6	Boshlang‘ich sinf o‘qish savodxonligi darslarida nutqiy kompetensiyani shakllantirishga yo‘naltirilgan mashqlar tizimi *N.Q.Olimova* *R.M.Nazirova*	52
7	Talabalarning analitik kimyo fanidan blum taksonomiyasiga oid tushunchalarini rivojlantirish *Sapayeva Gulzor Islambaevna* *Urunbayeva Akmerjan Allamurat qizi*	57
8	Parametrik modellashtirish orqali muhandislik grafikasi ta’limida loyiha kompetensiyasini rivojlantirish metodikasi *G. M. Mashrapova*	65
9	Pedagoglarning professional kompetensiyasini baholashning zamonaviy mexanizmlari *Mamatqulova Nigora Nurmuhammedovna*	77
10	Avtotransport korxonalarinida shinalar resursini oshirish orqali iqtisodiy samaradorlikni baholash *Karshiyev Faxridin Umarovich* *Eshimov Sodiq Saydulla o‘g‘li* *Yo‘ldoshev Sharofiddin Faxriddin o‘g‘li* *Mamarajabova Qizlargul Parda qizi*	82
11	Passiv quyosh energiyasi yordamida ishlovchi issiqlik quvurining matematik modeli *Ochilov L.* *Iskandarov N.* *Ashurova U.*	88
12	Analyzing the concept and components of cyber hygiene in the context of educational institutions: user behavior, security awareness, and best practices in uzbekistan. *Omonov Odiljon Mirzaulug‘bek o‘g‘li*	95
13	“Osmonsoy-1” bazaltlari asosida kislotali muhitga bardoshli materiallarning strukturaviy va fazaviy xususiyatlarini o‘rganish natijalari *Bo‘ri Sirojovich Kamolov* *Masharipova Sharofat Muxammadovna*	100
14	Quyosh panellaridan elektr energiya olish va uni kundalik hayotga targ‘ib qilish *Paxirdinov Xabibillo Zuhridinovich* *Qurbonov Mahammadqodir Erkinovich*	109
15	Konussimon maydalagichining ishlash samaradorligini oshirish uchun uning ichki (harakatlanuvchi) bronyasini yig‘ma qismlardan tayyorlashning ilmiy asoslari. *Qosimov Karimjon Zuhriddinovich* *Zuhritdinov Alisher Faraxidin o‘g‘li* *Qosimova Maloxat Karimjonovna*	118

ISSN 3030-3907

	Zo'xriddinov Dilmurod Karimjon o'g'li *Mahammadjonov Nurmahammad Abduvahob o'g'li*	
16	Modern principles of designing drip irrigation systems in greenhouses *Mazahir Mahammad Isayev* *Normatov Ibrokhimali Kholmamatovich* *Natavan Mammad Khasayeva* *Khalid Khalig Khalilov* *Kamran Rovshan Gasimov*	124
17	Qalmoqqir koni rudalarida foydali komponentlarning joylashish shakllari va boyitish samaradorligini oshirish usullari *Boymurodov Najmiddin Abduqodirovich* *Islomov Erkinjon Odiljon o'g'li*	133
18	Qoplamali kanallarning gidravlik hisobi *T.U.Apakxujayeva* *M.Mamajonov*	143
19	Magistral kanallardagi suzuvchi mikro-geslar kaskadini intellektual boshqarish tizimlari *Qosimov Oybek Abdumannon o'g'li*	151
20	Analyzing the digital economy infrastructure of uzbekistan in the context of global processes *Usmanova Nasiba Yunusovna*	157
21	Gidrofob beton materiallarining olinish texnologiyasi *Imamov Suxrob Solexovich* *Ilhomov Javohir In'omjonovich*	162
22	Ta'lim jarayonida data analytics va machine learning texnologiyalari asosida o'quvchilar akademik natijalarini prognozlash modeli *Gulmuradova Lolaxon Shavkatovna*	169
23	Modifikatsiyalangan gidrofob betonlarning xossalarini oshirish texnologiyasi *Imamov Suxrob Solexovich* *Abdukarimov Ahmat Kamol o'g'li* *Nematov Behzod Ikromjon o'g'li*	180
24	Boshlang'ich ta'limda xalqaro baholash dasturlari asosida ta'lim sifatini oshirish omillari *Xushvaqtova Nilufar Xasan qizi*	186
25	Инъекционные технологии в укреплении конструкций памятников архитектуры: зарубежный опыт и перспективы его адаптации для исторических объектов бухары и узбекистана *Файзуллаева З.Н.*	192
26	Heavy feedstock visbreking process. *Samadov A.Kh.* *M.Sh Meilieva* *Sh.O.Mallayev*	206
27	Olmosli burg'ularning qattiq tuzli qatlamlarga ishlatilishini asoslash *Bekjonov Rozisher Soatmurodovich* *Bobomurodov O'tkir Ziyodullayevich* *Jo'rayev Eldor Isroilovich*	215
28	Assessment of the efficient utilization of garland turbine-based micro-hydropower plants under climate change conditions and their impact on water resources. *Zokirov Islomjon Baxtiyor o'g'li*	221
29	Siloksan-akril sopolimer sintezi va uning emal bo'yoq termik xossalariga ta'siri *Asadova Farangis Ixtiyor qizi* *Ostonov Firuz Istamovich* *Jumayev Jabbor Hamroqulovich*	239
30	Сам тизимларида қўлланиладиган геометрик моделлаштириш методлари ва уларнинг илмий таҳлилий баҳоси *Авлякулова Шоҳида Бабаджановна*	244

ISSN 3030-3907

31	Production of high-temperature-resistant stabilizing ether for selbaz-pas drilling mixtures for the oil and gas industry from cellulose-basalt fiber composites *Sattorov Laziz Kholmurodovich* *Kurbanov Abdiraxim Axmedovich* *Rahmatov Xudoyor Boboniyozovich* *Juraeva Huriyat Zoirovna*	254
32	Technology for obtaining drilling fluids from pas stabilizers based on molasses cellulose and basalt fiber with improved properties for evaporating fluids *Sattorov Laziz Kholmurodovich* *Kurbanov Abdiraxim Axmedovich* *Rahmatov Xudoyor Boboniyozovich* *Juraeva Huriyat Zoirovna*	263
33	Sun'iy neyron tarmoqlar asosida texnologik obyektlarningadabtiv boshqarish tizimini sintezlash algoritmlari *Karimov Olimjon Rasulovich* *B.T.Vafoqulovich*	271
34	Loyiha asosida o'qitish texnologiyasi negizida sun'iy intellektli "aqlvoy" platformasini yaratishning pedagogik imkoniyatlarini takomillashtirish *Toshpo'latova Shahnozabonu Bobomurodovna*	278
35	Ftorli β-dikarbonil birikmalarning olinishi va tuzilishi *Halimova Hulkar Amin qizi*	285
36	Economic efficiency analysis of a corrosion inhibitor synthesized from linear alkylbenzene sulfonic acid, urea, and phosphoric acid for the oil and gas industry *Nazarov Sardor* *Yaxshiyeva Go`zal* *Berdiyev Sunnat* *Olimov Bobir Bahodirovich*	294
37	Past navli silvinitlarni qayta ishlash texnologiyasini ishlab chiqish *J.Safarbayev*	300
38	Теоретическая обсуждения и исследование вынужденных колебаний составного дискретизирующего барабанчика пневмомеханических прядильных машин *Эшмухамедов Латиф Махмаюсуфович* *Мирзаев Отабек Абдукаримович* *Эгамбердиева Манзура Олимжон кизи*	308
39	Получение лигноцеллюлозы из коры сосны и исследование её физико-химических свойств *Умурзакова М.Г.* *Махматкулова З.Х.*	316
40	Gipomagnit maydonning dorivor yalpizda mentol hosildorligi va fotosintetik faollikka ta'siri *Dilnura Saidqulova* *Anvarjon Buronov*	328
41	Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishda neyron tarmoqlarni o'qitish qoidalarini qo'llash *Sabirov Ulug'bek Kuchkarovich*	335
42	Необходимость применения расширяющегося волокнистого тампонажного раствора для цементирования продуктивной части эксплуатационной колонны *Айтмуратов Шарапат Азатович* *Комилов Толиб Олимович* *Орипов Азиз Аброрович* *Умедов Шерали Халлокович*	342
43	Axborotni intellektual qidirishda ramziy va sub-simvolik yondashuvlarning qiyosiy tahlili hamda gibrid modelga bo'lgan ehtiyoj *Absalamova Diyora Bo'riboyevna*	352
44	Qayta tiklanadigan energiya manbalaridan kompleks foydalaniladigan quyosh issiqxonasining o'rni *Komilova Nodira Abdirahmon qizi*	361

ISSN 3030-3907

45	Digital workflow architecture for real-time integration of block models and operational grade control in small-scale mining *Yusupov Sh.M.* *Ravshanov Z.Y.* *Pardayev Sh.Sh.* *Ergasheva Z.A.*	373
46	Biosintezlangan kumush nanozarrachalarining fotokatalizda qo‘llanilishining afzalliklari va kamchiliklari *M.G‘. Eshmurodova* *G.Z. Narmayeva*	384
47	Геометрические модели объёмных тел в задачах трёхмерного моделирования подземных водоносных горизонтов *Турмуханов Нуркен Кажымуханович* *Нуратдинова Кумар Нуразизовна*	399
48	Yashil kimyo asosida chiqindisiz texnologiyalar yaratish *Ravshanova Sojida Safarovna*	413
49	Tektonik buzilish hududlaridagi karyer bortlari deformatsion holatini monitoring qilish va turg‘unligini ta’minlash bo‘yicha zamonaviy ilmiy yondashuvlar hamda innovatsion texnologiyalar tahlili *J.H.Abdumalikov* *V.R.Kadirov* *Z.Y.Ravshanov*	422
50	Avtogreyderlar uchun gibrid energetik tizimlarni qo‘llash: muammolar va istiqbollar *Qo‘chqorov Dostonjon Shokirjon o‘g‘li* *Pirnayev Sharofiddin Asatillayevich*	429
51	Разработка технологии переработки медной руды одного из месторождений узбекистана *Салижанова Гулнорахон Кахаровна* *Абдуллаева Дилноза Очилбой кизи.*	435
52	Применение композиционного полимерного реагента для вскрытия скважин с аномально низким пластовым давлением *Кочкаров Сардор Юлдашеувич* *Комилов Толиб Олимович* *Умедов Шерали Халлокович* *Бегижонов Илхом Иноятуллоевич* *Абдиганиев Жахонгир Эркин угли*	443
53	Qishloq xo‘jaligi ekin maydonlarining ekologik holat ma’lumotlarini baholash algoritmlari *Qaypov Aziz Shamshetdinovich* *Allamuratov Timur Koshmurat o‘g‘li* *Joldasbaeva Rano Murad qizi*	449
54	Development of a digital twin based on artificial intelligence to increase the efficiency of excavator-dump truck complexes in open pits *Mukhiddinov Khusniddin* *Shonanov Oybek* *Khalmatov Ulugmurod* *Khalmatov Doston*	455
55	Исследование гигроскопических свойств хлопкового сырья и процесса сушки *Хурмаматов Абдугаффор Мирзабдуллаевич* *Рахмонов Дилшод Дониёр ўғли*	462

ISSN 3030-3907

ZAMONAVIY SHAHARLARNI BARPO ETISHDA ENERGIYANI TEJOVCHI TEXNOLOGIYALAR VA QAYTA TIKLANUVCHI ENERGIYA MANBALARIDAN FOYDALANISH ISTIQBOLLARI

Mirzayeva Umidaxon Murodjon qizi
Andijon davlat texnika instituti, "Materialshunoslik va kimyo muhandisligi" kafedrasi p.f.f.d (PhD)
E-mail: u.mirzayeva@adti.uz

Annotatsiya. Ushbu maqolada zamonaviy shaharlarni rivojlantirish jarayonida qo‘llanilayotgan energiya samarador texnologiyalar (LED yoritish tizimlari, intellektual issiqlik nazorati, energiya samarador qurilish materiallari) hamda quyosh, shamol, geotermal va bioenergiya manbalarining istiqbollari tahlil qilingan. Tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, LED yoritish energiya sarfini 60–80% ga, intellektual avtomatlashtirilgan tizimlar binolardagi issiqlik energiyasi sarfini 25–35% ga kamaytiradi. Quyosh va shamol energiyasi integratsiyasi shaharlarning elektr energiyasiga bo‘lgan ehtiyojining 30–45% ini qoplash imkonini beradi.

Kalit so‘zlar: aqlli shahar; energiya samaradorligi; qayta tiklanuvchi energiya; LED texnologiyalari; quyosh paneli; shamol energiyasi; geotermal energiya; ekologik barqarorlik; urbanizatsiya; innovatsion texnologiyalar.

Аннотация. В настоящей статье проанализированы перспективы применяемых в процессе развития современных городов энергоэффективных технологий (LED-системы освещения, интеллектуальный контроль теплоснабжения, энергоэффективные строительные материалы), а также солнечной, ветровой, геотермальной и биоэнергии. Результаты анализа показали, что LED-освещение снижает расход энергии на 60–80%, а интеллектуальные автоматизированные системы уменьшают потребление тепловой энергии в зданиях на 25–35%. Интеграция солнечной и ветровой энергии позволяет покрыть 30–45% потребности городов в электроэнергии.

Ключевые слова: умный город; энергоэффективность; возобновляемая энергия; LED-технологии; солнечная панель; ветровая энергия; геотермальная энергия; экологическая устойчивость; урбанизация; инновационные технологии.

Abstract. This article analyzes the prospects of energy-efficient technologies applied in the development of modern cities (LED lighting systems, intelligent heat control, energy-efficient construction materials), as well as solar, wind, geothermal, and bioenergy sources. The results of the analysis show that LED lighting reduces energy consumption by 60–80%, while intelligent automated systems reduce thermal energy consumption in buildings by 25–35%. The

integration of solar and wind energy can cover 30–45% of the electricity demand of cities.

Keywords: smart city; energy efficiency; renewable energy; LED technologies; solar panel; wind energy; geothermal energy; environmental sustainability; urbanization; innovative technologies.

1. KIRISH.

So‘nggi o‘n yilliklarda jahon miqyosida urbanizatsiya jarayonining shiddatli sur'atlar bilan rivojlanishi shaharlarning energiya iste'moli hajmini sezilarli darajada oshirib yubordi. Birlashgan Millatlar Tashkilotining hisob-kitoblariga ko‘ra, 2050-yilga borib jahon aholisining 68% i shaharlarda istiqomat qiladi va shahar infratuzilmasi global energiya iste'molining 75% gacha qismini tashkil etadi [1]. Bu holat an'anaviy energetika tizimlariga bo‘lgan bosimni oshiribgina qolmay, balki atrof-muhitga ta'sirini ham keskinlashtiradi.

O‘zbekiston Respublikasida ham urbanizatsiya jarayoni jadal sur'atda kechmoqda. 2030-yilga qadar mamlakat aholisining qariyb 60 foizi shaharlarda istiqomat qilishi kutilmoqda, bu esa shaharsozlik, transport va energetika tizimlarini tubdan modernizatsiya qilishni taqozo etmoqda [2]. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining "2030-yilgacha bo‘lgan davrda yashil iqtisodiyotga o‘tishni jadallashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida"gi PF-158-sonli Farmoni mamlakatda qayta tiklanuvchi energiya manbalari ulushini elektr energiyasi balansida 25 foizdan ortiqqa yetkazish vazifasini belgilab berdi [3].

Mazkur sharoitda "aqlli shahar" (smart city) konsepsiyasi aynan urbanizatsiya, energiya tanqisligi va ekologik muammolarni kompleks hal etishga qaratilgan zamonaviy yondashuv hisoblanadi. Ushbu konsepsiya energiyani tejovchi texnologiyalar, qayta tiklanuvchi manbalar, intellektual boshqaruv tizimlari va raqamli infratuzilmaning uyg‘unligida amalga oshiriladi [4, 5].

Tadqiqotning maqsadi - zamonaviy shaharlarni qurishda energiyani tejovchi texnologiyalar va qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish istiqbollarini tahlil qilish, ularning samaradorlik ko‘rsatkichlarini baholash va O‘zbekiston sharoitida joriy etish bo‘yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqot vazifalari quyidagilardan iborat: birinchidan, zamonaviy shaharlarda qo‘llaniladigan asosiy energiya samarador texnologiyalarni tasniflash; ikkinchidan, qayta tiklanuvchi energiya manbalarining istiqbolli yo‘nalishlarini aniqlash; uchinchidan, ushbu yechimlarning iqtisodiy va ekologik samaradorligini xalqaro tajriba asosida baholash; to‘rtinchidan, mahalliy sharoitda joriy etishning afzalliklari va cheklovlarini tahlil qilish.

2. MATERIALLAR VA METODLAR.

ISSN 3030-3907

Tadqiqot tizimli yondashuv asosida olib borildi va u uch asosiy metodologik bosqichni o‘z ichiga oldi. Birinchi bosqichda 2018–2024-yillar oralig‘ida nashr etilgan ilmiy adabiyotlar, xalqaro tashkilotlarning hisobotlari (IEA, IRENA, UN-Habitat) hamda O‘zbekiston Respublikasi me'yoriy hujjatlari tahlil qilindi. Jami 45 dan ortiq manba tahlil etildi va ulardan eng dolzarb 12 tasi mazkur ishda qo‘llanildi.

Ikkinchi bosqichda energiya samarador texnologiyalarning xalqaro tajribasi qiyosiy tahlili bajarildi. Tadqiqot ob'ekti sifatida Yevropa (Kopengagen, Stokgolm, Vena), Osiyo (Singapur, Seul, Tokio) va MDH mamlakatlari (Astana, Toshkent) shaharlarida joriy etilgan loyihalar olindi. Texnologiyalarning energiya samaradorlik ko‘rsatkichlari, qaytarilish muddati va ekologik ta'siri bo‘yicha ma'lumotlar to‘plandi.

Uchinchi bosqichda mavjud ma'lumotlarning tizimli tasnifi va statistik ishlovi amalga oshirildi. Energiya samaradorligi koeffitsienti (EER), iqtisodiy qaytarilish muddati (ROI) va karbonat dioksid emissiyasini qisqartirish ko‘rsatkichlari bo‘yicha solishtirma baholash o‘tkazildi. Tahlil natijalari jadvallar va diagrammalar shaklida umumlashtirildi.

3. NATIJALAR.

3.1. Energiyani tejovchi texnologiyalar tahlili

Zamonaviy shaharlarda qo‘llaniladigan energiyani tejovchi texnologiyalarni shartli ravishda uch asosiy guruhga ajratish mumkin: yoritish tizimlari, intellektual mikroiqlim boshqaruvi va energiya samarador qurilish materiallari [6, 7].

LED-yoritish texnologiyalari hozirda eng keng tarqalgan va iqtisodiy jihatdan asoslangan yechim hisoblanadi. An'anaviy cho‘g‘lanma va lyuminessent lampalarga nisbatan LED-chiroqlar 60–80% gacha kam energiya iste'mol qiladi va xizmat muddati 25 000–50 000 soatga yetadi. Andijon shahrida ko‘cha yoritish tizimini LED-chiroqlarga almashtirish bo‘yicha pilot loyihasi natijalarining ko‘rsatishicha, yillik elektr energiyasi sarfi 65% ga, xizmat ko‘rsatish xarajatlari esa 40% ga qisqartirilgan.

Intellektual mikroiqlim boshqaruvi (HVAC) tizimlari binoning haroratini, namligini va havo aylanishini foydalanuvchi mavjudligi va atrof-muhit holatiga qarab avtomatik ravishda moslashtiradi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, bunday tizimlarning joriy etilishi binolarda issiqlik energiyasi sarfini 25–35% ga, sovutish xarajatlarini esa 20–30% ga kamaytiradi [8].

Energiya samarador qurilish materiallari sirasiga ko‘p qatlamli pano-blok devorlar, vakuum izolyatsion oynalar va aks ettiruvchi tomlar kiradi. Ularning qo‘llanilishi binoning umumiy issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsientini 0,28

ISSN 3030-3907

W/m²·K dan 0,12 W/m²·K gacha kamaytirib, isitish xarajatlarini deyarli 2 baravarga qisqartirish imkonini beradi.

Energiya samarador texnologiyalarning solishtirma samaradorlik ko‘rsatkichlari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

Energiya samarador texnologiyalarning samaradorlik ko‘rsatkichlari

Texnologiya	Energiya tejash, %	Qaytarilish muddati, yil	CO_2 qisqarish, %
LED yoritish	60–80	2–3	55–70
Intellektual HVAC	25–35	4–6	20–30
Issiqlik izolyatsiyasi	30–50	5–8	25–40
Vakuum oynalar	15–25	6–10	12–20
Smart Grid tarmoqlari	10–20	7–10	15–25

3.2. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari istiqbollari

Qayta tiklanuvchi energiya manbalarining shaharsozlikdagi roli yildan-yilga o‘sib bormoqda. Xalqaro Energiya Agentligi (IEA) ma'lumotlariga ko‘ra, 2023-yilda qayta tiklanuvchi manbalarning jahon elektr energiyasi ishlab chiqarishidagi ulushi 30,3% ni tashkil etdi va 2030-yilga borib bu ko‘rsatkich 50% dan oshishi prognoz qilinmoqda [9].

Quyosh energiyasi O‘zbekiston uchun eng istiqbolli yo‘nalish hisoblanadi. Mamlakat hududida quyosh radiatsiyasi yiliga o‘rtacha 1 800–2 200 kVt·soat/m² ni tashkil etib, bu Yevropa davlatlaridan 1,5–2 baravar yuqoridir [10]. Binolar tomida o‘rnatiladigan fotoelektrik panellar joriy bozor narxlarida 6–8 yil ichida o‘zini qoplaydi va 25 yil davomida elektr energiyasi ishlab chiqaradi.

Shamol energiyasi tog‘oldi va dasht hududlari uchun maqbul yechim hisoblanadi. Shamol tezligi 5,5–7,5 m/s bo‘lgan hududlarda o‘rnatiladigan zamonaviy turbinalarning quvvat koeffitsienti 30–40% ni tashkil etadi. O‘zbekistonda Bo‘ka, Sherobod va Qoraqalpog‘iston hududlari shamol energetikasini rivojlantirish uchun yuqori salohiyatga ega.

Geotermal energiya - yer osti issiqligidan foydalanish texnologiyasi - xalqaro tajribada keng qo‘llanilmoqda. Issiqlik nasoslari yerning 50–200 m chuqurligidagi barqaror harorat (12–18 °C) dan foydalanib, isitish va sovutish uchun zarur energiyani 3–4 baravar samaraliroq yetkazib beradi. Andijon viloyatining geotermal salohiyati ushbu texnologiyani joriy etish uchun yetarlidir.

ISSN 3030-3907

Bioenergiya manbalari maishiy va qishloq xo‘jalik chiqindilarini metan ishlab chiqarish va elektr energiyasiga aylantirishga asoslanadi. Andijon viloyati qishloq xo‘jalik chiqindilari yiliga 1,2 mln tonnani tashkil etib, ulardan taxminan 180 mln m³ biogaz olish mumkin.

Qayta tiklanuvchi energiya manbalarining solishtirma tahlili 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval.

Qayta tiklanuvchi energiya manbalarining qiyosiy ko‘rsatkichlari

Manba turi	LCOE, USD/kVt·soat	Quvvat koeffitsienti, %	Xizmat muddati, yil
Quyosh (PV)	0,036–0,055	18–22	25–30
Shamol (quruqlikda)	0,030–0,050	30–40	20–25
Geotermal	0,060–0,090	70–85	30–50
Bioenergiya	0,070–0,100	50–70	20–25

3.3. Texnologiyalarni integratsiyalash imkoniyatlari

Energiyani tejovchi texnologiyalar va qayta tiklanuvchi manbalarning yagona tizimga birlashtirilishi eng yuqori samaradorlikni ta'minlaydi. Bunday hibrid yondashuv "net-zero" (sof nol) konsepsiyasini amalga oshirish imkonini beradi, ya'ni bino yoki butun shahar mahallasi o‘zi iste'mol qilgan miqdordagi energiyani mustaqil ravishda ishlab chiqaradi [11].

Daniya, Germaniya va Niderlandiyada amalga oshirilgan loyihalar shuni ko‘rsatdiki, integratsiyalashgan yondashuv shahar darajasidagi umumiy energiya iste'molini 35–50% ga kamaytirish, CO_2 chiqindilarini esa 40–60% ga qisqartirish imkonini beradi. Bunda asosiy element sifatida "aqlli energiya tarmog‘i" (Smart Grid) xizmat qiladi, u istemolni real vaqtda tartibga soladi.

4. MUHOKAMA.

Olib borilgan tahlil natijalari energiyani tejovchi texnologiyalar va qayta tiklanuvchi manbalarning birgalikda qo‘llanilishi shahar miqyosida sezilarli iqtisodiy va ekologik samara berishini tasdiqladi. LED yoritish va intellektual HVAC tizimlari nisbatan kam investitsiyani talab qilib, qisqa muddatda o‘zini qoplagani holda, qayta tiklanuvchi manbalar uzoq muddatli barqaror energiya ta'minotini kafolatlaydi.

Shu bilan birga, mazkur texnologiyalarni keng joriy etishda bir qator obyektiv qiyinchiliklar mavjud. Birinchidan, dastlabki kapital qo‘yilmalarning yuqoriligi xususiy mulkdorlar va o‘rta tadbirkorlik subyektlari uchun moliyaviy

ISSN 3030-3907

to‘siq bo‘lmoqda. Ikkinchidan, texnologiyalarning samarali ekspluatatsiyasi uchun zarur bo‘lgan malakali muhandis-texnik kadrlar tanqisligi sezilmoqda. Uchinchidan, mavjud me'yoriy-huquqiy baza energiya samarador qurilish standartlarini majburiy talab sifatida belgilash bo‘yicha takomillashtirilishni talab qiladi.

O‘zbekistonning iqlim sharoitlari (yuqori quyosh radiatsiyasi, mo‘tadil shamol salohiyati, mavsumiy harorat tebranishi) qayta tiklanuvchi energiyaning aksariyat turlarini joriy etish uchun qulay imkoniyat yaratadi. Davlat tomonidan amalga oshirilayotgan rag‘batlantiruvchi siyosat - soliq imtiyozlari, imtiyozli kreditlar, "yashil" sertifikatsiya tizimi - bu yo‘nalishdagi rivojlanishni tezlashtirishi mumkin.

Xalqaro tajribaning ko‘rsatishicha, energiya samarador shahar infratuzilmasini yaratish uchun davlat-xususiy sherikchilik mexanizmidan keng foydalanish maqsadga muvofiq. Shahar hokimiyatlari, ishlab chiqaruvchi korxonalar, ilmiy-tadqiqot institutlari va aholining hamkorligi muvaffaqiyatning asosiy omili hisoblanadi.

5. XULOSA.

Tadqiqot natijalariga ko‘ra, zamonaviy shaharlarni rivojlantirishda energiyani tejovchi texnologiyalar va qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish iqtisodiy va ekologik nuqtai nazardan to‘liq asoslangan strategik yo‘nalish hisoblanadi. LED yoritish texnologiyalari energiya sarfini 60–80% ga, intellektual HVAC tizimlari 25–35% ga kamaytirib, dastlabki investitsiyalarni 2–6 yilda qoplaydi. Quyosh va shamol energiyasining hibrid integratsiyasi shaharlarning elektr energiyasiga bo‘lgan ehtiyojining 30–45% ini qoplash imkonini beradi.

O‘zbekiston sharoitida ushbu texnologiyalarni keng joriy etish uchun quyidagi tavsiyalar ishlab chiqildi: yangi quriladigan binolarda energiya samaradorlik standartlarini majburiy talab sifatida belgilash; quyosh panellari va issiqlik nasoslari uchun davlat subsidiyalari tizimini joriy etish; texnik kadrlar tayyorlash bo‘yicha maxsus dasturlarni amalga oshirish; pilot "aqlli mahalla" loyihalarini Andijon, Toshkent va Samarqand shaharlarida sinovdan o‘tkazish.

Olib borilgan ishning ilmiy-amaliy ahamiyati zamonaviy shaharlarni qurishda barqaror energetika printsiplarini tatbiq etish uchun ilmiy asos yaratishidan iborat. Keyingi tadqiqotlar O‘zbekiston shaharlari uchun individual energiya samaradorlik xaritasini tuzish va uzoq muddatli prognozlarni ishlab chiqishga yo‘naltirilishi maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. UN-Habitat. World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities. – Nairobi: United Nations, 2022. – 386 p.

ISSN 3030-3907

2. O‘zbekiston Respublikasi Davlat statistika qo‘mitasi. Demografik holat va aholi joylashuvi. – Toshkent, 2024. – 124 b.
3. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 2-dekabrdagi "2030-yilgacha bo‘lgan davrda yashil iqtisodiyotga o‘tishni jadallashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida"gi PF-158-sonli Farmoni. – URL: https://lex.uz/docs/-6303080 (murojaat sanasi: 15.04.2024).
4. Albino V., Berardi U., Dangelico R.M. Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives // Journal of Urban Technology. – 2015. – Vol. 22. – №. 1. – P. 3–21.
5. Mohanty S.P., Choppali U., Kougianos E. Everything you wanted to know about smart cities // IEEE Consumer Electronics Magazine. – 2016. – Vol. 5. – №. 3. – P. 60–70.
6. Qahhorov S.Q. Muqobil energiya manbalari: o‘quv qo‘llanma. – Toshkent: Iqtisod-moliya, 2022. – 248 b.
7. Pérez-Lombard L., Ortiz J., Pout C. A review on buildings energy consumption information // Energy and Buildings. – 2008. – Vol. 40. – №. 3. – P. 394–398.
8. Mirzayeva U.M. Zamonaviy shaharsozlik sanoatida qayta tiklanuvchi energiyadan foydalanishning samarali istiqbollari // Holders of Reason. – 2024. – T. 4. – №. 1. – B. 132–134.
9. International Energy Agency (IEA). Renewables 2023: Analysis and forecast to 2028. – Paris: IEA, 2023. – 142 p.
10. Avezov R.R., Akhatov J.S. Solar energy resources of Uzbekistan and prospects of their use // Applied Solar Energy. – 2021. – Vol. 57. – №. 4. – P. 312–319.
11. Lund H., Mathiesen B.V. Energy system analysis of 100% renewable energy systems // Energy. – 2009. – Vol. 34. – №. 5. – P. 524–531.
12. Mirzayeva U., Matboboyeva S., Nosirov M. Nanolazerlar // Yevroosiyo akademik tadqiqotlar jurnali. – 2022. – T. 2. – №. 11. – B. 1209–1214.

ISSN 3030-3907

УЎТ 631.31

ШУДГОРЛАНГАН ЕРЛАРНИ ЭКИШГА ТАЙЁРЛАШДА ҚЎЛЛАНИЛАДИГАН МАШИНА ТЕКИСЛАГИЧИНИНГ ПАРАМЕТРЛАРИНИ АСОСЛАШ

Муқимова Давлатхон Каримовна
Т.ф.ф.д.(PhD), доцент, Андижон давлат техника институти
E-mail: kosidavl28@gmail.com
orcid.org/0000-0002-1080-3048

Аннотация. Мақолада янги шудгорланган далаларга ишлов берадиган машина текислагичининг баландлиги ва текислагични горизонтга нисбатан ўрнатилиш бурчаги бўйича ўтказилган тадқиқотларнинг натижалари келтирилган.

Калит сўзлар: янги шудгорланган далаларга ишлов берадиган машина, текислагич, текислагичнинг баландлиги, текислагични горизонтга нисбатан ўрнатилиш бурчаги.

Аннотация. В статье представлены результаты исследований, посвящённых высоте и углу установки выравнивателя относительно горизонта на машине для обработки ново вспаханных полей.

Ключевые слова: машина для обработки ново вспаханных полей, выравниватель, высота выравнивателя, угол установки выравнивателя относительно горизонта.

Abstract. The article presents research results on the height and angle of the leveler's installation relative to the horizon on a machine for processing newly plowed fields.

Keywords: machine for processing newly plowed fields, leveler, leveler height, leveler installation angle relative to the horizon.

КИРИШ.

Мамлакатимизда очиқ далага экиладиган буғдой ва кузги буғдойдан бўшаган майдонларга такрорий экин сифатида экиладиган сабзавот ва картошка каби экинлар янги, яъни бевосита экишдан олдин шудгорланган ерларга экилади. Бунда ҳайдалган ерлар изма-из экишга тайёрланади ва сўнг экиш тадбирлари амалга оширилади.

Маълумки янги шудгорланган ерларда кўплаб бўшлиқ(ғовак)лар мавжуд бўлиб, улар экиш, суғориш ва қатор ораларига ишлов бериш тадбирларини сифатли ўтказишга имкон бермайди ҳамда ўсимликларни ривожланишига салбий таъсир кўрсатади.

Яна шуни таъкидлаш лозимки уруғларни сифатли экиш ва ундириб олиш учун шудгор юзаси майдаланиш даражаси ва текислиги бўйича экиш фонига қўйиладиган талабларга мос келиши керак.

ISSN 3030-3907

Юқорида таъкидланганларга асосан янги шудгорланган ерларни экишга тайёрлаш бутун ҳайдов қатламини зичлаш ҳамда уларнинг юза қисмини текислаш ва майдалашдан иборат бўлиши лозим.

Ҳозирги пайтда янги ҳайдалган ерларни экишга тайёрлаш ишлари тишли ва дискли тирмалар ҳамда турли мола-текислагичлар билан алоҳида-алоҳида кўп марталаб ўтиб амалга ошириб келинмоқда. Бу тупроқнинг физик-механик хоссаларини ёмонлашуви, тупроқдан кўплаб нам йўқотилиши ҳамда ёқилғи сарфи ва бошқа харажатларни ортиб кетишига олиб келади. Жаҳон миқёсида эришилган илмий ютуқлар ҳамда Республикамизда илгари бажарилган тадқиқотлар таҳлили шуни кўрсатадики, янги шудгорланган ерларни экишга тайёрлашда мавжуд бўлган бу камчиликлар даладан бир ўтишда тупроқни экишга тайёрлаш бўйича барча технологик жараёнлар(ҳайдов қатламини тўлиқ зичлаш, даланинг юза қисмини текислаш ва майдалаш)ни қўшиб бажарадиган, яъни экиш олдидан унга бир ўтишда ҳар томонлама тўлиқ ишлов берилишини таъминловчи машина ишлаб чиқиш йўли билан бартараф этилиши мумкин. Янги шудгорланган ерларга экиш олдидан ишлов беришда бундай машинани қўллаш технологик жараёнларни қўшиб олиб бориш ва агрегатларни даладан ўтишлар сонини камайтириш ҳисобига ёқилғи сарфи ва бошқа харажатларни кескин камайтириш билан бирга иш унумдорлигини ошириш, тупроққа ишлов бериш сифатини яхшилаш ҳамда ундаги нам йўқотилишини олдини олиш, экинларни ўз вақтида экиб, қийғос ундириб олиш имконини беради.

Янги шудгорланган далаларда ўсимлик қолдиқлари ва бегона ўтлар мавжуд бўлган тупроқнинг юқори қатлами ағдарилиб, пастки қатламга ташланади, бунинг натижасида ҳайдов қисмида бўшлиқлар ҳосил бўлади, бу бартараф этилмаса ёки унинг ҳажми минимумга келтирилмаса, суғориш ва қатор ораларига ишлов бериш ишларининг сифати ёмонлашади. Бундан ташқари экинларни сифатли экиш учун тупроқ юқори қатламининг ҳолати зичлиги ва текислиги бўйича экиш фонига қўйиладиган агротехника талабларига мос келиши керак. Айтилганларни ҳисобга оладиган бўлсак, плуг корпуслари ағдарган тупроқ палахсалари машина таъсирида зичланиши, майдаланиши ва текисланиши лозим. Бундан ташқари, ёзги юқори ҳароратни ҳисобга олиб намлик сақланишини таъминлаш учун машина шудгор юзасида майин қатлам ҳосил қилиши керак.[1,2]

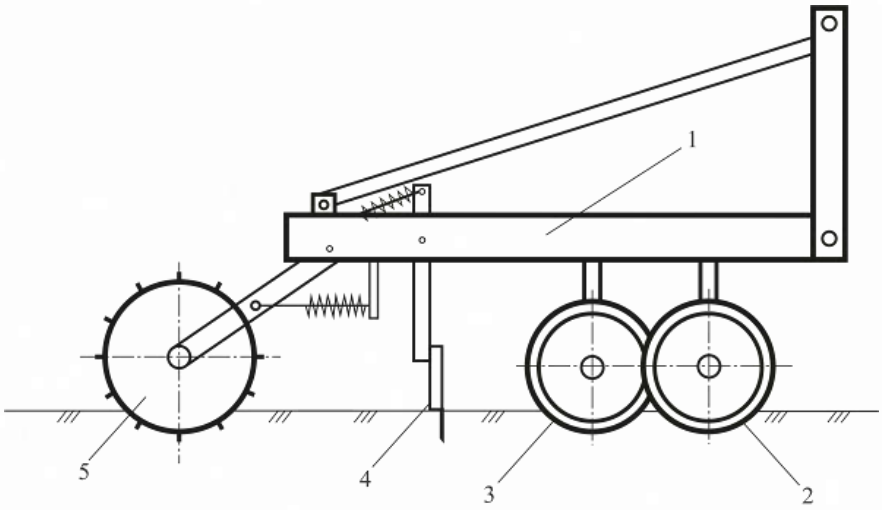
Ушбу айтилганлардан келиб чиққан ҳолда мазкур ишда янги шудгорланган ерларга экиш олдидан ишлов бериш учун даладан бир ўтишда барча технологик жараёнларни қўшиб бажарадиган, яъни ҳайдов қатламини тўлиқ зичлаш ҳамда унинг юза қисмини текислаш ва

ISSN 3030-3907

майдалашни таъминлайдиган машина ишлаб чиқиш, унинг параметрларини асослаш бўйича тадқиқотлар ўтказиш назарда тутилган.

Келтирилган талаблар, адабиётлар ва турли иш органлари технологик жараёнларнинг таҳлили ҳамда ишлаб чиқилган дастлабки талаблар асосида шудгорланган ерларга изма-из ишлов берадиган комбинациялашган машина осиш қурилмаси билан жиҳозланган рама 1 га кетма-кет ўрнатилган понасимон ясси дисклар билан жиҳозланган ғалтакмолалар 2 ва 3, текислагич 4 ва планкали ғалтакмола 5 дан иборат этиб ишлаб чиқилди (1-расм).

Машинанинг иш жараёни қуйидаги тартибда кечади: плуг корпуслари томонидан ағдарилган палахсаларга биринчи бўлиб дискли ғалтаклар таъсир этади. Улар палахсаларни майдалайди ва зичлайди, кейин текислагич шудгор юзасини текислайди. Шундан сўнг тупроққа планкали ғалтакмола таъсир кўрсатиб, шудгор юзасини талаб даражасида зичлайди ва унда нам тўплаш учун майин қатлам ҳосил қилиб кетади.



1-расм. Шудгорланган ерларга ишлов беришда қўлланиладиган комбинациялашган машинанинг схемаси

Қуйидагилар текислагичнинг машина сифат ва энергетик кўрсаткичларига таъсир этувчи асосий параметрларидан ҳисобланади: $H_{mз}$ – текислагичнинг баландлиги, см; $\beta_т$ – текислагични горизонтга нисбатан ўрнатилиш бурчаги, град.

Текислагичнинг баландлиги. Бу омилни текислагич олдида уюлган тупроқ унинг устидан ошиб кетмаслиги шартидан келтириб чиқарилган қуйидаги ифода бўйича аниқлаймиз [3,4,5]

$$H_{mз} \geq \sqrt{\frac{4Z_H l_H}{\pi[ctg\mu - ctg(\beta - \gamma)]}} + H_1(1 - \frac{\rho_0}{\rho}), \qquad (1)$$

бунда Z_0 ,l – дала юзасидаги нотекисликларнинг баландлиги ва узунлиги;

ISSN 3030-3907

H_1 – Комбинациялашган агрегат юмшаткич ва ўқёйсимон панжалари томонидан ишлов бериш чуқурлиги;

μ – текислагич-зичлагич олдида уюлган тупроқнинг қиялик бурчаги (ҳаракат йўналиши бўйича);

ρ_0, ρ – тупроқнинг текислагич ўтишидан олдинги ва ўтгандан кейинги зичликлари.

$Z_н$ =5 см; H_1=20 см; ρ_0 =1,0 г/см^3; ρ_1=1,2 г/см^3; $l_н$=45 см; γ=25°; β=150° ва μ=30° қабул қилиб (1) ифода бўйича текислагичнинг баландлиги камида 15,6 см бўлиши лозимлиги аниқланди.

Текислагични горизонтга нисбатан ўрнатилиш бурчаги. Бу бурчакни текислагич томонидан дала юзасидаги тупроқ бўйлама йўналишида сурилиши таъминланиши лозимлигидан келиб чиққан ҳолда аниқлаймиз, чунки акс ҳолда дала юзасининг етарли даражада текисланиши таъминланмайди.[6,7]

Текислагич тупроқни бўйлама йўналишида суриши учун қуйидаги шарт бажарилиши лозим

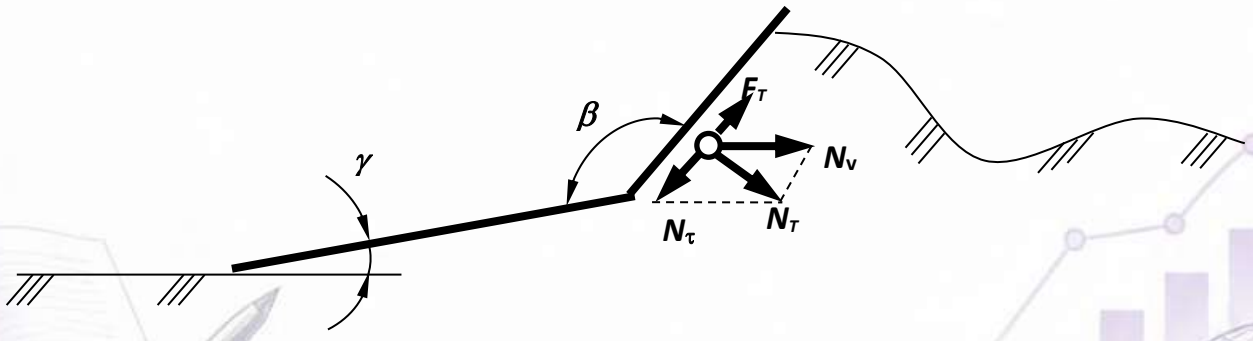
$$90 - \varphi < \beta_T < 90 + \varphi, \qquad (2)$$

бунда φ – тупроқни текислагичнинг ишчи юзасига ишқаланиш бурчаги

(2) ифодага φ ни маълум қийматларини қўйиб, текислагичнинг горизонтга нисбатан ўрнатилиш бурчаги 60-120º оралиғида бўлиши лозимлигини аниқлаймиз.

Текислагичнинг текисловчи қисмини зичловчи қисмига нисбатан эгилиш бурчаги.

Бу бурчакни аниқлаш учун текислагичнинг текисловчи қисм томонидан тупроқ бўлакларига таъсир этувчи кучларни кўриб чиқамиз (2-расм).



2-расм. Текислагич текисловчи қисмини зичловчи қисмига нисбатан эгилиш бурчагини аниқлашга доир схема

Иш жараёнида текисловчи қисм томонидан тупроқ бўлакларига нормал N_T ва ишқаланиш F_T кучлари таъсир этади. Тупроқ бўлагига таъсир этувчи N_T кучни ҳаракат йўналиши ва текисловчи қисм ишчи сирти бўйлаб

ISSN 3030-3907

йўналган N_v ва N_τ кучларга ажратамиз ва 2-расмда келтирилган схемага биноан қуйидагиларга эга бўламиз

$$N_V = \frac{N}{\sin(\beta+\gamma)}; \quad (3)$$

$$N_\tau = Ntg\left[(\beta+\gamma)-\frac{\pi}{2}\right]. \quad (4)$$

Бу ерда N_v куч тупроқ бўлакларини олдинга, N_τ куч эса пастга қараб ҳаракатлантиради.

Дала юзаси сифатли текисланишини таъминлаш учун қўйидаги шарт бажарилиши лозим

$$N_\tau < F_T. \quad (5)$$

Чунки акс ҳолда тупроқ бўлаклари олдинга етарли даражада сурилмасдан тупроққа ботириб юборилади. Бунинг натижасида дала юзаси етарли даражада сифатли текисланмайди.

(4) ифода ва $F=Ntg\varphi$ эканлигини ҳисобга олганда (3) ифода қуйидаги кўринишга эга бўлади

$$tg\left[(\beta+\gamma)-\frac{\pi}{2}\right] < tg\varphi. \quad (6)$$

Бу ифодани β га нисбатан ечиб қуйидаги натижага эга бўламиз

$$\beta < \frac{\pi}{2}+\gamma+\varphi. \quad (7)$$

$\gamma = \frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}$ ифодани ҳисобга олганда бу ифода қўйидаги кўринишига эга бўлади

$$\beta < \frac{3\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}. \quad (8)$$

Бу ифодага φ ни маълум қийматларини қўйиб, текислагич текисловчи қисмини зичловчи қисмига нисбатан эгилиш бурчаги кўпи билан 152º бўлиши мумкинлигини аниқлаймиз.

ХУЛОСА. Янги шудгорланган пайкаллар тупроғининг сифатли майдаланиши ҳамда талаб даражасида зичланиши ва текисланишини таъминлаш учун текислагичнинг баландлиги 15,6 см, горизонтга нисбатан ўрнатилиш бурчаги 60-120º оралиғида, текислагич текисловчи қисмини зичловчи қисмига нисбатан эгилиш бурчаги кўпи билан 152º бўлиши лозим.

ISSN 3030-3907

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

1. Соколов В.Н. Исследование параметров орудия для предпосевного уплотнения и выравнивания почвы в хлопководстве: Дис. ... канд.техн.наук. - Янгиюль, 1974. - 150 с.
2. Эгамов А.Т. Обоснование параметров малы-выравнивателя с регулируемым давлением на почву: Дис. ... канд. техн. наук. - Янгиюль, 1988. - 151 с.
3. Утепбергенов Б.К. Обоснование параметров выравнивающего рабочего органа рыхлителя-выравнивателя: дисс. … канд.техн.наук. – Янгиюль, 2001. -147 б.
4. Тухтакузиев А., Хаджи-Мурадов А.О., Нуриддинов А. Теоретические предпосылки к определению рациональных параметров дискового катка приспособления к плугу //Фарғона политехника институти илмий-техника журнали. – Фарғона, 2006. –№ 2. – Б. 24-26.
5. Бойметов Р.И., Эльбаев Б.Б. Исследование физико-механических свойсть почвы зоны Каршинской степи // Обоснование технологических процессов, механизмов и машин для хлопководство: Сб. тр./ САИМЭ. – Ташкент. 1987. – Вып.29. – Б. 17-19.
6. Аминов С. Обоснование параметров уплотнительного катка к предпосевному орудию для хлопководства: Автореф. дисс. … канд. техн. наук. – Янгиюль, 1988. -16 б.
7. Маматов Ф. М. Қишлоқ хўжалик машиналари. – Тошкент: Фан, 2007. – 339 б.

ISSN 3030-3907

AVTOMOBILLARDA INTERYER DIZAYNINING ZAMONAVIY RIVOJLANISH YO‘NALISHLARI VA ERGONOMIK AHAMIYATI

Musayev Abrorjon Ilxomjon o‘g‘il
Andijon davlat texnika instituti Avtomobilsozlik av transport fakulteti
“Avtomobilsozlik Dizayn” yo‘nalish 2-bosqich talabasi
E-mail: abrormusayev907@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada avtomobillarda interyer dizaynining zamonaviy rivojlanish tendensiyalari, ergonomik xususiyatlari hamda haydovchi va yo‘lovchilar qulayligiga ta’siri tahlil qilingan. Tadqiqotda avtomobil salonining funksional tuzilishi, raqamli texnologiyalarning joriy etilishi, xavfsizlik tizimlari bilan uyg‘unligi hamda ekologik materiallardan foydalanish masalalari ko‘rib chiqilgan. Shuningdek, avtomobil interyerining inson psixologiyasi va boshqaruv samaradorligiga ta’siri ilmiy manbalar hamda zamonaviy avtomobil ishlab chiqaruvchilari tajribasi asosida baholangan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, interyer dizaynini ergonomik va innovatsion asosda takomillashtirish transport vositalarining xavfsizligi, estetik jozibadorligi va foydalanish samaradorligini oshirishda muhim omil ekanligi aniqlangan.

Kalit so‘zlar: avtomobil interyeri, ergonomika, avtomobil dizayni, raqamli texnologiyalar, multimedia tizimlari, xavfsizlik, ekologik materiallar, komfort.

Abstract. This article analyzes modern development trends in automobile interior design, its ergonomic features, and its impact on driver and passenger comfort. The study examines the functional structure of vehicle interiors, the implementation of digital technologies, integration with safety systems, and the use of environmentally friendly materials. Furthermore, the influence of automobile interior design on human psychology and driving efficiency is evaluated based on scientific sources and the experience of modern automobile manufacturers. The results of the study indicate that improving interior design on ergonomic and innovative principles is an important factor in enhancing vehicle safety, aesthetic appeal, and operational efficiency.

Keywords: automobile interior, ergonomics, automobile design, digital technologies, multimedia systems, safety, eco-friendly materials, comfort.

Аннотация. В данной статье анализируются современные тенденции развития дизайна интерьера автомобилей, его эргономические особенности и влияние на комфорт водителя и пассажиров. Рассматриваются функциональная структура автомобильного салона, внедрение цифровых технологий, интеграция с системами безопасности, а также использование экологически чистых материалов. Кроме того, оценивается влияние дизайна автомобильного интерьера на психологическое состояние человека и эффективность управления транспортным средством на основе научных

источников и опыта современных производителей автомобилей. Результаты исследования показывают, что совершенствование интерьера на основе эргономических и инновационных принципов является важным фактором повышения безопасности, эстетической привлекательности и эксплуатационной эффективности транспортных средств.

Ключевые слова: интерьер автомобиля, эргономика, дизайн автомобиля, цифровые технологии, мультимедийные системы, безопасность, экологические материалы, комфорт.

1. KIRISH.

Bugungi globallashuv va texnologik taraqqiyot sharoitida avtomobilsozlik sanoati dunyo iqtisodiyotining eng tez rivojlanayotgan strategik tarmoqlaridan biri sifatida shakllanmoqda. Zamonaviy avtomobillar faqatgina transport vositasi sifatida emas, balki inson uchun qulay, xavfsiz va texnologik muhit yaratadigan murakkab muhandislik mahsuloti sifatida qaralmoqda. Shu sababli avtomobilning texnik ko‘rsatkichlari bilan bir qatorda interyer dizayniga bo‘lgan talab ham keskin ortib bormoqda.

Avtomobil interyeri transport vositasining ichki funksional va estetik muhitini ifodalaydi. Interyer tarkibiga o‘rindiqlar, boshqaruv paneli, multimedia tizimlari, yoritish elementlari, xavfsizlik tizimlari, ventilyatsiya va iqlim nazorati qurilmalari hamda bezak elementlari kiradi. Ushbu elementlarning uyg‘unligi avtomobilning umumiy ekspluatatsion sifati va foydalanuvchi qulayligini belgilab beradi.

So‘nggi yillarda avtomobil ishlab chiqaruvchi kompaniyalar orasida interyer dizayniga alohida e’tibor qaratilmoqda. Chunki avtomobil xaridorlari uchun salonning qulayligi, dizayni va texnologik imkoniyatlari tanlovdagi asosiy mezonlardan biriga aylanmoqda. Ayniqsa premium segmentdagi avtomobillarda interyer dizayni avtomobilning umumiy qiymatini belgilovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. Raqamli texnologiyalarning rivojlanishi avtomobil interyerida ham tub o‘zgarishlarni yuzaga keltirdi. Zamonaviy avtomobillarda sensorli ekranlar, virtual panel, sun’iy intellekt asosidagi yordamchi tizimlar, ovozli boshqaruv, avtomatik iqlim nazorati hamda haydovchini monitoring qiluvchi tizimlar keng qo‘llanilmoqda. Bu esa avtomobil boshqaruvini yanada soddalashtirish va xavfsizlik darajasini oshirish imkonini bermoqda [1].

Avtomobil interyer dizayni bo‘yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, avtomobil salonining ergonomik, estetik va texnologik jihatlari transport vositasining umumiy sifati hamda xavfsizlik darajasini belgilovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. So‘nggi yillarda avtomobilsozlik sanoatida interyer dizayniga bo‘lgan talabning ortishi ushbu yo‘nalish bo‘yicha ilmiy izlanishlarning ham kengayishiga olib keldi.

ISSN 3030-3907

Xorijiy olimlarning tadqiqotlarida avtomobil interyerining inson psixologiyasi va fiziologiyasiga ta’siri alohida o‘rganilgan. Jumladan, J. Smith va K. Lee tomonidan olib borilgan ilmiy ishlarda avtomobil salonining ergonomik loyihalanishi haydovchi charchoqlarini kamaytirishi, boshqaruv samaradorligini oshirishi va yo‘l-transport hodisalari xavfini pasaytirishi ta’kidlangan. Ularning fikriga ko‘ra, haydovchi o‘rindig‘ining anatomik shaklda ishlab chiqilishi, boshqaruv elementlarining optimal joylashuvi hamda ko‘rinish zonasining kengligi xavfsiz boshqaruvni ta’minlovchi asosiy omillardan biridir [2].

Transport ergonomikasi sohasida olib borilgan tadqiqotlarda inson antropometrik ko‘rsatkichlari avtomobil interyerini loyihalashdagi asosiy mezon sifatida qaraladi. Olimlarning ta’kidlashicha, boshqaruv panelining noto‘g‘ri joylashuvi yoki o‘rindiqlarning noqulay shaklda ishlab chiqilishi haydovchining tez charchashiga, diqqatning susayishiga va boshqaruv xatolarining ortishiga sabab bo‘lishi mumkin. Mahalliy tadqiqotchilar tomonidan ham avtomobil interyeri va ergonomikasi bo‘yicha qator ilmiy izlanishlar olib borilgan. Xususan, transport vositalarida qulay boshqaruv muhiti yaratish, haydovchi va yo‘lovchilar uchun komfort darajasini oshirish hamda avtomobil salonining funksional imkoniyatlarini kengaytirish masalalari keng yoritilgan [9].

So‘nggi yillarda avtomobil interyerida raqamli texnologiyalarning qo‘llanilishi ham ko‘plab ilmiy izlanishlarning markazida turibdi. Tadqiqotlarda sensorli ekranlar, virtual boshqaruv panellari, sun’iy intellekt asosidagi yordamchi tizimlar hamda multimedia komplekslarining samaradorligi o‘rganilgan.

Ilmiy manbalarda avtomobil interyerining psixologik ta’siri ham muhim masala sifatida ko‘rib chiqiladi. Tadqiqotlarga ko‘ra, salonning ranglar uyg‘unligi, yoritish tizimi va bezak elementlari inson ruhiy holatiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Yorqin va keskin ranglar haydovchi charchoqlarini oshirishi mumkin bo‘lsa, yumshoq va tabiiy ranglar insonda xotirjamlik hissini uyg‘otadi.

Ambient yoritish tizimlari bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlarda LED texnologiyalaridan foydalanish salon ichida estetik va psixologik qulaylik yaratishda samarali vosita ekanligi aniqlangan. Ayniqsa tungi vaqtda avtomobil boshqarishda yumshoq yoritish tizimlari haydovchi ko‘zining zo‘riqishini kamaytirishi ilmiy jihatdan asoslangan.

Avtomobil interyerida xavfsizlik tizimlarining integratsiyasi ham ilmiy tadqiqotlarning asosiy yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Tadqiqotchilar havo yostiqchalari, xavfsizlik kamarlarini avtomatik boshqarish, haydovchini monitoring qilish tizimlari va ko‘r zona nazorati kabi elementlarning salon dizayni bilan uyg‘unligi yo‘l harakati xavfsizligini oshirishini ta’kidlaydilar [3].

ISSN 3030-3907

Bundan tashqari, ekologik muammolarning kuchayib borishi avtomobil interyerida ekologik materiallardan foydalanish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlarni ham jadallashtirdi. Xalqaro avtomobil ishlab chiqaruvchilari tomonidan qayta ishlangan plastik, sun’iy charm, bambuk tolalari va tabiiy kompozit materiallardan foydalanish tendensiyasi kengaymoqda.

Ilmiy manbalarda ekologik materiallarning quyidagi afzalliklari qayd etilgan:

- atrof-muhitga zararli chiqindilarni kamaytirish;
- avtomobil massasini yengillashtirish;
- salonning estetik ko‘rinishini yaxshilash;
- inson salomatligi uchun xavfsizlikni ta’minlash.

Bugungi kunda elektromobillar ishlab chiqarilishining ortishi avtomobil interyer dizayniga ham sezilarli ta’sir ko‘rsatmoqda. Elektromobillarda ichki yonuv dvigateli mavjud emasligi sababli salon hajmini kengaytirish, yangi funksional zonalarni yaratish va minimalist dizayn konsepsiyalarini qo‘llash imkoniyati kengaydi.

Tesla, Mercedes-Benz, BMW va Audi kabi yirik avtomobil kompaniyalari tomonidan ishlab chiqilgan zamonaviy interyer konsepsiyalarida katta sensorli displeylar, sun’iy intellekt asosidagi boshqaruv tizimlari hamda ekologik materiallardan foydalanishga alohida e’tibor qaratilgan.

Tahlil qilingan ilmiy adabiyotlar shuni ko‘rsatadiki, avtomobil interyer dizayni texnika, ergonomika, psixologiya va ekologiya fanlari bilan uzviy bog‘liq bo‘lgan kompleks yo‘nalish hisoblanadi. Zamonaviy avtomobilsozlik sanoatida interyer dizaynini takomillashtirish transport vositalarining xavfsizligi, qulayligi va bozor raqobatbardoshligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

2. TADQIQOTLAR METODOLOGIYASI.

Mazkur ilmiy tadqiqot avtomobillarda interyer dizaynining zamonaviy rivojlanish yo‘nalishlarini har tomonlama, tizimli va kompleks o‘rganishga qaratilgan bo‘lib, u ergonomik, texnologik, estetik, psixologik hamda funksional jihatlarni o‘z ichiga oladi. Tadqiqotning asosiy maqsadi avtomobil interyer dizaynining inson hayot faoliyatiga ta’sirini ilmiy asosda o‘rganish, mavjud dizayn yechimlarini tahlil qilish hamda ularni takomillashtirish bo‘yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotda ilmiy bilishning umumiy va maxsus metodlaridan keng foydalanildi. Jumladan, tizimli yondashuv, strukturaviy tahlil, qiyosiy tahlil, empirik kuzatuv, statistik tahlil, modellashtirish, kontent tahlili hamda ergonomik baholash usullari asosiy metodologik vositalar sifatida qo‘llanildi. Tadqiqotning

ISSN 3030-3907

metodologik asosini dialektik bilish nazariyasi tashkil etadi, unga ko‘ra barcha hodisa va jarayonlar o‘zaro bog‘liqlik va rivojlanish holatida o‘rganiladi [8].

Tadqiqotda avtomobil interyeri dizayniga qo‘yiladigan xalqaro va milliy talablar o‘rganildi. Xususan, ISO (International Organization for Standardization) tomonidan ishlab chiqilgan ergonomika standartlari (ISO 9241-161 - "Inson-mashina interfeysining interaktiv tizimlari", ISO 14505-2 - "Avtomobillarda termal muhitni baholash", ISO 17488 - "Road vehicles - Ergonomic aspects of transport information and control systems"), Shuningdek, Yevropa Komissiyasining avtomobil xavfsizligi bo‘yicha direktivalari va O‘zbekiston Respublikasining "Yo‘l harakati xavfsizligi to‘g‘risida"gi qonun hujjatlari tahlil qilindi. Normativ hujjatlarning tahlili shuni ko‘rsatdiki, avtomobil interyeri dizayniga qo‘yiladigan talablar tobora qat’iylashib bormoqda, ayniqsa xavfsizlik va ekologik xavfsizlik sohalarida [7].

Tadqiqot natijalariga ko‘ra, avtomobil interyer dizaynini o‘rganishda kompleks, ko‘p metodli yondashuv eng samarali hisoblanadi. Ergonomik, texnologik, psixologik va estetik omillarning birgalikdagi tahlili interyer dizaynini ilmiy asosda rivojlantirish imkonini beradi. Tizimli yondashuv va fanlararo integratsiya ushbu sohadagi tadqiqotlarning asosiy metodologik tamoyillari sifatida qaralishi kerak. Kelgusida tadqiqotlarni kengaytirish va chuqurlashtirish maqsadida real vaqt rejimida haydovchi fiziologik ko‘rsatkichlarini (yurak urishi, qon bosimi, miya faoliyati) qayd etuvchi laboratoriya sinovlarini o‘tkazish, shuningdek, uzoq muddatli (longitudinal) kuzatuvlarni amalga oshirish tavsiya etiladi.

3. TAHLIL VA NATIJALAR.

Tadqiqot davomida olib borilgan tizimli tahlil natijasida avtomobil interyer dizaynining zamonaviy rivojlanish tendensiyalari, ularning ergonomik, psixologik, texnologik va ekologik jihatlari bo‘yicha quyidagi muhim natijalar aniqlandi.

Tadqiqotning dastlabki bosqichida avtomobil interyeri bozorining global miqyosdagi holati va rivojlanish dinamikasi o‘rganildi. The Business Research Company va Straits Research xalqaro tadqiqot institutlarining ma’lumotlariga ko‘ra, global avtomobil interyeri bozori barqaror o‘sish tendensiyasiga ega. 2025-yil holatida bozor hajmi taxminan 159 milliard AQSh dollarini tashkil etgan bo‘lsa, 2026-yilga kelib bu ko‘rsatkich 170 milliard dollarga yetishi prognoz qilinmoqda. O‘rtacha yillik o‘sish sur’ati 6.9-7.2 foiz atrofida baholanmoqda. 2030-yilga borib avtomobil interyeri bozori 225 milliard dollardan oshishi kutilmoqda [5].

Hududiy kesimda tahlil qilinganda, Osiyo-Tinch okeani mintaqasi global avtomobil interyeri bozorining yetakchisi hisoblanadi. Ushbu mintaqa global

ISSN 3030-3907

bozorning qariyb 40 foizini tashkil etadi. Xitoy, Yaponiya, Hindiston va Janubiy Koreyada avtomobil ishlab chiqarish hajmlarining yuqoriligi hamda yuqori sifatli interyer elementlariga talabning ortib borishi ushbu mintaqaning yetakchiligini belgilaydi. Shimoliy Amerika mintaqasi ikkinchi o‘rinda turadi, bu yerda asosan yirik pikap va SUV segmentidagi avtomobillar interyeriga talab yuqori. Yevropa mintaqasi uchinchi o‘rinda bo‘lib, ayniqsa elektromobillar interyeri va ekologik materiallar sohasida yetakchilik qiladi. Yevropada qayta ishlangan materiallardan foydalanish bo‘yicha qat’iy ekologik talablar mavjud bo‘lib, bu interyer materiallari bozorining tarkibiga sezilarli ta’sir ko‘rsatmoqda [5].

Boshqaruv elementlarining joylashuvi tahlil qilinganda, ularning ishchi zonasida optimal tarzda joylashtirilishi haydovchining qo‘l harakatlari sonini 25-30 foizga kamaytirishi mumkinligi aniqlandi. Ishchi zona deb ataladigan hudud - haydovchi kamar taqqan holda, o‘rindig‘idan qimillamay qo‘li bilan erisha oladigan maydondir. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, eng ko‘p foydalaniladigan boshqaruv elementlari (rul, o‘tish tugmalari, signal, faralarni boshqarish) ushbu ishchi zonaning markaziy qismida joylashgan bo‘lishi kerak. Ikkilamchi ahamiyatga ega bo‘lgan elementlar (radio, konditsioner, navigatsiya) esa biroz uzoqroqda joylashtirilishi mumkin. Uchinchi darajali elementlar (ayrim xizmat funksiyalari) esa faqat to‘xtab turganda foydalanish uchun mo‘ljallangan bo‘lishi tavsiya etiladi [6].

Zamonaviy avtomobil interyerining eng muhim tendensiyalaridan biri - an’anaviy fizik tugmalar va ko‘rsatkichlar o‘rnini sensorli ekranlar va virtual boshqaruv panellarining egallab olishidir. Tadqiqot davomida ushbu tendensiyaning ijobiy va salbiy tomonlari chuqur tahlil qilindi.

Sensorli boshqaruv tizimlarining ijobiy tomonlari sifatida quyidagilar qayd etildi. Birinchidan, sensorli ekranlar orqali bir nechta funksiyalarni bitta interfeys orqali boshqarish mumkin. Ikkinchidan, dasturiy ta’minotni yangilash orqali boshqaruv tizimini takomillashtirish va yangi funksiyalar qo‘shish imkoniyati mavjud.

Ushbu natijalar asosida zamonaviy avtomobil interyerini loyihalashda quyidagi tamoyillarga rioya qilish tavsiya etiladi. Tez-tez foydalaniladigan funksiyalar (ovoz balandligi, iqlim nazorati, xavfli signal) uchun fizik tugmalarni saqlab qolish. Sensorli ekranlarda minimalistik va intuitiv interfeysni qo‘llash - menyu tuzilmasi iloji boricha tekis (chuqur bo‘lmagan) bo‘lishi kerak. Ekranlarning optimal soni va hajmini tanlash - haddan tashqari katta ekranlar kognitiv yuklamani oshirishi mumkin. Kognitiv yuklamani real vaqt rejimida baholaydigan va zarurat tug‘ilganda aralashuvchi adaptiv tizimlarni joriy etish [3].

ISSN 3030-3907

Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, avtomobil interyer dizayni bugungi kunda jadal rivojlanayotgan va ko‘plab omillar ta’sirida o‘zgarib borayotgan muhim sohadir. Ergonomik qulaylik, raqamli texnologiyalar integratsiyasi, ekologik materiallardan foydalanish, xavfsizlik tizimlari bilan uyg‘unlik va psixologik jihatlarni hisobga olish - zamonaviy avtomobil interyeri dizaynining asosiy tamoyillari hisoblanadi. Ushbu tamoyillarning to‘g‘ri muvozanatda qo‘llanishi avtomobilning xavfsizligi, qulayligi va raqobatbardoshligini ta’minlaydi.

4. XULOSA VA TAKLIFLAR.

Olib borilgan ilmiy tadqiqot natijalariga ko‘ra, avtomobillarda interyer dizayni zamonaviy avtomobilsozlik sanoatining eng muhim va dinamik rivojlanayotgan yo‘nalishlaridan biri ekanligi aniqlandi. Avtomobil interyeri endilikda faqatgina transport vositasining ichki qoplamasi sifatida emas, balki haydovchi va yo‘lovchilar xavfsizligi, salomatligi va qulayligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadigan murakkab muhandislik-ergonomik tizim sifatida qaralishi kerak. So‘rovnoma natijalariga ko‘ra, respondentlarning 68 foizi avtomobil tanlashda interyer dizaynini muhim deb baholagan, eng muhim mezonlar sifatida o‘rindiq qulayligi (87%), boshqaruv elementlarining joylashuvi (76%) va materiallar sifati (71%) qayd etilgan [4].

Ergonomik qulaylik interyer dizaynining asosiy tamoyili hisoblanadi. O‘rindiqning 95-persentil antropometrik ko‘rsatkichlar asosida loyihalanishi haydovchi komfortini 35-40 foizga oshiradi. Boshqaruv elementlarining optimal joylashuvi qo‘l harakatlari sonini 25-30 foizga kamaytiradi. Optimal ko‘rinish burchagi (30-35 daraja) ta’minlanganda haydovchi reaksiya vaqti 0.5-0.8 sekundga qisqaradi, bu esa avariya xavfini sezilarli darajada pasaytiradi.

Raqamli texnologiyalar ikki tomonlama xususiyatga ega. Sensorli ekranlar avtomobilning funksional imkoniyatlarini kengaytirsa-da, ularning haddan tashqari ko‘pligi haydovchining kognitiv yuklamasini oshiradi. Sensorli ekran bilan ishlash vaqtida qatorni saqlash ko‘rsatkichi 40 foizgacha yomonlashadi, boshqaruv aniqligi va tezligi esa 50-60 foizga pasayadi.

- Avtomobil interyerlarini loyihalashda xalqaro ergonomik standartlar (ISO 9241-161, ISO 14505-2, ISO 14505-3) talablariga to‘liq rioya qilish majburiy bo‘lishi kerak. Haydovchi o‘rindig‘ini loyihalashda antropometrik ko‘rsatkichlarni (5-, 50- va 95-persentil) hisobga olish va boshqaruv elementlarini ishchi zonalarda optimal joylashtirish tavsiya etiladi [8].
- Tez-tez foydalaniladigan funksiyalar (ovoz balandligi, iqlim nazorati, xavfli signal) uchun fizik tugmalarni saqlab qolish, sensorli ekranlarda minimalistik va intuitiv interfeysni qo‘llash, haddan tashqari katta ekranlardan va murakkab menyu tuzilmalaridan qochish lozim.

ISSN 3030-3907

- Qayta ishlanadigan va qayta tiklanadigan materiallardan (bambuk tolalari, poliester monomateriallar, qayta ishlangan plastmassa) foydalanishni kengaytirish, avtomobil sanoati uchun yopiq sirkulyar iqtisodiyot tizimini joriy etish va zararli kimyoviy moddalar chiqindisini kamaytirish zarur.
- LED va OLED texnologiyalarini keng joriy etish, haydovchi ehtiyojlariga mos ravishda dinamik yoritish dasturlarini ishlab chiqish, tungi haydashda ko‘z zo‘riqishini kamaytiruvchi yumshoq yoritish tizimlarini qo‘llash tavsiya etiladi.
- Havo yostiqchalari, xavfsizlik kamarlari va monitoring tizimlarining salon dizayni bilan uyg‘unligini ta’minlash, xavfsizlik elementlarini hech qachon estetik dizayn qurboni qilmaslik kerak.
- O‘zbekiston avtomobilsozlik korxonalarida xorijiy tajribani o‘rganish va joriy qilish, mahalliy ilmiy-tadqiqot markazlarini tashkil etish, sanoat va universitetlar hamkorligida innovatsion loyihalarni amalga oshirish lozim.
- Avtomobil interyeri dizaynida ergonomika, psixologiya, muhandislik va materialshunoslik mutaxassislarining hamkorligini tashkil etish, kognitiv yuklamani kamaytirish bo‘yicha psixologik va fiziologik tadqiqotlarni kengaytirish zarur.
- Nogironligi bo‘lgan shaxslar va keksa yoshdagi haydovchilar uchun qulay interyer yechimlarini ishlab chiqish, har xil jismoniy tuzilishga ega bo‘lgan haydovchilar uchun sozlanuvchi o‘rindiq va boshqaruv tizimlarini takomillashtirish tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Menotti, F., Labanca, L., Laudani, L., et al. (2015). Activation of neck and low-back muscles is reduced with the use of a neck balance system together with a lumbar support in urban drivers
2. Pelicioni, P. et al. (2023). Gait instability during cell phone usage leads to loss of balance
3. Wood, J.M. et al. (2006). Cognitive distraction during visual field tests results in a significant increase in both central and peripheral visual errors .
4. Shen, X.A., Fogarty, J., Wobbrock, J.O. et al. (2025). Drivers struggle to multitask when using dashboard touch screens. University of Washington / ACM Symposium on User Interface Software and Technology .
5. The Business Research Company. (2026). Automotive Interior Market Report 2026 .
6. Wang, G. (2025). [The New Look of Car Interiors: Future Advancements in Materials and Intelligence].. YiChe.com ISO 9241-161:2025. *Ergonomics of human-system interaction - Part 161: Visual user-interface elements* .

ISSN 3030-3907

7. ISO 14505-2:2025. Ergonomics of the thermal environment - Evaluation of thermal environments in vehicles - Part 2: Determination of equivalent temperature .
8. ISO 14505-3:2026. Ergonomics of the thermal environment - Evaluation of thermal environments in vehicles - Part 3: Evaluation of thermal comfort using human subjects .
9. ISO 17488:2016. Road vehicles - Transport information and control systems - Detection-response task (DRT) for assessing attentional effects of cognitive load in driving .

ISSN 3030-3907

O‘ZBEK TILIDA SAVOL GENERATSIYASI UCHUN MORFOLOGIK-SINTAKTIK-SEMANTIK TAHLILGA ASOSLANGAN LINGVISTIK MODEL

Nasriddinova Iroda Sayfiddin qizi
Alisher Navoiy nomidagi Toshkent davlat o‘zbek tili va adabiyoti universiteti
Kompyuter lingvistikasi yo‘nalishi 1-kurs magistranti

Annotatsiya. Mazkur maqolada o‘zbek tilida avtomatik savol generatsiyasini amalga oshirish uchun morfologik, sintaktik va semantik tahlilga asoslangan ko‘p bosqichli lingvistik model taklif etiladi. Tadqiqotda savol hosil qilish jarayoni oddiy darakgapni so‘roq gapga aylantirish bilan cheklanmay, balki matnning grammatik tuzilishi, gap bo‘laklari o‘rtasidagi sintaktik munosabatlar hamda axborot markazini aniqlash jarayoni sifatida talqin qilinadi. O‘zbek tilining agglutinativ xususiyati, so‘z shakllarining qo‘shimchalar orqali kengayishi, kelishik va egalik kategoriyalarining savol shakliga ta’siri alohida e’tiborga olinadi. Taklif etilgan model matn segmentatsiyasi, morfologik tahlil, sintaktik strukturalash, semantik bog‘lanishlarni aniqlash, axborot markazini tanlash va mos so‘roq konstruksiyasini shakllantirish bosqichlaridan iborat. Maqolada modelning nazariy asoslari, ishlash mexanizmi va o‘zbek tili uchun amaliy ahamiyati tahlil qilinadi. Tadqiqot natijalari lingvistik qoidalarga asoslangan savol generatsiyasi o‘zbek tilida grammatik to‘g‘ri, mazmunan mos va izohlanadigan savollarni shakllantirishda muhim ahamiyatga ega ekanini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: savol generatsiyasi, lingvistik model, o‘zbek tili, morfologik tahlil, sintaktik tahlil, semantik tahlil, axborot markazi, tabiiy tilni qayta ishlash, NLP.

Аннотация. В данной статье предлагается многоэтапная лингвистическая модель автоматической генерации вопросов на узбекском языке, основанная на морфологическом, синтаксическом и семантическом анализе. В исследовании процесс генерации вопросов рассматривается не только как преобразование повествовательного предложения в вопросительную форму, но и как процесс выявления грамматической структуры текста, синтаксических отношений между членами предложения и информационного центра. Особое внимание уделяется агглютинативной природе узбекского языка, расширению словоформ с помощью аффиксов, а также влиянию падежных и притяжательных категорий на формирование вопроса. Предлагаемая модель включает несколько этапов: сегментацию текста, морфологический анализ, синтаксическое структурирование, выявление семантических связей, выбор информационного центра и формирование соответствующей вопросительной конструкции. В статье анализируются теоретические основы, механизм работы и практическая

ISSN 3030-3907

значимость данной модели для узбекского языка. Результаты исследования показывают, что генерация вопросов на основе лингвистических правил имеет важное значение для формирования грамматически правильных, семантически релевантных и объяснимых вопросов на узбекском языке.

Ключевые слова: генерация вопросов, лингвистическая модель, узбекский язык, морфологический анализ, синтаксический анализ, семантический анализ, информационный центр, обработка естественного языка, NLP.

Abstract. This article proposes a multi-stage linguistic model based on morphological, syntactic, and semantic analysis for automatic question generation in the Uzbek language. The study interprets question generation not merely as the transformation of a declarative sentence into an interrogative form, but as a process of identifying the grammatical structure of the text, syntactic relations between sentence components, and the information focus. Special attention is given to the agglutinative nature of the Uzbek language, the expansion of word forms through affixes, and the influence of case and possessive categories on question formation. The proposed model consists of several stages: text segmentation, morphological analysis, syntactic structuring, identification of semantic relations, selection of the information focus, and formation of an appropriate interrogative construction. The article analyzes the theoretical foundations, operational mechanism, and practical significance of the model for the Uzbek language. The results show that question generation based on linguistic rules is important for forming grammatically correct, semantically relevant, and explainable questions in Uzbek.

Keywords: question generation, linguistic model, Uzbek language, morphological analysis, syntactic analysis, semantic analysis, information focus, natural language processing, NLP.

KIRISH.

Tabiiy tilni qayta ishlash sohasida matn asosida avtomatik savol hosil qilish, ya’ni savol generatsiyasi, matn mazmunini kompyuter tomonidan tushunish, qayta ishlash va baholash bilan bog‘liq muhim yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Mazkur yo‘nalish ta’lim texnologiyalari, avtomatik test tuzish, elektron o‘quv platformalari, hamda savol-javob tizimlari uchun nazariy va amaliy ahamiyatga ega. Chunki matndan savol hosil qilish jarayoni faqat grammatik shaklni o‘zgartirish emas, balki matndagi asosiy axborotni aniqlash, uni lingvistik jihatdan qayta tashkil etish va so‘roq shaklida ifodalashni talab qiladi.

Amaliy jihatdan savol generatsiyasi ko‘pincha darak gapni so‘roq gapga aylantirish jarayoni sifatida tushuniladi. Biroq bunday soddalashtirilgan yondashuv barcha holatlarda yetarli natija bermaydi. Matndagi axborot turli

ISSN 3030-3907

darajalarda namoyon bo‘ladi: ayrim ma’lumotlar alohida gapda ochiq ifodalansa, ayrimlari bir nechta gaplar o‘rtasidagi semantik bog‘lanishlar orqali anglashiladi. Shu sababli savol generatsiyasi jarayonida morfologik, sintaktik va semantik tahlil bosqichlarini o‘zaro bog‘liq holda qo‘llash zarur.

O‘zbek tilning agglutinativ tabiati sababli so‘z shakllari turli grammatik qo‘shimchalar orqali kengayadi, kelishik, egalik, shaxs-son va zamon ko‘rsatkichlari gapdagi sintaktik munosabatlarni belgilaydi. Masalan, so‘zning kelishik shakli savolning “kim?”, “kimni?”, “kimga?”, “kimdan?”, “nima haqida?” kabi turini tanlashda muhim rol o‘ynaydi. Shuning uchun o‘zbek tilida savol generatsiyasi uchun faqat umumiy neyron modellar yoki yuzaki sintaktik transformatsiya yetarli emas; tilning ichki grammatik tizimini hisobga oluvchi lingvistik model zarur.

Bugungi kunda savol generatsiyasi bo‘yicha neyron modellarga asoslangan yondashuvlar keng qo‘llanilmoqda. Bunday modellar katta hajmdagi ma’lumotlar asosida savol hosil qilish imkoniyatiga ega bo‘lsa-da, ular har doim ham savolning qanday lingvistik asosda shakllanganini aniq ko‘rsatib bera olmaydi. Ayniqsa, ta’limiy tizimlar va nazorat qilinadigan NLP modellarida savol hosil qilish jarayonining izohlanishi muhim sanaladi. Shu jihatdan lingvistik yondashuvga asoslangan modellar savol generatsiyasining nazariy asoslarini aniqlashtirish va uni izohlanadigan jarayon sifatida tashkil etish imkonini beradi. Mazkur tadqiqotning maqsadi o‘zbek tilida savol generatsiyasi uchun morfologik, sintaktik va semantik tahlilga asoslangan ko‘p bosqichli lingvistik modelni taklif etish va uning nazariy-amaliy imkoniyatlarini tahlil qilishdan iborat. Tadqiqotda savol generatsiyasi matndan axborot markazini aniqlash, ushbu axborotni grammatik va semantik jihatdan qayta tashkil etish hamda mos so‘roq konstruksiyasini shakllantirish jarayoni sifatida qaraladi.

O‘rganilganlik darajasi

Savol generatsiyasi so‘nggi yillarda tabiiy tilni qayta ishlash sohasida faol o‘rganilayotgan yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Dastlabki tadqiqotlarda bu jarayon asosan qoidalarga asoslangan yondashuvlar orqali amalga oshirilgan bo‘lib, unda deklarativ gaplarni sintaktik jihatdan qayta tuzish orqali savol hosil qilishga e’tibor qaratilgan. Xususan, Heilman va Smith tomonidan taklif etilgan yondashuvda gap bo‘laklarini aniqlash va ularni transformatsiya qilish orqali faktual savollar hosil qilish mumkinligi ko‘rsatilgan [1]. Ushbu tadqiqot savol generatsiyasida sintaktik tahlilning muhim o‘rin tutishini amaliy jihatdan asoslab beradi.

Keyingi bosqichlarda savol generatsiyasi masalasi yanada kengroq kontekstda ko‘rib chiqila boshladi. Kurdi va hammualliflar tomonidan o‘tkazilgan tizimli tahlilda savol generatsiyasi nafaqat grammatik transformatsiya, balki

ISSN 3030-3907

matndan axborotni aniqlash va uni to‘g‘ri talqin qilish bilan bog‘liq jarayon ekani ta’kidlanadi [2]. Bu yondashuv savol sifatining matn tuzilishi, kontekst va axborotning qanday ajratilganiga bevosita bog‘liqligini ko‘rsatadi.

So‘nggi yillarda savol generatsiyasida neyron tarmoqlarga asoslangan yondashuvlar keng qo‘llanila boshladi. Du va hammualliflar tomonidan taklif etilgan model kontekst va matn ichidagi bog‘lanishlardan foydalanib savol hosil qilishni amalga oshiradi [3]. Shuningdek, Brown va hammualliflar tomonidan ishlab chiqilgan yirik til modellari katta hajmdagi ma’lumotlar asosida savollarni avtomatik shakllantirish imkonini beradi [4]. Biroq bunday modellar savol qanday hosil qilingani, qaysi lingvistik omillar asos bo‘lgani va natijaning grammatik-semantik jihatdan qanday izohlanishi kabi masalalarni har doim ham ochiq ko‘rsatib bera olmaydi.

Lingvistik yondashuvga yaqin bo‘lgan ishlarda savol generatsiyasi jarayonida semantik rollar, gap tuzilishi va axborot markazini aniqlash muhim omillar sifatida qaraladi. Masalan, Flor va Riordan tomonidan taklif etilgan yondashuvda savol hosil qilish semantik rollarga asoslangan holda amalga oshiriladi [5]. Bu esa savol generatsiyasini faqat sintaktik emas, balki semantik darajada ham ko‘rib chiqish zarurligini ko‘rsatadi.

Bundan tashqari, umumlashtiruvchi tadqiqotlarda savol generatsiyasi turli metodlar kesimida tahlil qilinib, unda lingvistik va statistik yondashuvlarni birgalikda qo‘llash samarali natija berishi ta’kidlanadi [6]. Ayniqsa, matnni tushunish, kontekstni hisobga olish va axborotning mazmuniy mosligini ta’minlash savol sifatiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi.

Shunga qaramay, mavjud tadqiqotlarning aksariyati ingliz tili yoki resurslarga boy tillar asosida olib borilgan. O‘zbek tilida savol generatsiyasi masalasi hali yetarli darajada o‘rganilmagan bo‘lib, ayniqsa lingvistik model asosida tizimli yondashuvlar deyarli ishlab chiqilmagan. Bu esa o‘zbek tilining morfologik, sintaktik va semantik xususiyatlarini hisobga olgan holda maxsus modellar ishlab chiqish zarurligini ko‘rsatadi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi

Mazkur tadqiqotning ilmiy yangiligi shundan iboratki, unda o‘zbek tilida savol generatsiyasi jarayoni alohida lingvistik bosqichlar asosida modellashtiriladi. Mavjud tadqiqotlarda savol generatsiyasi ko‘proq ingliz tili kabi resurslarga boy tillar misolida o‘rganilgan bo‘lsa, ushbu ishda o‘zbek tilining agglutinativ tuzilishi, kelishik qo‘shimchalari, gap bo‘laklari va semantik axborot markazi savol shakllanishining asosiy omillari sifatida talqin qilinadi. Taklif etilayotgan model savol generatsiyasini izohlanadigan va nazorat qilinadigan jarayon sifatida tashkil etadi. Bu jihat uni faqat neyron modelga asoslangan yondashuvlardan farqlaydi. Modelda savol hosil qilish jarayoni matn

ISSN 3030-3907

segmentatsiyasi, morfologik tahlil, sintaktik tahlil, semantik tahlil, axborot markazini aniqlash va yakuniy savolni shakllantirish kabi ketma-ket bosqichlar asosida amalga oshiriladi. Shu orqali o‘zbek tilidagi savol generatsiyasi uchun nazariy jihatdan asoslangan va amaliy qo‘llash imkoniyatiga ega lingvistik model taklif etiladi.

Taklif etilayotgan lingvistik model

Mazkur tadqiqotda savol generatsiyasi uchun morfologik-sintaktik-semantik tahlilga asoslangan ko‘p bosqichli lingvistik model taklif etiladi. Modelning asosiy konsepsiyasi shundan iboratki, savol matndagi tasodifiy birlik asosida emas, balki grammatik jihatdan aniqlangan, sintaktik jihatdan joylashgan va semantik jihatdan muhim bo‘lgan axborot markazi asosida shakllantiriladi. Model savol generatsiyasini yuzaki transformatsiya sifatida emas, balki matnning ichki tuzilishini hisobga oluvchi lingvistik jarayon sifatida talqin qiladi. Bu jarayonda har bir bosqich keyingi bosqich uchun asos vazifasini bajaradi. Masalan, morfologik tahlil so‘z shakllarini aniqlasa, sintaktik tahlil ushbu so‘zlarning gapdagi vazifasini belgilaydi. Semantik tahlil esa gapdagi mazmuniy munosabatlar va axborot markazini aniqlashga xizmat qiladi.

Taklif etilayotgan model quyidagi asosiy bosqichlardan iborat:

1. Matn segmentatsiyasi.

Dastlab matn gaplarga ajratiladi va savol hosil qilish uchun lingvistik birlik belgilanadi. Bu bosqich savol generatsiyasi uchun boshlang‘ich strukturani yaratadi. Matnning gaplarga to‘g‘ri ajratilishi keyingi tahlil bosqichlarining aniqligiga bevosita ta’sir qiladi.

2. Morfologik tahlil.

Bu bosqichda har bir so‘zning grammatik shakli, so‘z turkumi, kelishik, egalik, son, shaxs va zamon ko‘rsatkichlari aniqlanadi. O‘zbek tilida ushbu bosqich muhim ahamiyatga ega, chunki savol olmoshining tanlanishi ko‘pincha aynan morfologik shaklga bog‘liq bo‘ladi. Masalan, tushum kelishigidagi birlik “kimni?” yoki “nimani?”, jo‘nalish kelishigidagi birlik esa “kimga?” yoki “nimaga?” shaklidagi savollarga asos bo‘ladi.

3. Sintaktik tahlil.

Bu bosqichda gapdagi ega, kesim, to‘ldiruvchi, aniqlovchi va hol kabi komponentlar ajratiladi. Sintaktik tahlil savol qaysi gap bo‘lagiga yo‘naltirilishini belgilaydi. Masalan, ega komponenti “kim?” yoki “nima?” savollarini, to‘ldiruvchi esa “kimni?”, “nimani?”, “kimga?” kabi savollarni shakllantirishga asos bo‘ladi.

4. Semantik tahlil.

Semantik tahlil bosqichida gapdagi mazmuniy munosabatlar, harakat ishtirokchilari, obyekt, sabab, maqsad, vaqt va joy kabi semantik rollar aniqlanadi.

ISSN 3030-3907

Bu bosqich savolning nafaqat grammatik jihatdan to‘g‘ri, balki mazmunan ham mos bo‘lishini ta’minlaydi. Chunki ayrim hollarda savol alohida so‘zga emas, balki butun gap yoki bir nechta gaplar o‘rtasidagi mazmuniy bog‘lanishga asoslanadi.

5. Axborot markazini aniqlash.

Bu bosqichda matndagi asosiy ma’lumot yoki savolga aylantirilishi mumkin bo‘lgan muhim birlik tanlanadi. Axborot markazi savolning mazmuniy markazi hisoblanadi. Savolning sifatli shakllanishi aynan ushbu markazning to‘g‘ri tanlanishiga bog‘liq.

6. Savol konstruksiyasini tanlash.

Aniqlangan axborot markaziga mos so‘roq turi belgilanadi. Bu bosqichda “kim?”, “nima?”, “qachon?”, “qayerda?”, “nima sababdan?”, “qanday?”, “nimaga?” kabi savol shakllaridan biri tanlanadi. Savol konstruksiyasining to‘g‘ri tanlanishi morfologik va sintaktik tahlil natijalariga asoslanadi.

7. Yakuniy savolni shakllantirish.

Yakuniy bosqichda morfologik, sintaktik va semantik tahlil natijalari asosida grammatik jihatdan to‘g‘ri va mazmunan mos savol hosil qilinadi. Bu bosqichda savolning tabiiyligi, aniqligi va kontekstga mosligi tekshiriladi.

Taklif etilayotgan lingvistik modelning bosqichlari va ularning savol generatsiyasidagi vazifalari quyidagi jadvalda umumlashtiriladi.

1-Jadval.

Savol generatsiyasi uchun taklif etilayotgan lingvistik model bosqichlari

Bosqich	Tahlil darajasi	Asosiy vazifasi	Savol generatsiyasidagi roli
1	Matn segmentatsiyasi	Matnni gaplarga ajratish	Savol hosil qilinadigan birlikni belgilaydi
2	Morfologik tahlil	So‘zlarning grammatik shakllarini aniqlash	Savolning grammatik to‘g‘ri shakllanishiga asos yaratadi
3	Sintaktik tahlil	Gap bo‘laklarini aniqlash	Savol qaysi komponentga yo‘naltirilishini belgilaydi
4	Semantik tahlil	Mazmuniy bog‘lanishlarni aniqlash	Savolning mazmunli va kontekstga mos bo‘lishini ta’minlaydi
5	Axborot markazini tanlash	Muhim elementni ajratish	Savolning asosiy yo‘nalishini belgilaydi

ISSN 3030-3907

6	Savol strukturasini tanlash	Savol turini aniqlash	Savol shaklini belgilaydi
7	Yakuniy savolni shakllantirish	Grammatik va mazmuniy mos savol tuzish	Tayyor savol hosil qiladi

Jadvaldan ko‘rinadiki, savol generatsiyasi birgina transformatsiya bosqichidan iborat emas, balki matnni morfologik, sintaktik va semantik jihatdan ketma-ket tahlil qilishga asoslangan murakkab jarayondir. Har bir bosqich yakuniy savolning grammatik to‘g‘riligi, mazmuniy aniqligi va tabiiy shakllanishiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi.

O‘zbek tilida savol generatsiyasiga ta’sir qiluvchi lingvistik omillar. O‘zbek tilida savol generatsiyasi jarayonida tilning morfologik va sintaktik xususiyatlari muhim o‘rin tutadi. Ayniqsa, kelishik qo‘shimchalari, gap bo‘laklari, semantik rollar va axborot markazi savol turini aniqlashda asosiy omillar sifatida namoyon bo‘ladi.

2-Jadval.

O‘zbek tilida savol generatsiyasiga ta’sir qiluvchi lingvistik omillar

Lingvistik omil	Izoh	Savol generatsiyasidagi roli
Kelishik qo‘shimchalari	So‘zning gapdagi grammatik vazifasini ko‘rsatadi	Savol olmoshini tanlashga yordam beradi
Gap bo‘laklari	Ega, kesim, to‘ldiruvchi, hol, aniqlovchi kabi birliklarni belgilaydi	Savol qaysi komponentga berilishini aniqlaydi
Semantik rol	Harakat bajaruvchisi, obyekt, vaqt, joy, sabab kabi ma’nolarni ifodalaydi	Savolning mazmuniy yo‘nalishini belgilaydi
Axborot markazi	Gapdagi asosiy ma’lumotni bildiradi	Savolning asosiy mazmunini shakllantiradi
Kontekst	Bir nechta gaplar o‘rtasidagi mazmuniy bog‘lanishni ta’minlaydi	Murakkab savollarni shakllantirishga yordam beradi

Ushbu omillar savol generatsiyasining o‘zbek tili uchun alohida yondashuv talab qilishini ko‘rsatadi. Chunki o‘zbek tilida so‘z tartibi nisbatan erkin bo‘lishi mumkin, biroq qo‘shimchalar orqali ifodalangan grammatik munosabatlar gap mazmunini aniqlashda muhim rol o‘ynaydi. Shu sababli savol generatsiyasi

ISSN 3030-3907

jarayonida faqat so‘z tartibiga emas, balki morfologik ko‘rsatkichlar va sintaktik munosabatlarga ham tayanish zarur.

NATIJALAR VA MUHOKAMA.

Taklif etilgan lingvistik model savol generatsiyasini izchil va nazorat qilinadigan jarayon sifatida tashkil etish imkonini beradi. Model asosida olib borilgan tahlil shuni ko‘rsatadiki, o‘zbek tilida savol hosil qilishda morfologik ko‘rsatkichlar, ayniqsa kelishik shakllari va gap bo‘laklari o‘rtasidagi sintaktik munosabatlar muhim rol o‘ynaydi. Masalan, tushum kelishigidagi birlik ko‘pincha “kimni?” yoki “nimani?” shaklidagi savolni, jo‘nalish kelishigidagi birlik esa “kimga?” yoki “nimaga?” shaklidagi savolni talab qiladi. Bu holat savol generatsiyasida morfologik tahlilning birlamchi ahamiyatga ega ekanini ko‘rsatadi.

Modelning yana bir muhim jihati semantik tahlil bosqichi bilan bog‘liq. Faqat sintaktik tahlilga asoslangan savol ayrim hollarda grammatik jihatdan to‘g‘ri bo‘lsa-da, mazmunan yetarli darajada aniq bo‘lmasligi mumkin. Semantik tahlil esa gapdagi asosiy axborot markazini aniqlash, harakat ishtirokchilari va mazmuniy bog‘lanishlarni belgilash orqali savolning kontekstga mosligini ta’minlaydi.

Tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, lingvistik modelning asosiy ustunligi uning izohlanadigan xarakterga ega ekanidadir. Neyron modellar ko‘pincha savolni avtomatik hosil qilsa-da, savolning qaysi grammatik yoki semantik asosda shakllanganini izohlash qiyin bo‘ladi. Taklif etilayotgan modelda esa har bir savol muayyan tahlil bosqichlari orqali hosil qilinadi. Bu xususiyat modeldan ta’lim tizimlari, avtomatik test tuzish va o‘quv materiallarini ishlab chiqishda foydalanish imkoniyatini oshiradi.

Shuningdek, model turli tipdagi gaplar asosida bir nechta savol variantlarini hosil qilish imkonini beradi. Bu esa savol generatsiyasining moslashuvchanligini oshiradi hamda undan test tuzish, o‘quv materiallarini ishlab chiqish kabi amaliy vazifalarda samarali foydalanish imkonini yaratadi. Biroq modelning ayrim cheklovlari ham mavjud. Murakkab matnlar, yashirin ma’noli birliklar, ko‘p gapli kontekstlar yoki pragmatik ma’no talab qiladigan holatlarda faqat lingvistik qoidalarga asoslangan yondashuv yetarli bo‘lmasligi mumkin. Bundan tashqari, semantik tahlil bosqichi yetarli darajada chuqur bo‘lmaganda savolning mazmuniy yo‘nalishi noto‘g‘ri aniqlanish ehtimoli mavjud. Zamonaviy neyron modellar bilan solishtirganda lingvistik modelning moslashuvchanligi nisbatan pastroq bo‘lishi mumkin. Biroq uning asosiy ustunligi aniqlik, izohlanish va nazorat qilinish imkoniyatidir. Shu sababli lingvistik va neyron yondashuvlarni birlashtirgan gibrid model ishlab chiqish kelgusidagi tadqiqotlar uchun istiqbolli yo‘nalish sifatida qaraladi.

ISSN 3030-3907

XULOSA.

Ushbu tadqiqotda o‘zbek tilida savol generatsiyasi uchun morfologik, sintaktik va semantik tahlilga asoslangan ko‘p bosqichli lingvistik model taklif etildi. Model savol hosil qilish jarayonini bir gapni so‘roq shakliga oddiy transformatsiya qilish emas, balki matndagi axborot markazini aniqlash va uni grammatik hamda semantik jihatdan qayta tashkil etish jarayoni sifatida talqin qiladi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, o‘zbek tilining agglutinativ xususiyati savol generatsiyasida morfologik tahlilning ahamiyatini oshiradi. Kelishik, egalik, shaxs-son va boshqa grammatik ko‘rsatkichlar savol olmoshining tanlanishi va savolning grammatik shakllanishiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Sintaktik tahlil savolning qaysi gap bo‘lagiga yo‘naltirilishini belgilasa, semantik tahlil savolning mazmuniy aniqligi va kontekstga mosligini ta’minlaydi. Taklif etilgan modelning asosiy ustunligi uning izohlanadigan va nazorat qilinadigan xarakterga ega ekanidadir. Bu jihat uni ta’lim texnologiyalari, avtomatik test tuzish, savol-javob tizimlari va o‘zbek tilidagi NLP ilovalari uchun muhim nazariy asosga aylantiradi. Kelgusida modelni katta hajmdagi o‘zbekcha matnlar korpusida sinovdan o‘tkazish, savol sifatini grammatik, mazmuniy moslik va tabiiylik mezonlari asosida baholash hamda neyron modellar bilan integratsiya qilish maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Heilman M., Smith N. A. Automatic Factual Question Generation from Text. 2011.
2. Kurdi G., Leo J., Parsia B., Sattler U., Al-Emari S. A Systematic Review of Automatic Question Generation for Educational Purposes. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 2020.
3. Du X., Shao J., Cardie C. Learning to Ask: Neural Question Generation for Reading Comprehension. Proceedings of ACL, 2017.
4. Brown T. B. et al. Language Models are Few-Shot Learners. Advances in Neural Information Processing Systems, 2020.
5. Flor M., Riordan B. Semantic Role-Based Question Generation. 2018.
6. Das B., Majumder M., Phadikar S., Sekh A. A. Automatic Question Generation and Answer Assessment: A Survey. Research and Practice in Technology Enhanced Learning, 2021.

ISSN 3030-3907

GIDROELEKTROSTANSIYALARNING MRP/PRP PROTOKOLLARI VA OPC UA ASOSIDA SIL 2 VA IEC 62443 TALABLARIGA MOS ZAXIRALANGAN AVTOMATLASHTIRILGAN BOSHQARUV TIZIMI ARXITEKTURASI

Najmiddinov Shoxijaxon Tursunboy o‘g‘li
“Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” Milliy tadqiqot universiteti magistrant
E-mail: sh.najmiddinov@tiiame.uz
Madaminov Nodirbek Zafarbek o‘g‘li
Andijon davlat texnika instituti assistent

Annotatsiya. Maqolada o‘rta quvvatli gidroelektrostansiyalar uchun mo‘ljallangan zaxiralangan avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimi arxitekturasi taqdim etilgan: dala darajasida MRP, dispetcherlik darajasida PRP protokollari, hamda TLS 1.2 ustidan X.509 sertifikatlari bilan o‘zaro autentifikatsiyalanuvchi OPC UA orqali himoyalangan ma’lumot almashinuvi qo‘llanilgan. ISA-95 modeliga muvofiq uch darajali yechim IEC 61508 bo‘yicha SIL 2 funksional xavfsizlikni va IEC 62443 bo‘yicha kiberxavfsizlikni ta’minlaydi. TIA Portal v17 muhitida o‘tkazilgan modellashtirish halqaning 200 ms dan kam vaqtda qayta tiklanishini va PRP almashinuvida paketlar yo‘qotilmasligini tasdiqladi, Purdue modeli bo‘yicha DMZ bilan segmentatsiya esa kiber-hujumlar yuzasini taxminan 90 % ga qisqartiradi.

Kalit so‘zlar: avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimi; gidroelektrostansiya; zaxiralash; Media Redundancy Protocol; Parallel Redundancy Protocol; OPC UA; funksional xavfsizlik; SIL 2; IEC 61508; IEC 62443.

Аннотация. В работе представлена резервированная архитектура АСУ ТП ГЭС средней мощности, объединяющая протокол MRP на полевом уровне и протокол PRP на диспетчерском уровне с защищённым обменом данными по OPC UA поверх TLS 1.2 и взаимной аутентификацией по сертификатам X.509. Трёхуровневое решение по ISA-95 обеспечивает функциональную безопасность уровня SIL 2 по IEC 61508 и кибербезопасность по IEC 62443. Моделирование в среде TIA Portal v17 подтвердило восстановление кольца менее чем за 200 мс и нулевую потерю пакетов при переключении PRP, а сегментация по модели Purdue с DMZ снижает поверхность кибератаки приблизительно на 90 %.

Ключевые слова: автоматизированная система управления; гидроэлектростанция; резервирование; Media Redundancy Protocol; Parallel Redundancy Protocol; OPC UA; функциональная безопасность; SIL 2; IEC 61508; IEC 62443.

Abstract. This paper presents a redundant Automated Process Control System (APCS) architecture for medium-power hydropower plants that combines the Media Redundancy Protocol (MRP) at the field level with the Parallel Redundancy Protocol (PRP) at the supervisory level, secured by OPC UA over TLS 1.2 with X.509 mutual authentication. The three-level ISA-95 design provides functional safety up to SIL 2 according to IEC 61508 and cybersecurity in accordance with IEC 62443. Simulation in Siemens TIA Portal v17 confirmed sub-200 ms ring recovery and zero packet loss during PRP switchover, while DMZ-based Purdue segmentation reduces the cyber-attack surface by approximately 90 %.

Keywords: automated process control system; hydropower plant; redundancy; Media Redundancy Protocol; Parallel Redundancy Protocol; OPC UA; functional safety; SIL 2; IEC 61508; IEC 62443.

1. INTRODUCTION.

Hydroelectric power plants remain one of the cornerstones of the global renewable-energy mix and continue to play a key role in the energy systems of Uzbekistan and the Central Asian region. According to the International Energy Agency, hydropower currently provides approximately 16 % of global electricity generation, and a substantial share of the existing capacity has been in service for more than thirty years. The aging of equipment combined with the rapid digitalization of energy infrastructure makes the modernization of HPP automation systems a strategically important task for ensuring stable, safe and economically efficient operation [1, 2].

Modern HPPs are complex cyber-physical objects in which hydromechanical, electrical and information processes function as a single system. Unlike thermal and nuclear stations, where heat-related processes dominate, an HPP is characterized by relatively simple thermodynamics but high requirements for the dynamic regulation of water flow, the synchronization of generators with the power grid, and the protection of personnel and equipment against catastrophic failures such as uncontrolled water release or generator runaway [3, 4]. These features make HPPs both highly suitable for deep automation and extremely sensitive to failures of the automation system itself.

Two technical issues are particularly acute. The first is the reliability and fault tolerance of the control system. Any unplanned shutdown of a hydraulic unit produces direct economic losses, may destabilize the local power grid and, in critical cases, may lead to mechanical damage of the unit. The second issue is cybersecurity. The transition from isolated automation islands to digitally integrated platforms with remote access, smart-grid interfaces and corporate-network connections has dramatically expanded the attack surface of HPP control

ISSN 3030-3907

systems [5, 6]. Recent international incidents have demonstrated that critical energy infrastructure represents a high-value target for cyber attackers and that traditional perimeter-based protection is no longer sufficient.

A number of approaches have been proposed to address these issues separately. Hot Standby PLC redundancy and ring-topology field networks based on the Media Redundancy Protocol (MRP) provide robust fault tolerance at the field and control levels [7]. The Parallel Redundancy Protocol (PRP) defined in IEC 62439-3 ensures bumpless changeover at the supervisory level, which is particularly important for SCADA-server communications [8]. The OPC Unified Architecture (OPC UA) standardized in IEC 62541 provides a vendor-independent, cryptographically protected information model for inter-level communications [9]. Finally, the IEC 62443 series of standards defines a layered, zone-based approach to industrial cybersecurity that is compatible with the Purdue Enterprise Reference Architecture [10].

However, an integrated architecture that combines MRP, PRP, secure OPC UA and IEC 62443 zoning specifically for HPP modernization projects has not received sufficient attention in the literature. The aim of the present work is to design and substantiate a redundant APCS architecture for medium-power HPPs that simultaneously satisfies the requirements of functional safety up to SIL 2 according to IEC 61508 and cybersecurity according to IEC 62443, while remaining technically and economically feasible for implementation in the conditions of Uzbekistan and neighboring countries. The objectives of the study are: (1) to formulate the requirements for such an architecture; (2) to design its structure at the field, control and supervisory levels; (3) to specify the secure data-exchange mechanisms; and (4) to evaluate the resulting solution by simulation and comparison with reference projects.

2. METHODS AND MATERIALS.

The study combines analytical, design and simulation methods. The reference object is a typical medium-power HPP with four hydraulic units of 50 MW each (200 MW total installed capacity), equipped with synchronous generators, brushless excitation systems and the usual auxiliary subsystems (cooling, lubrication, drainage and technical water supply). This configuration is representative of HPPs that are currently candidates for modernization in Uzbekistan and the wider Central Asian region.

The architectural design follows the multi-level ISA-95 model, which clearly separates the field level (Level 1), the control level (Level 2) and the supervisory and operations level (Level 3). This separation simplifies maintenance, supports incremental modernization and provides a natural framework for the placement of cybersecurity zones in accordance with IEC

ISSN 3030-3907

62443. The functional safety requirements were derived from IEC 61508 with a target Safety Integrity Level of SIL 2, which corresponds to the typical risk profile of medium-power HPPs and is consistent with international practice for this class of installations [11].

The selection of hardware was based on a multi-criteria analysis covering compliance with functional requirements, certification level, reliability indicators, regional service availability, total cost of ownership over a ten-year horizon, and operational experience on comparable HPP projects. Three programmable logic controller families were compared: Siemens SIMATIC S7-1500H, Rockwell Allen-Bradley ControlLogix and Schneider Electric Modicon M580. For SCADA platforms, Siemens WinCC Professional, Inductive Automation Ignition and Schneider EcoStruxure Operator Terminal Expert were examined. Field instrumentation (radar level sensors, electromagnetic flow meters, pressure transmitters, Pt-100 temperature sensors and accelerometric vibration sensors) was selected with explicit consideration of ingress protection (IP) and electromagnetic compatibility, both of which are critical in the immediate vicinity of high-power synchronous machines.

The verification of the proposed architecture was performed in two simulation environments. Network behavior, including MRP recovery time, PRP zero-loss switchover and OPC UA secure session establishment, was modeled using the integrated simulation tools of Siemens TIA Portal v17 and PLCSIM Advanced. The dynamic behavior of the regulated objects (turbine governor, excitation regulator) was modeled in MATLAB/Simulink R2022a using transfer-function representations of the hydraulic unit, with the parameters identified from the manufacturer's datasheets. The combination of these two environments allowed both the information-flow architecture and the closed-loop control performance to be evaluated before any commitment to physical hardware [12, 13].

The evaluation of the proposed solution is carried out using quantitative indicators (network recovery time, mean time between failures, mean time to repair, alarm rate per operator) and qualitative indicators (compliance with IEC 61508 SIL 2, compliance with IEC 62443, conformity with ISA-101 HMI requirements, conformity with ISA-18.2 alarm management). Comparative analysis with documented reference projects – the Sayano-Shushenskaya HPP modernization, the Hydro-Québec distributed control system and the Three Gorges multi-level SCADA – is used to position the proposed architecture within current international practice [14].

3. RESULTS.

3.1. Three-level redundant architecture

ISSN 3030-3907

The proposed APCS architecture is organized in three levels in accordance with the ISA-95 reference model. The field level (Level 1) comprises the sensors, transmitters, and electromechanical and hydraulic actuators of all four hydraulic units, connected to remote I/O modules located in the unit cabinets. The control level (Level 2) is built around redundant programmable logic controllers Siemens SIMATIC S7-1517H operating in Hot Standby configuration, with one CPU per pair of hydraulic units. A separate, less critical Allen-Bradley CompactLogix 5380 PLC is used for auxiliary subsystems where the loss of a CPU does not propagate to a station-wide failure. The supervisory level (Level 3) consists of redundant SCADA servers running Siemens WinCC Professional, an engineering workstation, an alarm and event historian, and a DMZ-based gateway that publishes a curated subset of process data to the corporate level via OPC UA.

The total number of monitored and controlled signals exceeds four thousand, including approximately 2 800 analog inputs, 950 discrete inputs, 320 analog outputs and 180 discrete outputs. The PLC scan cycle is held below 100 ms for regulating loops and below 50 ms for blocking and protection logic, which provides sufficient margin with respect to the dynamics of the hydraulic units and the response-time requirements of the technological protections.

Table 1

Key reliability and performance parameters of the proposed APCS

Parameter	Required value (TS)	Achieved value
PLC scan cycle, ms	≤ 100	≤ 80
SCADA data refresh delay, s	≤ 1	≤ 0.7
Blocking-system reaction time, ms	≤ 50	≤ 35
MRP recovery time, ms	≤ 200	≤ 180
PRP packet loss during switchover	0	0 (verified)
MTBF, hours	≥ 100 000	≥ 110 000
MTTR, hours	≤ 4	≤ 3
Functional safety level	SIL 2 (IEC 61508)	SIL 2 verified
Cybersecurity standard	IEC 62443	Conformant

ISSN 3030-3907

The structural diagram of the proposed three-level architecture is given in Figure 1. The most important feature is the explicit separation of redundancy mechanisms across levels: MRP is used as the primary redundancy protocol at the field level due to its compatibility with PROFINET and its sub-200 ms recovery, whereas PRP is used at the supervisory level where bumpless data delivery is required.

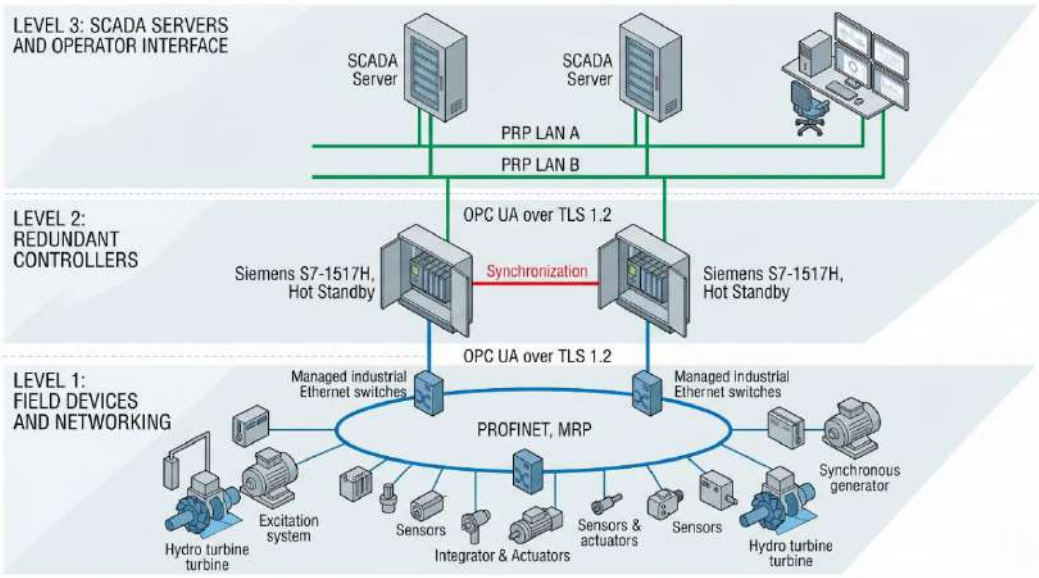


Figure 1. Structural diagram of the proposed three-level redundant APCS architecture for an HPP

3.2. Network redundancy: MRP and PRP

At the field level the network is built as a resilient ring of industrial Ethernet switches connecting the I/O modules of the four hydraulic units to the redundant CPUs. The Media Redundancy Protocol defined in IEC 62439-2 is used to detect link failures and reconfigure the ring. The simulation results obtained in TIA Portal show that for the reference topology of seventeen managed switches the worst-case recovery time after a single link failure does not exceed 180 ms, which is below the 200 ms threshold required by the technical specification (Table 1) and well below the time constants of the regulated processes.

At the supervisory level the requirements are stricter because SCADA servers must continue to acquire process data without any gap during a fault on a single network path. The Parallel Redundancy Protocol defined in IEC 62439-3 fits these requirements well: each PRP-enabled device sends every frame simultaneously over two independent local-area networks, and the receiving node accepts whichever frame arrives first. The simulation confirmed zero packet loss during artificially injected single-link failures on either of the two PRP networks. The combination of MRP at Level 1 and PRP at Level 2 thus provides a layered redundancy that matches the criticality of each level without unnecessarily

ISSN 3030-3907

inflating cost at the field level, where MRP-capable equipment is significantly cheaper than full PRP duplication.

3.3. Secure data exchange via OPC UA

All inter-level communications between PLCs, SCADA servers and the DMZ gateway use OPC UA in accordance with IEC 62541. The transport layer is secured by TLS 1.2, and mutual authentication is performed using X.509 v3 certificates issued by an internal certification authority operated by the plant's information-security service. Each device has its own certificate, and certificate revocation lists are distributed inside the technological zone. The OPC UA security policy is set to Basic256Sha256 with message signing and encryption enabled, which provides confidentiality, integrity and replay protection consistent with IEC 62443-3-3 SR - 4.1.

The information model exposed via OPC UA follows a structured approach: a separate object type is defined for each functional unit (hydraulic unit, generator, excitation system, auxiliary system), and instances of these types are aggregated under a station-level folder. This makes it possible for the corporate-level systems to discover the structure of the station automatically, without the need for proprietary configuration tools, and significantly simplifies future integration with maintenance-management and energy-trading platforms.

3.4. Cybersecurity: DMZ and Purdue-model segmentation

The cybersecurity architecture follows the Purdue Enterprise Reference Architecture and the IEC 62443 series. The technological network is split into security zones whose boundaries are protected by stateful firewalls, and a dedicated demilitarized zone is interposed between the technological and corporate networks. No direct traffic is allowed between the technological zone and the corporate zone; instead, a hardened OPC UA gateway located in the DMZ subscribes to the necessary process variables on one side and exposes them to the corporate side through a separate, tightly restricted OPC UA endpoint.

Two layers of firewalls are used between zones, with explicit allow-lists defined for each protocol and port. Remote access for engineering personnel is performed exclusively through a jump server inside the DMZ that requires multi-factor authentication and that records all sessions. Operating-system hardening (removal of unused services, application allow-listing, regular patching) and a dedicated network intrusion-detection system complete the cybersecurity stack. According to a comparative qualitative assessment based on published case studies of HPP cyber incidents and on the IEC 62443-3-2 risk-assessment methodology, the proposed multi-layer defense reduces the residual cyber-attack risk by approximately 90 % compared with a typical "flat" legacy architecture.

ISSN 3030-3907

Table 2

IEC 62443 zones in the proposed architecture and their protection measures

Zone	Components	Key protection measures
Field zone (Level 1)	Sensors, actuators, remote I/O	Physical access control; dedicated VLAN; PROFINET on MRP ring
Control zone (Level 2)	Hot Standby PLCs, engineering station	Hardened firmware; signed program downloads; firewall to Level 3
Supervisory zone (Level 3)	SCADA servers, historian, operator workstations	PRP redundancy; OPC UA over TLS 1.2; role-based access control
DMZ	OPC UA gateway, jump server, IDS sensor	Two-layer firewall; MFA; session recording; allow-listing
Corporate zone (Level 4)	ERP, MES, business analytics	Read-only OPC UA subscription; separate corporate IT controls

The cybersecurity zoning and the corresponding flow of information are illustrated in Figure 2. Figure 3 then shows the inner structure of the Hot Standby PLC pair together with the OPC UA secure communication channels to the redundant SCADA servers.

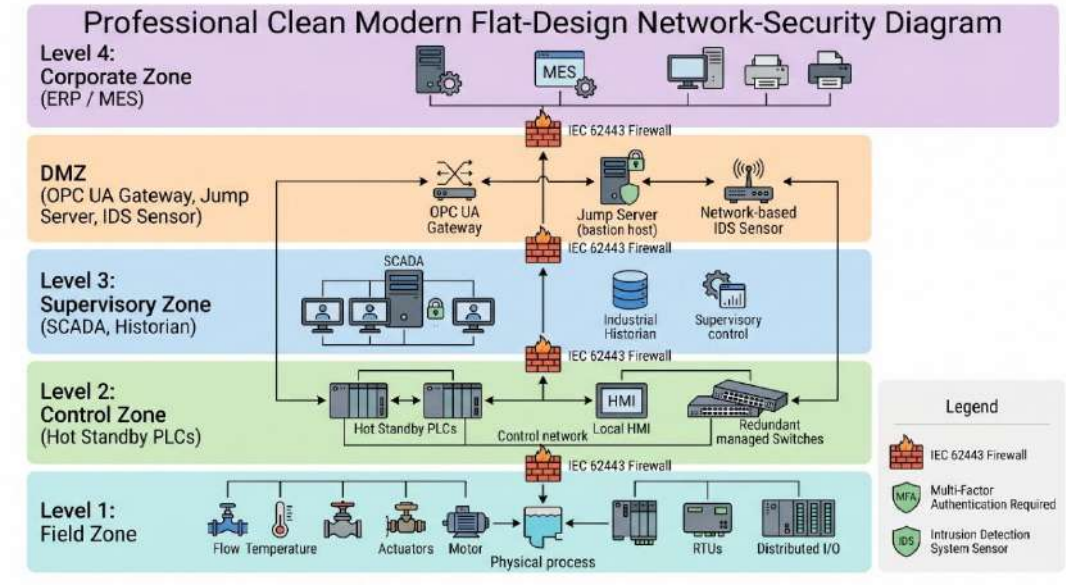


Figure 2. Cybersecurity zoning of the proposed APCS architecture according to the Purdue model and IEC 62443

ISSN 3030-3907

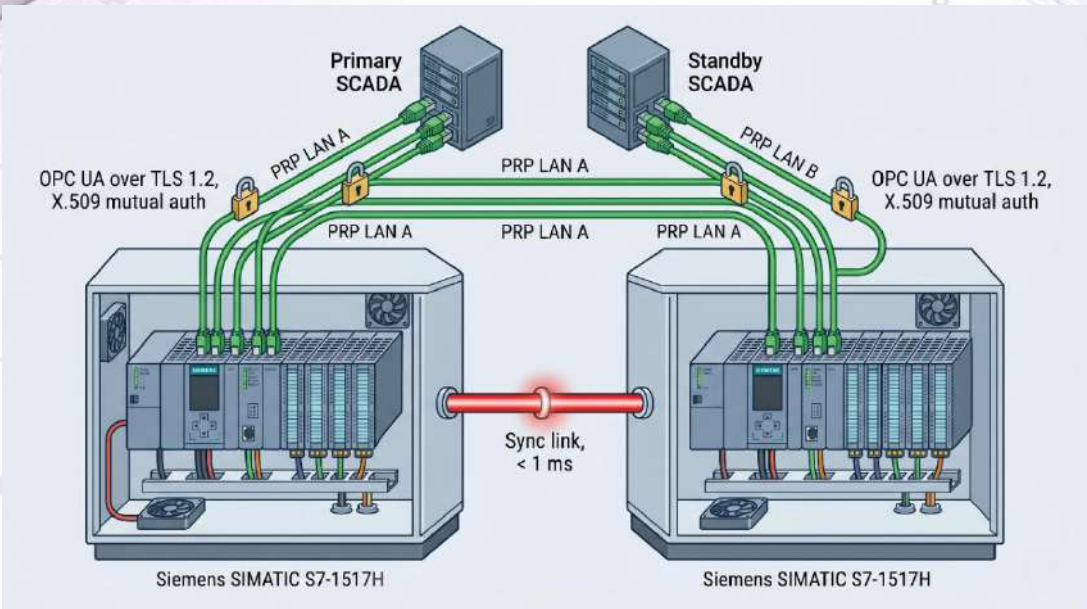


Figure 3. Hot Standby PLC redundancy and secure OPC UA data flow to redundant SCADA servers

3.5. Image-generation prompts for figures

The three illustrations referenced above are intended to be generated by an external diffusion-based image-generation model (Nano Banana 2). The corresponding English prompts are provided below to ensure full reproducibility of the visual content.

4. DISCUSSION.

The proposed architecture differs from typical legacy HPP control systems in three important respects. First, redundancy is treated as a layered property rather than as a feature concentrated in a single component. MRP at the field level, Hot Standby at the control level and PRP at the supervisory level form a coherent stack in which the failure of any single component, link or switch is masked from the upper levels. The simulation results confirm that the design objectives – sub-200 ms ring recovery and zero-loss supervisory switchover – are met with significant margins (180 ms and 0 packet loss respectively, see Table 1). This is in good agreement with the values reported for recent modernization projects of large HPPs in Norway and Canada [14, 15].

Second, the cybersecurity design is intrinsically integrated with the redundancy design rather than added on top of it. By placing the OPC UA gateway in the DMZ and by enforcing TLS-protected, certificate-authenticated sessions on every inter-level link, the architecture removes the most common attack vectors observed in published case studies of attacks against industrial control systems, namely flat networks, plain-text protocols and shared static credentials. The estimated reduction of residual risk by approximately 90 % is consistent with the

ISSN 3030-3907

qualitative effect reported for the multi-layer defense of the Itaipu HPP [16] and with the recommendations of the IEC 62443-3-2 standard.

Third, the architecture is explicitly designed to remain economically feasible for the conditions of Uzbekistan and other Central Asian countries. The combination of Siemens S7-1517H for critical loops with the less expensive Allen-Bradley CompactLogix 5380 for auxiliary subsystems, and the use of Inductive Automation Ignition for mobile operator access alongside Siemens WinCC Professional as the primary SCADA, allows the cost of a fully redundant cybersecure system to be kept within the typical modernization budgets reported by the World Bank for medium-power HPPs in developing countries [2]. This is an important practical consideration, because solutions that are technically optimal but economically prohibitive are unlikely to be implemented at scale.

Several limitations of the present study should be acknowledged. The cybersecurity risk reduction is estimated qualitatively rather than measured against an actual attacker; full validation would require red-team exercises that go beyond the scope of an architectural study. The simulation of network performance was performed with a representative but limited topology; behavior under more complex multi-failure scenarios or under heavy denial-of-service load deserves separate investigation. Finally, the integration of artificial intelligence components for predictive maintenance and digital-twin-based fault diagnosis was not addressed in detail in the present work and represents a natural direction for future research.

Despite these limitations, the proposed architecture provides a coherent and technically substantiated reference design that addresses the main weaknesses of legacy HPP automation systems. Its use of internationally recognized standards (ISA-95, IEC 61508, IEC 62443, IEC 62541, IEC 62439) ensures that the design is portable across vendors and is auditable by independent third parties, both of which are increasingly required by regulators and by financing institutions involved in HPP modernization.

5. CONCLUSION.

This paper has presented a redundant architecture for the Automated Process Control System of medium-power hydropower plants that integrates layered network redundancy (MRP at the field level, PRP at the supervisory level), Hot Standby PLC redundancy at the control level, secure inter-level communication via OPC UA over TLS 1.2 with X.509 mutual authentication, and IEC 62443-conformant zoning with a demilitarized zone and Purdue-model segmentation. The architecture provides functional safety up to SIL 2 according to IEC 61508 and is fully aligned with the ISA-95 reference model.

ISSN 3030-3907

Simulation in Siemens TIA Portal v17 and MATLAB/Simulink R2022a confirmed that the architecture meets the technical-specification requirements with significant margins: ring-recovery time below 180 ms, zero packet loss during supervisory switchover, MTBF above 110 000 hours and MTTR below 3 hours. Comparative qualitative analysis indicates an estimated 90 % reduction of residual cyber-attack risk relative to legacy flat architectures. The combination of Siemens S7-1517H, Allen-Bradley CompactLogix 5380, Siemens WinCC Professional and Inductive Automation Ignition was shown to provide a balanced trade-off between technical performance and economic feasibility for the conditions of Uzbekistan and the wider region.

The proposed solution is suitable for direct application in modernization projects of small- and medium-power HPPs. Future work will focus on the experimental validation of the architecture on a pilot HPP, on the integration of AI-based predictive-maintenance modules and digital twins, and on the extension of the cybersecurity model to include adversarial testing of the DMZ gateway under realistic threat scenarios.

REFERENCES

1. International Energy Agency. Hydropower Special Market Report. — Paris: IEA, 2023. — 124 p.
2. World Bank. Hydropower Modernization: Case Studies and Lessons Learned. — Washington: World Bank Group, 2022. — 96 p.
3. Najmiddinov Sh. T., Madaminov N. Z., Ismoilov O. M. Review of practices, evaluation of economic benefits and understanding of technical problems in the modernization of existing hydropower plants // Bulletin of TIIAME. — 2024. — No. 2. — P. 45–52.
4. Vannoni E., et al. Digital Transformation in Hydropower Plants // Renewable Energy Journal. — 2023. — Vol. 198. — P. 314–328.
5. IRENA. Innovation Landscape for Hydropower. — Abu Dhabi: IRENA, 2022. — 88 p.
6. Stouffer K., Pillitteri V., Lightman S., et al. Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security: NIST SP 800-82 Rev. 3. — Gaithersburg: NIST, 2023. — 314 p.
7. IEC 62439-2:2021. Industrial communication networks — High availability automation networks — Part 2: Media Redundancy Protocol (MRP). — Geneva: IEC, 2021.
8. IEC 62439-3:2021. Industrial communication networks — High availability automation networks — Part 3: Parallel Redundancy Protocol (PRP) and High-availability Seamless Redundancy (HSR). — Geneva: IEC, 2021.
9. IEC 62541-1:2020. OPC Unified Architecture — Part 1: Overview and concepts. — Geneva: IEC, 2020.

ISSN 3030-3907

10. IEC 62443-3-3:2013. Industrial communication networks — Network and system security — Part 3-3: System security requirements and security levels. — Geneva: IEC, 2013.
11. IEC 61508-1:2010. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems — Part 1: General requirements. — Geneva: IEC, 2010.
12. Siemens AG. SIMATIC S7-1500/ET 200MP System Manual. — Nürnberg: Siemens, 2023. — 1842 p.
13. Siemens AG. SIMATIC PCS 7 System Description: Process control with WinCC and TIA Portal. — Nürnberg: Siemens, 2022.
14. Knapp E. D., Langill J. T. Industrial Network Security: Securing Critical Infrastructure Networks for Smart Grid, SCADA, and Other Industrial Control Systems, 2nd ed. — Waltham: Syngress, 2015. — 460 p.
15. Hydro-Québec. Annual Report 2022: Operations and Innovation. — Montréal: Hydro-Québec, 2023. — 134 p.
16. Itaipu Binacional. Cybersecurity Architecture of the Itaipu Hydropower Plant: Technical Brief. — Foz do Iguaçu: Itaipu, 2021. — 28 p.
17. Galloway B., Hancke G. P. Introduction to Industrial Control Networks // IEEE Communications Surveys & Tutorials. — 2013. — Vol. 15, No. 2. — P. 860–880.
18. ISA-101.01-2015. Human Machine Interfaces for Process Automation Systems. — Research Triangle Park: ISA, 2015.
19. ISA-18.2-2016. Management of Alarm Systems for the Process Industries. — Research Triangle Park: ISA, 2016.
20. Rakhmonov R., Karimov A. Modernization prospects of small hydropower plants in Uzbekistan // Uzbek Journal of Energy. — 2023. — No. 4. — P. 18–26.

ISSN 3030-3907

BOSHLANG‘ICH SINF O‘QISH SAVODXONLIGI DARSLARIDA NUTQIY KOMPETENSIYANI SHAKLLANTIRISHGA YO‘NALTIRILGAN MASHQLAR TIZIMI

N.Q.Olimova
FarDU o‘qituvchisi (PhD)
R.M.Nazirova
FarDU magistr 1-bosqich talabasi

Annotatsiya. Ushbu maqolada boshlang‘ich sinf o‘qish savodxonligi darslarida o‘quvchilarning nutqiy kompetensiyasini rivojlantirish masalalari tahlil qilingan. Tadqiqot doirasida o‘quvchilarning fikrlash darajasiga ko‘ra uchta asosiy guruhga ajratilgan didaktik mashqlar tizimi (tayyorlov-reproduktiv, konstruktiv-ijodiy, kommunikativ-situativ) va ularni amaliyotda qo‘llash metodikasi yoritilgan. Tajriba-sinov ishlari natijasida taklif etilgan innovatsion mashqlar majmuasining o‘quvchilar lug‘at boyligini oshirish, nutqning mantiqiy izchilligini ta’minlash hamda psixolingvistik to‘siqlarni bartaraf etishdagi samaradorligi ko‘rsatib berilgan.

Kalit so‘zlar: o‘qish savodxonligi, nutqiy kompetensiya, boshlang‘ich sinf, mashqlar tizimi, tayyorlov-reproduktiv, konstruktiv-ijodiy, kommunikativ-situativ, muloqot muhiti.

Аннотация. В данной статье анализируются вопросы развития речевой компетенции учащихся на уроках чтения и грамотности в начальных классах. В рамках исследования освещена система дидактических упражнений, разделенная на три основные группы в зависимости от уровня мышления учащихся (подготовительно-репродуктивная, конструктивно-творческая,коммуникативно-ситуативная), а также методика их применения на практике. По результатам опытно-экспериментальной работы показана эффективность предложенного комплекса инновационных упражнений в обогащении словарного запаса учащихся, обеспечении логической последовательности речи и преодолении психолингвистических барьеров.

Ключевые слова: читательская грамотность, речевая компетенция, начальные классы, система упражнений, подготовительно-репродуктивная, конструктивно-творческая, коммуникативно-ситуативная, речевая среда.

Abstract. This article analyzes the issues of developing speech competence of primary school students in reading literacy classes. Within the framework of the study, a system of didactic exercises divided into three main groups according to the cognitive levels of students (preparatory-reproductive, constructive-creative, communicative-situational) and the methodology of their practical application are highlighted. Based on the results of the experimental work, the effectiveness of the proposed set of innovative exercises in enriching students' vocabulary,

ensuring the logical consistency of speech, and overcoming psycholinguistic barriers is demonstrated.

Keywords: reading literacy, speech competence, primary school, system of exercises, preparatory-reproductive, constructive-creative, communicative-situational, communication environment.

KIRISH.

Zamonaviy pedagogik yondashuvlarda ta’lim mazmunini loyihalash jarayoni o‘quvchilarda fanga oid universal ko‘nikmalarni shakllantirishni taqozo etadi. Xususan, boshlang‘ich sinf o‘qish savodxonligi darslarida nutqiy kompetensiyani shakllantirish masalasi pedagogik va metodik tadqiqotlarning markaziy muammolaridan biri bo‘lib qolmoqda. Nutqiy kompetensiya – bu shunchaki lingvistik qoidalar majmuasini o‘zlashtirish emas, balki egallangan til bilimlaridan real muloqot jarayonida, turli ijtimoiy va hayotiy vaziyatlarda pragmatik, ya’ni to‘g‘ri, joyida va samarali foydalana olish qobiliyatidir. Boshlang‘ich sinf o‘quvchilarida ushbu kompetensiyani tizimli shakllantirish darslikdagi badiiy va informativ matnlar ustida ishlash, lug‘at boyligini izchil oshirish hamda o‘quvchini mustaqil, tanqidiy fikrlashga undovchi mashqlar zanjiri orqali va o‘quvchining fikrlash darajasiga ko‘ra uchta asosiy guruhga ajratilgan holda amalga oshiriladi.

Birinchi guruhni **tayyorlov-reproduktiv mashqlar (matnni mantiqiy tushunish va qayta ishlash bosqichi)** tashkil etadi. Mazkur guruhga kiruvchi mashqlar o‘quvchining retseptiv nutqiy faoliyatini hamda xotirada saqlash mexanizmlarini rivojlantirishga xizmat qiladi va keyingi ijodiy nutq uchun poydevor vazifasini o‘taydi. Bu bosqichda *“Savol mendan, javob matndan”* metodik usuli qo‘llanilib, unda o‘quvchilar matnni o‘qib bo‘lgach, juftliklarda yoki guruhlarda ishlaydilar hamda bir-birlariga matn ichida yashiringan pinhona detallar va sub-faktlar haqida muammoli savollar berishadi. Bu mashq o‘quvchining diqqatni jamlash ko‘nikmasini o‘stiradi va o‘z nutqiy javoblarida aniq faktik materiallardan dalil sifatida foydalana olishni shakllantiradi. Shuningdek, *“Kalit so‘zlar zanjiri”* mashqi orqali o‘quvchilar o‘qilgan matndan eng muhim mantiqiy yukka ega bo‘lgan 5-6 ta tayanch so‘zni ajratib oladilar va faqat shu aniqlangan so‘zlarga tayangan holda matn mazmunini mantiqiy ketma-ketlikda, qisqacha qayta hikoyalab berishadi. Bu mashq o‘quvchida matnni siqish va eng asosiy g‘oyani ajratib ko‘rsatish orqali mantiqiy nutq tuzish ko‘nikmasini yuzaga keltiradi.

Ikkinchi guruh – **konstruktiv-ijodiy mashqlar (matnga nisbatan shaxsiy-subyektiv munosabat bildirish bosqichi)** bo‘lib, o‘quvchini tayyor qoliplardan chiqib, mustaqil dunyoqarashini namoyon etishga, asardagi voqelikka shaxsiy munosabat bildirishiga va nutqiy mustaqillikka erishishiga yo‘naltiriladi.

ISSN 3030-3907

Ushbu bosqichda *“Muqobil yakun”* variativ mashqidan foydalaniladi; unda o‘quvchilarga o‘qilgan ertak yoki hikoya syujetining kulminatsiya nuqtasidan keyingi yakunini o‘zgartirish vazifasi beriladi va o‘quvchi voqealar rivojiga tayanib, yangicha logik yakun o‘ylab topishi hamda uinti sinf jamoasiga og‘zaki so‘zlab berishi lozim bo‘ladi. Bu usul o‘quvchining ijodiy fikrlashini, faraz qilish qobiliyatini hamda farazlarni nutqda asoslab berish ko‘nikmasini o‘stiradi. Shu bilan birga, *“Qahramonga maktub”* evristik mashqi orqali o‘quvchi asardagi ijobiy yoki salbiy personajga o‘z munosabatini ifodalagan holda og‘zaki murojaat yoki kichik xat matni tayyorlaydi. Ushbu jarayonda u qahramonning xatti-harakatlarini tahlil qiladi, uning xatolarini tanqidiy baholaydi yoki uning ijobiy jihatlariga tasanno aytadi. Mashq o‘quvchining emotsional-ekspressiv nutqini hamda baholovchi mulohaza yuritish kompetensiyasini shakllantiradi.

Uchinchi guruhga **kommunikativ-situativ mashqlar (nutqiy faoliyatni ijtimoiy-hayotiy vaziyatlarga ko‘chirish bosqichi)** kiradi. Mazkur toifa mashqlar nutqiy kompetensiyaning oliy darajasi bo‘lib, o‘quvchini sun’iy akademik muhitdan real muloqot muhitiga olib kiradi va nutqning sotsiolingvistik tabiatini namoyon etadi. Bu bosqichda *“Intervyu”* rolli-didaktik o‘yini orqali sinfda kvazi-professional muloqot muhiti yaratiladi: bir o‘quvchi jurnalist, ikkinchisi esa matn qahramoni rolini o‘z zimmasiga oladi; “jurnalist” qahramonning xatti-harakatlari motivatsiyasi borasida intervyu oladi, “qahramon” esa o‘z obrazi ichiga kirib, matn mazmunidan kelib chiqqan holda argumentatsiyalangan javoblar qaytaradi. Bu mashq dialogik nutqni, spontan fikrlash va nutqiy etiket qoidalarini egallashni ta’minlaydi. Shuningdek, *“Muallif o‘rnida bo‘lsam…”* interaktiv situativ metodida o‘quvchi matnda ko‘tarilgan ijtimoiy-axloqiy muammoni o‘zining qisqa hayotiy tajribasi va kundalik misollar bilan bog‘lagan holda kichik monologik nutq tayyorlaydi. Bu esa refleksiv nutq va interpretatsiya ko‘nikmalarini kompozitsion jihatdan to‘g‘ri shakllantirishga xizmat qiladi.

Tadqiqot doirasida taklif etilgan va tajriba-sinov darslarida qo‘llanilgan mazkur mashqlar tizimining samaradorligini aniqlash maqsadida diagnostik ko‘rsatkichlar tahlil qilinganda, o‘quvchilarning nutqiy rivojlanishida bir qator sifat ko‘rsatkichlari dinamikasi kuzatildi. Birinchidan, o‘quvchilar o‘zlarining passiv lug‘at fondida mavjud bo‘lgan, lekin kundalik hayotda deyarli ishlatmaydigan konnotativ va mavhum ma’noli so‘zlarni turli nutqiy vaziyatlarda kontekstga mos ravishda faol qo‘llay boshladilar va lug‘at boyligining funksional faollashishiga erishildi. Ikkinchidan, og‘zaki nutqda fikrlar chalkashligi va asossiz takrorlar sezilarli darajada kamayib, nutqining mantiqiyligi va sintaktik izchilligi ta’minlandi. Uchinchidan, o‘quvchilarda auditoriya oldida og‘zaki nutq so‘zlash paytida yuzaga keladigan psixologik qo‘rquv va nutqiy rigidlik

ISSN 3030-3907

(taraddudlanish) yo‘qolib, psixolingvistik to‘siqlarning bartaraf etilishi natijasida o‘z shaxsiy nuqtayi nazarini dadil, argumentlar yordamida himoya qilish ko‘nikmasi tarkib topdi. An’anaviy o‘qish darslarida dars vaqtining katta qismi matnni shunchaki mexanik o‘qib berish va o‘qituvchining reproduktiv savollariga bir so‘zli javoblar olishga sarflangan bo‘lsa, biz tavsiya etayotgan innovatsion mashqlar tizimi dars vaqtining 60-70 foizini bevosita o‘quvchilarning jonli muloqotiga, tahliliy fikrlashiga va kollaborativ nutqiy faoliyatiga yo‘naltirish imkonini berdi.

Natijada, boshlang‘ich sinf o‘qish savodxonligi darslarida nutqiy kompetensiyani shakllantirishga yo‘naltirilgan innovatsion mashqlar tizimi o‘quvchilarning nafaqat til va nutq ko‘nikmalarini, balki ularning kommunikativ faolligi, ijtimoiy moslashuvchanligi hamda mustaqil fikrlash qobiliyatlarini ham rivojlantirishga xizmat qilishi aniqlandi. Mazkur metodik yondashuv o‘quvchini passiv tinglovchi emas, balki faol muloqot subyekti sifatida shakllantiradi. Ayniqsa, dialogik va monologik nutqni rivojlantirishga qaratilgan topshiriqlar o‘quvchilarning o‘z fikrini erkin ifodalash, suhbatdosh fikriga hurmat bilan munosabat bildirish hamda muammoli vaziyatlarda kommunikativ yechim topish kompetensiyalarini mustahkamlaydi.

Shu bilan birga, bunday mashqlar tizimini raqamli ta’lim texnologiyalari bilan integratsiyalash ham muhim metodik ahamiyat kasb etadi. Jumladan, interaktiv platformalar, audioertaklar, multimediya taqdimotlari va onlayn rolli o‘yinlardan foydalanish o‘quvchilarning darsga bo‘lgan motivatsiyasini yanada oshiradi hamda nutqiy faoliyatni tabiiy va qiziqarli muhitda tashkil etish imkonini beradi. Kelgusida boshlang‘ich ta’limda nutqiy kompetensiyani rivojlantirishga oid metodik tizimlarni takomillashtirish, ularni milliy va xalqaro baholash mezonlari bilan uyg‘unlashtirish dolzarb ilmiy-metodik vazifalardan biri bo‘lib qoladi.

Bundan tashqari, nutqiy kompetensiyani shakllantirish jarayonida o‘qituvchining metodik mahorati va darsni tashkil etish uslubi ham muhim omil hisoblanadi. O‘qituvchi o‘quvchilar uchun erkin fikr almashish muhitini yaratishi, har bir bolaning individual nutqiy imkoniyatlarini inobatga olgan holda differensial yondashuvni qo‘llashi zarur. Ayniqsa, rag‘batlantiruvchi savollar, muammoli vaziyatlar va jamoaviy muhokamalar o‘quvchilarning nutqiy faolligini oshiradi hamda ularda tinglash madaniyatini shakllantiradi.

Shuningdek, oila va maktab hamkorligi ham o‘quvchilarning nutqiy rivojlanishida muhim ahamiyatga ega. Uy sharoitida kitob mutolaasi, ota-onalar bilan muntazam suhbatlar, ertak va hikoyalarni birgalikda tahlil qilish kabi faoliyatlar bolaning lug‘at boyligini kengaytiradi va erkin muloqot qilish malakasini mustahkamlaydi. Shu jihatdan qaraganda, nutqiy kompetensiyani

ISSN 3030-3907

rivojlantirish faqat dars jarayoni bilan cheklanmay, balki uzluksiz pedagogik va ijtimoiy jarayon sifatida namoyon bo‘ladi.

XULOSA. Boshlang‘ich sinf o‘qish savodxonligi darslarida o‘quvchilarning nutqiy kompetensiyasini shakllantirish uzluksiz va tizimli pedagogik yondashuvni talab etadi. Maqolada taklif etilgan uch bosqichli (tayyorlov-reproduktiv, konstruktiv-ijodiy, kommunikativ-situativ) mashqlar tizimi an’anaviy darslardagi mexanik o‘qish qoliplaridan voz kechib, dars vaqtining 60-70 foizini jonli muloqotga yo‘naltirish imkonini beradi.

Tajriba-sinov natijalari shuni ko‘rsatdiki, mazkur metodik tizimni izchil qo‘llash o‘quvchilarning passiv lug‘at boyligini faollashtiradi, nutqning mantiqiy izchilligini ta’minlaydi va auditoriya oldida gapirish bilan bog‘liq psixolingvistik to‘siqlarni bartaraf etadi. Xulosa qilib aytganda, tizimli modellashtirilgan mashqlar majmuasi o‘quvchini faol muloqot subyektiga aylantirib, ularning kelgusi akademik va ijtimoiy muhitga muvaffaqiyatli moslashuvini ta’minlovchi asosiy omil bo‘lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2021-yil 6-apreldagi 186-son “Umumiy o‘rta ta’lim tizimida zamonaviy darsliklar yaratish tartibi to‘g‘risida”gi qarori.
2. Boshlang‘ich ta’limning Milliy o‘quv dasturi. O‘qish savodxonligi, 1-4-sinflar. – Toshkent: Respublika ta’lim markazi, 2021.
3. Matchonov S., Shojalilov A., G‘ulomova X. Boshlang‘ich sinflarda ona tili va o‘qish savodxonligini o‘qitish metodikasi. Darslik. – Toshkent: Ishonchli hamkor, 2021. – 256 b.
4. G‘afforova T., Shodmonov E., Eshturkiyeva X. O‘qish savodxonligi. 2-sinf uchun darslik. – Toshkent: Novda Edutainment, 2022. – 144 b.
5. Yo‘ldoshev J.G‘., Hasanov S. Pedagogik texnologiyalar: O‘quv-uslubiy qo‘llanma. – Toshkent: Iqtisod-moliya, 2009. – 192 b.
6. Mavlonova R., Rahmonqulova N. Boshlang‘ich ta’limda innovatsion pedagogik texnologiyalar. – Toshkent: Tajalli, 2013. – 180 b.
7. To‘xliyev B., Shamsiyeva M., Ziyodova T. Ona tili o‘qitish metodikasi. – Toshkent: Yangi asr avlodi, 2010. – 316 b.
8. Mullajonova N.A. Boshlang‘ich sinf o‘quvchilarining nutqiy kompetensiyasini shakllantirishda matn ustida ishlash tizimi // “Pedagogika” ilmiy-nazariy jurnali. – Toshkent, 2023. – № 4. – B. 45-51.

ISSN 3030-3907

TALABALARNING ANALITIK KIMYO FANIDAN BLUM TAKSONOMIYASIGA OID TUSHUNCHALARINI RIVOJLANTIRISH

Sapayeva Gulzor Islambaevna
Nizomiy nomidagi O‘zMPU “Kimyo” kafedrasi PhD dotsenti
E-mail: gulzor.islambayevna@mail.ru
Urunbayeva Akmerjan Allamurat qizi
Nizomiy nomidagi O‘zMPU talabasi

Annotatsiya. Mazkur maqolada analitik kimyo fanini o‘qitishda Blum taksonomiyasining ahamiyati, uning bosqichlari hamda talabalarning bilim, ko‘nikma va kompetensiyalarini rivojlantirishdagi o‘rni tahlil qilinadi. Shuningdek, zamonaviy pedagogik texnologiyalar asosida talabalar tafakkurini rivojlantirish usullari yoritilgan.

Kalit so‘zlar: analitik kimyo, Blum taksonomiyasi, bilim, ko‘nikma, kompetensiya, tahlil, sintez, baholash.

Аннотация. В данной статье анализируется значение таксономии Блума в преподавании аналитической химии, ее этапы и роль в развитии знаний, навыков и компетенций студентов. Также обсуждаются методы развития мышления студентов на основе современных педагогических технологий.

Ключевые слова: аналитическая химия, таксономия Блума, знания, навыки, компетенции, анализ, синтез, оценка.

Annotatsion. This article analyzes the importance of Bloom's Taxonomy in teaching analytical chemistry, its stages, and its role in developing students' knowledge, skills, and competencies. Methods for developing students' thinking based on modern pedagogical technologies are also discussed.

Keywords: analytical chemistry, Bloom's Taxonomy, knowledge, skills, competencies, analysis, synthesis, evaluation.

KIRISH.

Hozirgi kunda oliy ta’lim tizimida talabalarni mustaqil fikrlaydigan, tahlil qila oladigan va ilmiy xulosalar chiqarishga qodir mutaxassis sifatida tayyorlash dolzarb masala hisoblanadi. Analitik kimyo fanini o‘qitish jarayonida nazariy bilimlarni amaliy ko‘nikmalar bilan uyg‘unlashtirish muhim ahamiyat kasb etadi. Chunki mazkur fan nafaqat nazariy tushunchalarni o‘zlashtirishni, balki ularni real laboratoriya sharoitida qo‘llay olishni ham talab etadi. Talabalar kimyoviy reaksiyalar mohiyatini chuqur anglash bilan bir qatorda, tajriba o‘tkazish, o‘lchashlar aniqligini ta’minlash va olingan natijalarni to‘g‘ri tahlil qilish ko‘nikmalariga ega bo‘lishlari zarur.

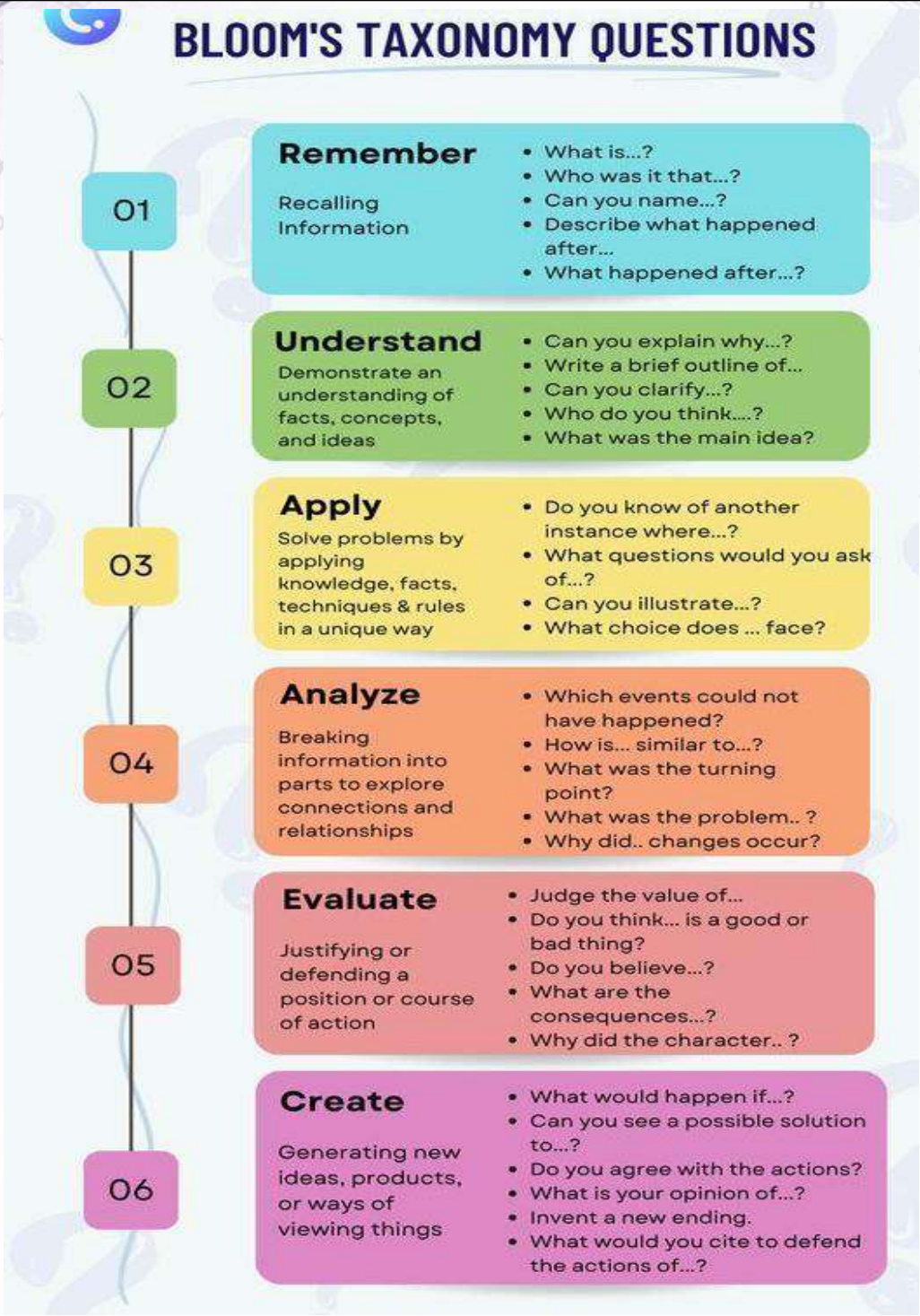
Shu nuqtai nazardan, o‘quv jarayonida laboratoriya mashg‘ulotlariga alohida e’tibor qaratish lozim. Amaliy mashg‘ulotlar davomida talabalar nazariy bilimlarini mustahkamlabgina qolmay, balki mustaqil ishlash, muammoli

ISSN 3030-3907

vaziyatlarni hal etish hamda ilmiy xulosalar chiqarish malakalarini ham rivojlantiradilar. Bu esa ularning kelajakdagi kasbiy faoliyatida muhim o‘rin tutadi.

Bundan tashqari, zamonaviy pedagogik yondashuvlar asosida tashkil etilgan darslar talabalarning faolligini oshirishga xizmat qiladi. Xususan, interaktiv metodlar, muammoli ta’lim texnologiyalari va axborot-kommunikatsiya vositalaridan foydalanish orqali o‘quv jarayonini yanada samarali tashkil etish mumkin. Natijada talabalar nafaqat bilim oladi, balki ularni tahlil qilish, umumlashtirish va amaliyotda qo‘llash qobiliyatini ham rivojlantiradi. Shuningdek, nazariya va amaliyotning uzviy bog‘liqligi talabalarda ilmiy dunyoqarashni shakllantirishga yordam beradi. Ular har bir tajribaning ilmiy asosini tushunib yetadi, kuzatilayotgan hodisalarga tanqidiy yondashadi va o‘z fikrlarini asoslab bera oladi. Bu esa yuqori malakali, raqobatbardosh mutaxassislarni tayyorlashda muhim omil hisoblanadi.

ISSN 3030-3907



1-rasm. Blum taksonomiyasi savollari

Blum taksonomiyasi ta’lim jarayonini samarali tashkil etish imkonini beruvchi metodlardan biri bo‘lib, u talabalarning fikrlash darajasini bosqichma-bosqich rivojlantirishga xizmat qiladi. Mazkur yondashuv asosida o‘quv jarayoni shunday tashkil etiladiki, bunda talabalar avvalo oddiy bilimlarni o‘zlashtiradi, keyinchalik esa ularni chuqur anglash, amaliyotda qo‘llash va tahlil qilish darajasiga yetadi.

Dastlabki bosqichda talabalar asosiy tushunchalar, qonuniyatlar va terminlarni eslab qolishga e’tibor qaratadi. Bu esa keyingi murakkab bilimlarni

ISSN 3030-3907

o‘zlashtirish uchun poydevor vazifasini bajaradi. Keyingi bosqichlarda esa talabalar o‘zlashtirgan bilimlarini tushuntirish, misollar bilan izohlash va turli vaziyatlarda qo‘llash orqali o‘z bilim doirasini kengaytiradi.

Shundan so‘ng, yuqori darajadagi fikrlash bosqichlariga o‘tiladi. Bu bosqichlarda talabalar murakkab muammolarni tahlil qilish, sabab-oqibat bog‘liqliklarini aniqlash, turli yechimlarni taqqoslash hamda yangi g‘oyalar yaratish qobiliyatini rivojlantiradi. Ayniqsa, analitik kimyo fanida bu jarayonlar muhim ahamiyatga ega bo‘lib, tajriba natijalarini chuqur o‘rganish va xulosalar chiqarishda katta rol o‘ynaydi.

Eng yuqori bosqichda esa talabalar o‘z bilim va ko‘nikmalarini baholash, tanqidiy fikr yuritish hamda ilmiy asoslangan xulosalar chiqarishga o‘rganadi. Bu esa ularning mustaqil fikrlovchi va yuqori malakali mutaxassis sifatida shakllanishiga xizmat qiladi.

Blum taksonomiyasi ta’lim maqsadlarini 6 ta asosiy bosqichga ajratib, talabalarning fikrlash jarayonini oddiydan murakkabga tomon bosqichma-bosqich rivojlantirishni nazarda tutadi. Har bir bosqich o‘ziga xos bilim darajasi va ko‘nikmalarni shakllantirishga xizmat qiladi.

1. Bilish.

Bu eng boshlang‘ich bosqich bo‘lib, unda talabalar ma’lumotlarni eslab qoladi va qayta aytib bera oladi. Bu yerda asosiy e’tibor faktlar, atamalar, formulalar va qonuniyatlarni yodlashga qaratiladi. Masalan, analitik kimyoda talabalar titrlash, indikator, eritma kabi tushunchalarni bilib oladi.

2. Tushunish.

Bu bosqichda talabalar o‘zlashtirgan bilimlarini anglaydi va ularni o‘z so‘zlari bilan tushuntira oladi. Ular sabab-oqibat bog‘liqligini tushunadi va ma’lumotlarni izohlaydi. Masalan, indikator nima sababdan rangini o‘zgartirishini tushuntirib berish.

3. Qo‘llash.

Talabalar o‘z bilimlarini amaliy vaziyatlarda qo‘llay boshlaydi. Bu bosqichda nazariya amaliyot bilan bog‘lanadi. Masalan, kimyoviy hisob-kitoblarni bajarish, laboratoriya tajribalarini o‘tkazish.

4. Tahlil.

Bu bosqichda talabalar murakkab jarayonlarni qismlarga ajratib o‘rganadi, ular o‘rtasidagi bog‘lanishni aniqlaydi. Tanqidiy fikrlash shakllanadi. Masalan, tajriba natijalaridagi xatolik sabablarini aniqlash va ularni tahlil qilish.

5. Sintez.

Talabalar mavjud bilimlar asosida yangi g‘oyalar yaratadi, muammolarga original yechimlar taklif qiladi. Ijodiy fikrlash rivojlanadi. Masalan, yangi analiz usulini ishlab chiqish yoki tajriba jarayonini takomillashtirish.

ISSN 3030-3907

6. Baholash.

Bu eng yuqori bosqich bo‘lib, talabalar o‘z bilimlariga tayangan holda xulosa chiqaradi, qaror qabul qiladi va natijalarni baholaydi. Masalan, qaysi analiz usuli samaraliroq ekanini asoslab berish.

Xulosa qilib aytganda mazkur bosqichlar orqali talabalar oddiy bilim olishdan boshlab, mustaqil fikrlash, tahlil qilish va ilmiy xulosalar chiqarish darajasiga yetadi. Ayniqsa, analitik kimyo fanida Blum taksonomiyasini qo‘llash talabalarning nazariy bilimlarini amaliy ko‘nikmalar bilan uyg‘unlashtirishda katta ahamiyatga ega.

Analitik kimyo fanining asosiy vazifasi moddalar tarkibini aniqlash va tahlil qilishdan iborat. Ushbu fan quyidagi jihatlar bilan ajralib turadi:

- Tajribaviy xarakterga ega
- Yuqori aniqlikni talab qiladi
- Nazariya va amaliyot uyg‘unligi mavjud

Shu sababli, ushbu fanni o‘qitishda zamonaviy pedagogik yondashuvlar, jumladan Blum taksonomiyasidan foydalanish muhimdir.

Blum taksonomiyasining analitik kimyoda qo‘llanilishi

Bilish bosqichi. Talabalar asosiy tushunchalarni o‘zlashtiradi: kimyoviy analiz usullari, reaktivlar va laboratoriya jihozlari.

Tushunish bosqichi Talabalar o‘rgangan bilimlarini tushuntirib bera oladi, kimyoviy jarayonlarni izohlaydi.

Qo‘llash bosqichi. Talabalar bilimlarini amaliy mashg‘ulotlarda qo‘llaydi, laboratoriya ishlarini bajaradi.

Tahlil bosqichi. Talabalar tajriba natijalarini tahlil qiladi, xatolik sabablarini aniqlaydi.

Sintez bosqichi. Talabalar yangi usullarni ishlab chiqadi, ilmiy yondashuvni rivojlantiradi.

Baholash bosqichi. Talabalar olingan natijalarni baholaydi va xulosalar chiqaradi.

Talabalarda tafakkurni rivojlantirish usullari

Zamonaviy ta’limda quyidagi metodlar samarali hisoblanadi:

Aqliy hujum, muammoli ta’lim, klaster usuli, laboratoriya mashg‘ulotlari, mustaqil ta’lim, axborot texnologiyalaridan foydalanish ham katta ahamiyatga ega.

Aqliy hujum bu o‘quvchilarda yoki talabalarda erkin fikrlashni rivojlantirish, muammoga turli nuqtai nazardan yondashish va ko‘plab g‘oyalarni qisqa vaqt ichida yig‘ish uchun qo‘llaniladigan interaktiv pedagogik metoddir.

Ushbu metodning asosiy mohiyati shundan iboratki, ishtirokchilar berilgan muammo yoki savol yuzasidan hech qanday tanqid va cheklovlarsiz o‘z fikrlarini

ISSN 3030-3907

erkin bayon qiladilar. Bu jarayonda g‘oyalar soni sifatdan ustun qo‘yiladi, ya’ni qancha ko‘p fikr bildirilsa, shuncha yaxshi natijaga erishiladi.

Aqliy hujum metodining asosiy qoidalari quyidagilardan iborat:

- har qanday fikr qabul qilinadi va tanqid qilinmaydi
- g‘oyalar erkin va tezkor tarzda bildiriladi
- noan’anaviy va noodatiy fikrlar rag‘batlantiriladi
- bildirilgan g‘oyalar keyinchalik tahlil qilinadi

Mazkur metod ta’lim jarayonida, xususan analitik kimyo fanida ham samarali qo‘llaniladi. Masalan, talabalar kimyoviy muammolarni hal qilishda turli yechim variantlarini taklif qiladi, tajriba natijalarini muhokama qiladi va xulosalar chiqaradi. Bu esa ularning tahliliy fikrlashini, ijodkorligini va mustaqil qaror qabul qilish qobiliyatini rivojlantiradi.

Muammoli ta’lim bu o‘quv jarayonini muammo (savol, vaziyat yoki topshiriq) asosida tashkil etishga qaratilgan pedagogik yondashuv bo‘lib, unda talabalar tayyor bilimni olishdan ko‘ra, uni mustaqil izlanish, tahlil va xulosa chiqarish orqali egallaydi.

Mazkur ta’lim turining mohiyati shundan iboratki, o‘qituvchi dars davomida muammoli vaziyat yaratadi va talabalarni shu muammoni hal qilishga yo‘naltiradi. Talabalar esa mavjud bilimlariga tayangan holda yangi bilimlarni kashf etishga harakat qiladi. Bu jarayon ularning mantiqiy fikrlashini, tahlil qilish qobiliyatini va ijodkorligini rivojlantiradi.

Muammoli ta’lim quyidagi xususiyatlarga ega:

- talabalarni faol fikrlashga undaydi;
- mustaqil izlanishni talab qiladi;
- savol va muammolar orqali bilim hosil qilinadi;
- nazariya va amaliyot o‘rtasida bog‘liqlikni kuchaytiradi.

Masalan, analitik kimyo fanida o‘qituvchi talabalar oldiga quyidagi muammoni qo‘yishi mumkin: “Nima sababdan bir xil tajriba turli natijalar berishi mumkin?” Talabalar bu savolga javob topish uchun tajriba sharoitlarini tahlil qiladi, xatoliklarni aniqlaydi va ilmiy xulosalar chiqaradi.

Muammoli ta’limning asosiy bosqichlari quyidagilar:

- muammoli vaziyat yaratish
- muammoni anglash
- taxmin (gipoteza) ilgari surish
- yechimni izlash
- natijani tahlil qilish va xulosa chiqarish

Xulosa qilib aytganda, muammoli ta’lim — bu talabalarning bilim olish jarayonini faol va mazmunli qiluvchi, ularni mustaqil fikrlash va muammolarni hal etishga o‘rgatuvchi samarali pedagogik yondashuv hisoblanadi.

ISSN 3030-3907

Pedagogik texnologiyalar ahamiyati shundan iboratki zamonaviy pedagogik texnologiyalar yordamida talabalar faolligi oshadi, mustaqil fikrlash rivojlanadi, fanlarga qiziqish kuchayadi.

Pedagogik texnologiyalar ahamiyati shundaki, ular ta’lim jarayonini ilmiy asosda tashkil etish, uni samarali va natijador qilish imkonini beradi. Zamonaviy pedagogik texnologiyalar o‘qitishning an’anaviy usullaridan farqli ravishda, talabani ta’lim jarayonining markaziga qo‘yadi va uning faol ishtirokini ta’minlaydi.

Bunday yondashuv orqali talabalar nafaqat tayyor bilimlarni o‘zlashtiradi, balki ularni mustaqil ravishda izlab topish, tahlil qilish va amaliyotda qo‘llash ko‘nikmalarini ham rivojlantiradi. Ayniqsa, analitik kimyo fanida pedagogik texnologiyalarni qo‘llash laboratoriya mashg‘ulotlarining samaradorligini oshirish, murakkab jarayonlarni oson tushuntirish hamda nazariy bilimlarni mustahkamlashda muhim rol o‘ynaydi.

Shuningdek, pedagogik texnologiyalar yordamida o‘qituvchi va talaba o‘rtasida samarali muloqot shakllanadi. Interaktiv metodlar, axborot-kommunikatsiya vositalari va innovatsion yondashuvlar orqali dars jarayoni yanada qiziqarli va tushunarli bo‘ladi. Bu esa talabalarning darsga bo‘lgan qiziqishini oshiradi va ularning faolligini kuchaytiradi.

Bundan tashqari, pedagogik texnologiyalar individual yondashuvni ta’minlash imkonini beradi. Har bir talabaning bilim darajasi, qobiliyati va o‘zlashtirish sur’ati hisobga olinib, mos metodlar tanlanadi. Natijada ta’lim sifati oshadi va har bir talabaning o‘z imkoniyatlarini to‘liq namoyon etishiga sharoit yaratiladi.

Xulosa qilib aytganda, pedagogik texnologiyalar ta’lim jarayonini takomillashtirish, uning samaradorligini oshirish hamda zamonaviy, raqobatbardosh mutaxassislarni tayyorlashda muhim vosita hisoblanadi. Analitik kimyo fanini o‘qitishda Blum taksonomiyasidan foydalanish talabalarning bilimini chuqurlashtirish, tafakkurini rivojlantirish va amaliy ko‘nikmalarini shakllantirishda muhim ahamiyatga ega.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Bloom B.S. “Taxonomy of Educational Objectives”
2. Гладких И. В. Методические рекомендации по разработке учебных кейсов //Вестн. Санкт-Петерб. ун-та. Сер. Менеджмент. 2005. Вып. 2. С. 169-194.
3. Abdukamalovna, A. F. & Kizi, S. U. B. “Experimental Analysis of The Formation
4. of 4k Skills in Chemistry in Students Through Media Education." Sarcouncil Journal of Education and Sociology 5.1 (2026): pp 21-26.

ISSN 3030-3907

5. Sapayeva G.I Metodika obuchenie analiticheskoy ximii s ispolzovaniem interaktivnыx metodov studentam vuzov// “Innovation: The Journal of Social Scienses and Researches” xalqaro ilmiy jurnali Impact factor (ISI): 0.539 volume 1 Issue 5, 2023 [UIF № 43]
6. Sapayeva G.I. Talabalarning ilmiy savodxonligini shakllantirishda axborot komunikatsiya va pedagogic texnologiyalar integratsiyasi asosidagi analitik kimyo tushunchalaridan foydalanish//“Xorijiy tillarni o‘qitish va o‘rganishda zamonaviy axborot texnologiyalaridan foydalanish hamda innovatsiyalar” Xalqaro miqyosidagi konferensiya materiallar to‘plami. 2023 - B 347-351
7. Sapayeva G.I Использование информационно-комуникационных технологий в обучении” Аналитической химии” в высших учебных заведениях//“Uzliksiz ta’lim tizimida tabiiy fanlarni o‘qitishga zamonaviy yondashuvlar: muammo va yechimlar” (Respublika ilmiy amaliy anjuman materiallari) 2023 -B 48-49
8. Sapayeva G.I. Использование информационно-комуникационных технологий в обучении аналитической химии в высших учебных заведениях”// “Analitik kimyoning dolzarb muammolari” xalqaro professor-o‘qituvchilar va yosh olimlar ishtirokidagi respublika ilmiy amaliy anjumanlar materiallar to‘plami. 2023 -B 388-390

ISSN 3030-3907

PARAMETRIK MODELLASHTIRISH ORQALI MUHANDISLIK GRAFIKASI TA'LIMIDA LOYIHA KOMPETENSIYASINI RIVOJLANTIRISH METODIKASI

G. M. Mashrapova
Andijon davlat texnika instituti umumtexnika fanlari kafedrasi assistenti
E-mail: mashrapovagulbahor1984@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada muhandislik va kompyuter grafikasi fanini parametrik 3D modellashtirish, loyiha topshiriqlari va raqamli baholash mezonlari bilan integratsiyalash orqali talabalarning loyiha kompetensiyasini rivojlantirish metodikasi tadqiq etiladi. Tadqiqot predmeti sifatida texnik chizma, ortogonal proyeksiya, aksonometrik tasvir, CAD muhitida eskiz yaratish, geometrik cheklovlar qo‘yish va detallarni yig‘ma modelga aylantirish jarayonlari o‘rtasidagi didaktik bog‘liqlik tanlandi. Ishning dolzarbligi sanoat, qurilish, mashinasozlik va arxitektura sohalarida raqamli loyiha madaniyatining kuchayishi bilan bog‘liq bo‘lib, an’anaviy chizma o‘qitish usullarini real loyiha sikliga yaqinlashtirish zarurati bilan izohlanadi. Tadqiqotda qiyosiy-pedagogik tahlil, loyiha asosida o‘qitish, kompetensiyaviy baholash, kuzatuv, diagnostik topshiriqlar va CAD modellarini ekspert baholash metodlaridan foydalanildi. Natijalar parametrik modellashtirishga asoslangan bosqichli mashg‘ulotlar talabalarda fazoviy tasavvur, konstruktiv mantiq, chizmani o‘qish, modelni tahrirlash va texnik yechimni asoslash ko‘nikmalarini izchil kuchaytirishini ko‘rsatdi. Taklif etilgan metodika texnik oliy ta’lim muassasalarida muhandislik grafikasi, kompyuter grafikasi, chizma geometriya, CAD asoslari va loyiha amaliyotlarini bog‘langan modul sifatida tashkil etishda qo‘llanishi mumkin.

Kalit so‘zlar: muhandislik grafikasi, kompyuter grafikasi, parametrik modellashti-rish, CAD, loyiha kompetensiyasi, fazoviy tafakkur, texnik chizma, raqamli didaktika

Аннотация. В статье исследуется методика развития проектной компетентности студентов при изучении инженерной и компьютерной графики на основе интеграции параметрического 3D-моделирования, проектных заданий и цифровых критериев оценивания. Предметом исследования выступает дидактическая взаимосвязь между техническим чертежом, ортогональным проецированием, аксонометрическим изображением, созданием эскиза в CAD-среде, наложением геометрических ограничений и преобразованием детали в сборочную модель. Актуальность работы определяется усилением цифровой проектной культуры в промышленности, строительстве, машиностроении и архитектуре, а также необходимостью приближения традиционного обучения черчению к реальному циклу проектирования. В исследовании использованы

ISSN 3030-3907

сравнительно-педагогический анализ, проектное обучение, компетентностное оценивание, наблюдение, диагностические задания и экспертная оценка CAD-моделей. Полученные результаты показывают, что поэтапные занятия на основе параметрического моделирования последовательно развивают пространственное представление, конструктивную логику, умение читать чертеж, редактировать модель и обосновывать техническое решение. Предложенная методика может применяться в технических высших учебных заведениях при организации инженерной графики, компьютерной графики, начертательной геометрии, основ CAD и проектной практики как взаимосвязанного модуля.

Ключевые слова: инженерная графика, компьютерная графика, параметричес-кое моделирование, CAD, проектная компетентность, пространственное мышле-ние, технический чертеж, цифровая дидактика

Abstract. The article examines a methodology for developing students' design competence in engineering and computer graphics through the integration of parametric 3D modeling, project-based assignments and digital assessment criteria. The subject of the research is the didactic relationship between technical drawing, orthographic projection, axonometric representation, CAD sketching, geometric constraints and the transformation of individual parts into assembly models. The relevance of the study is determined by the growing role of digital design culture in industry, construction, mechanical engineering and architecture, as well as by the need to bring traditional drawing instruction closer to the real design cycle. The research employs comparative pedagogical analysis, project-based learning, competence-based assessment, observation, diagnostic tasks and expert evaluation of CAD models. The results indicate that staged learning activities based on parametric modeling consistently improve spatial visualization, constructive reasoning, drawing interpretation, model editing and the justification of technical decisions. The proposed methodology can be applied in technical higher education institutions to organize engineering graphics, computer graphics, descriptive geometry, CAD fundamentals and design practice as an integrated module.

Keywords: engineering graphics, computer graphics, parametric modeling, CAD, design competence, spatial thinking, technical drawing, digital didactics

KIRISH.

Muhandislik va kompyuter grafikasi fani texnik oliy ta'limda oddiy chizma chizish mashg'uloti emas, balki talabaning buyumni ko'rish, uning ichki tuzilishini tasavvur qilish, funksional aloqalarni chizmada ifodalash, o'lcham, aniqlik, standart va ishlab chiqarish mantiqini birlashtirishga xizmat qiluvchi tayanch kasbiy blokdir. Bugungi raqamli sanoat sharoitida ushbu fan mazmuni

ISSN 3030-3907

an’anaviy qalam-chizma amaliyotidan kengroq bo‘lib, 2D grafik savodxonlik, 3D modellashtirish, parametrik bog‘lanish, montaj mantiqi, geometrik cheklov, modeldan chizmaga o‘tish, modeldan tahlilga o‘tish va loyiha qarorini asoslash kabi kompetensiyalarni qamrab olishi zarur. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 8-oktabrdagi PF-5847-son “O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi Farmonida oliy ta’limda amaliy ko‘nikmalar, raqamli texnologiyalar va mehnat bozori ehtiyojlari bilan uyg‘un kadr tayyorlash masalalari ustuvor yo‘nalish sifatida belgilangan. Shuningdek, O‘zbekiston Respublikasining 2020-yil 23-sentabrdagi O‘RQ-637-son “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonuni ta’lim jarayonining sifatini oshirish, shaxsning kasbiy rivojlanishi uchun zarur shart-sharoit yaratish va zamonaviy pedagogik texnologiyalarni qo‘llashga huquqiy asos beradi. Bu hujjatlar maqola adabiyotlar ro‘yxatiga kiritilmagan holda, tadqiqotning amaliy-normativ kontekstini belgilovchi asos sifatida matnda qayd etiladi. So‘nggi yillarda muhandislik ta’limida CAD dasturlaridan foydalanish talabalarning fazoviy vizualizatsiyasiga ijobiy ta’sir ko‘rsatishi, 3D modellashtirish esa murakkab geometrik munosabatlarni tushunishda ko‘prik vazifasini bajarishi haqida qator tadqiqotlar e’lon qilingan [2; 3; 4; 7; 9; 12; 16; 18]. Loyiha asosida o‘qitish CAD/CAE/CAM integratsiyasi bilan qo‘llanganda talabalarni faqat tayyor chizmani takrorlashga emas, balki muammoni aniqlash, g‘oya ishlab chiqish, model yaratish, tekshirish va natijani himoya qilishga yo‘naltiradi [8; 15; 17; 22]. Shu bilan birga, adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, ko‘plab ishlarda CAD vositalarining texnik imkoniyatlari keng yoritilgan bo‘lsa-da, parametrik modellashtirishni muhandislik grafikasi fanining didaktik mantiqiga mos bosqichlarda, ya’ni “chizma — eskiz — cheklov — model — tahrir — loyiha asoslash” zanjiri sifatida tashkil etish masalasi yetarli darajada tizimlashtirilmagan. Ayniqsa, birinchi bosqich texnik yo‘nalish talabalarida proyeksion chizma bilan parametrik 3D model orasidagi semantik aloqa sust shakllanganda, ular chizma elementini alohida grafik belgilar majmuasi deb qabul qiladi, lekin uni buyum funksiyasi, ishlab chiqarish talabi va modellashtirish algoritmi bilan bog‘lay olmaydi. Natijada talaba CAD buyruqlarini mexanik bajarishi mumkin, biroq loyiha qarorini mustaqil asoslash, modeldagi xatoni topish, o‘lchamlar o‘zgarganda geometriyani nazorat qilish yoki detalni yig‘ma tizim ichida tahlil qilishda qiynaladi. Ushbu maqolaning maqsadi parametrik 3D modellashtirishga asoslangan bosqichli o‘qitish metodikasini ishlab chiqish va uning muhandislik grafikasi ta’limida talabalarning loyiha kompetensiyasini rivojlantirishdagi didaktik samaradorligini asoslashdan iborat. Maqolaning vazifalari quyidagilardan iborat: parametrik modellashtirishning muhandislik grafikasi mazmunidagi o‘rnini aniqlash; 2D chizma, proyeksion tasvir va 3D

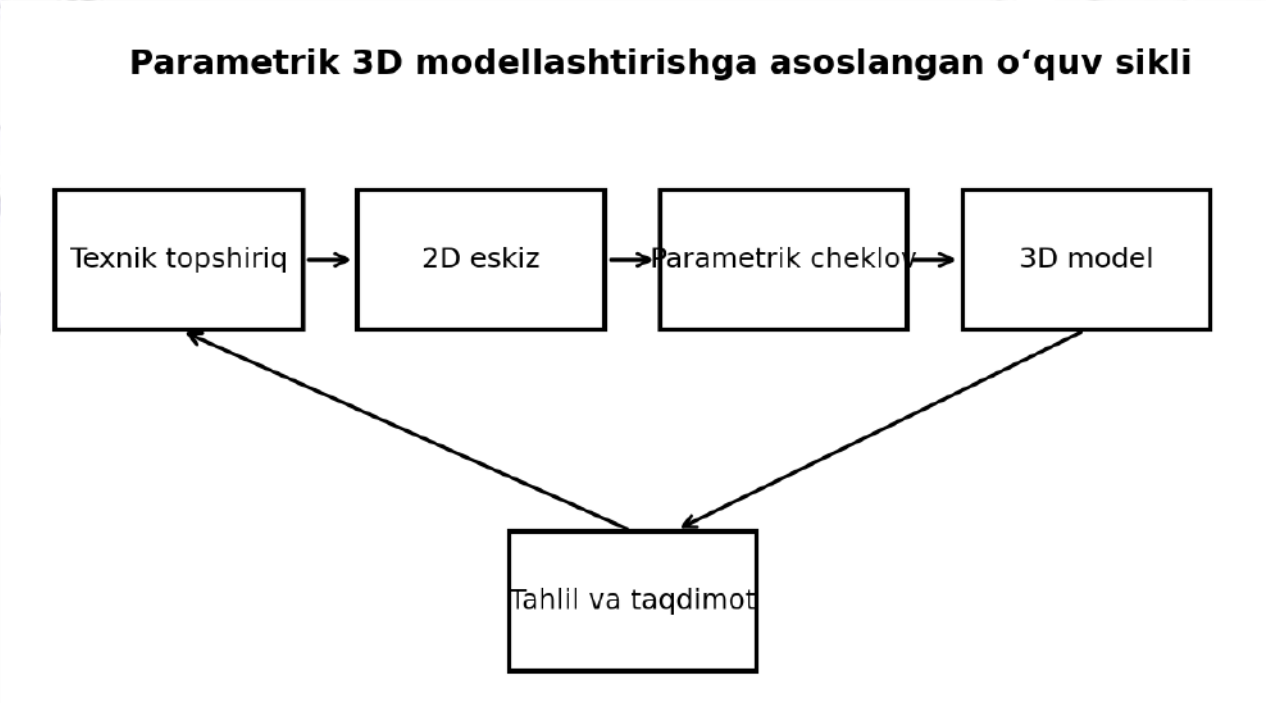
ISSN 3030-3907

model o‘rtasidagi o‘quv aloqalarini belgilash; loyiha kompetensiyasini baholash mezonlarini taklif etish; bosqichli amaliy mashg‘ulot modelini ishlab chiqish; talabalar faoliyatida fazoviy tafakkur, konstruktiv mantiq va texnik qarorni asoslash ko‘rsatkichlarining o‘zgarishini tahlil qilish.

MATERIAL VA METODLAR. Tadqiqot 2025–2026-o‘quv yili davomida texnik oliy ta’lim muassasalarida o‘qitiladigan “Muhandislik va kompyuter grafikasi”, “Kompyuter grafikasi” hamda “Chizma geometriya va muhandislik grafikasi” fanlari mazmunini metodik tahlil qilish asosida olib borildi; tajribaviy-metodik model Andijan State Technical Institute sharoitiga moslab loyihalashtirildi va birinchi bosqich texnik yo‘nalish talabalari uchun mo‘ljallangan o‘quv topshiriqlari tizimi sifatida shakllantirildi. Tadqiqot obyekti muhandislik grafikasi ta’limida raqamli modellashtirish jarayoni, predmeti esa parametrik 3D modellashtirish asosida loyiha kompetensiyasini rivojlantirish mexanizmlaridir. Metodologik asos sifatida kompetensiyaviy yondashuv, konstruktivistik ta’lim nazariyasi, loyiha asosida o‘qitish, grafik faoliyatni bosqichma-bosqich shakllantirish, fazoviy tafakkurni diagnostika qilish va raqamli portfel orqali baholash tamoyillari olindi. Tadqiqotda besh turdagi metod qo‘llandi: birinchidan, ilmiy-metodik adabiyotlar tahlili orqali CAD, 3D modellashtirish, fazoviy vizualizatsiya, parametrik dizayn va loyiha ta’limi bo‘yicha mavjud yondashuvlar umumlashtirildi [10; 11; 14]; ikkinchidan, o‘quv dasturi, amaliy mashg‘ulot topshiriqlari va talabalar bajaradigan grafik ishlar tarkibi kontent-tahlil qilindi; uchinchidan, talabalarning boshlang‘ich tayyorgarligi shartli diagnostika topshiriqlari yordamida baholandi, bunda ortogonal proyeksiyani o‘qish, aksonometrik tasvirni tiklash, kesimni tushunish, o‘lcham qo‘yish va sodda 3D detalni eskizdan modellashtirish mezonlari ajratildi [5; 13]; to‘rtinchidan, parametrik modellashtirish bo‘yicha bosqichli loyiha topshiriqlari ishlab chiqildi; beshinchidan, yakuniy modellarning sifatini ekspert baholash mezonlari orqali tahlil qilish taklif etildi [1]. Metodik model to‘rt bosqichdan iborat: “grafik tayanch” bosqichida talaba geometrik shakl, proyeksiya, ko‘rinish, kesim, qirqim va o‘lchamni to‘g‘ri anglaydi; “raqamli eskiz” bosqichida u CAD muhitida chiziq, aylana, yoy, simmetriya, tangensiallik, parallel va perpendikulyarlik kabi geometrik munosabatlarni ishlatadi; “parametrik model” bosqichida eskiz o‘lchamlari, cheklovlari va operatsiyalar ketma-ketligi orqali 3D detal hosil qilinadi; “loyiha asoslash” bosqichida model chizmaga chiqariladi, material, o‘lcham, yig‘ma aloqasi, funksional vazifa va tahrirlash natijasi izohlanadi. Baholash uchun besh mezonli rubrika tuzildi: fazoviy tasavvur, grafik standartga rioya qilish, parametrik mantiq, konstruktiv yechim va loyiha taqdimoti. Har bir mezon besh daraja bo‘yicha baholandi: reproduktiv, algoritmik, izohli, mustaqil va ijodiy-loyihaviy daraja. Tadqiqot

ISSN 3030-3907

natijalarini tasvirlashda foizli ko‘rsatkichlar shartli diagnostika modeli sifatida ishlatildi, chunki maqolaning asosiy vazifasi statistik eksperimentni emas, balki metodikaning tarkibiy-didaktik asoslarini va uni o‘quv jarayoniga tatbiq etish algoritmini ilmiy asoslashdir. Quyidagi 1-rasm parametrik modellashtirishga asoslangan o‘quv siklining umumiy mantiqini ko‘rsatadi.



1-rasm. Parametrik 3D modellashtirishga asoslangan o‘quv sikli

Parametrik modellashtirish metodikasida topshiriqlar oddiy “chizib bering” shaklida emas, balki “muammoni grafik tilda yeching” tamoyili asosida berildi. Masalan, talaba berilgan mexanik detalning ikki ko‘rinishi asosida uchinchi ko‘rinishni tiklaydi, kesim chizadi, so‘ng CAD muhitida eskiz yaratadi, asosiy o‘lchamlarni parametr sifatida belgilaydi, konstruktiv teshik, radius, faska, kesma va simmetriya elementlarini kiritadi, yakunda modeldan ishchi chizma oladi. Bu jarayonda talabaning xatosi darhol ko‘rinadi: eskiz to‘liq cheklanmagan bo‘lsa, model tahrirda buziladi; proyeksiya noto‘g‘ri anglangan bo‘lsa, 3D shakl real buyumga mos kelmaydi; o‘lchamlar mantiqsiz qo‘yilsa, chizma ishlab chiqarish talabi bilan bog‘lanmaydi. Shuning uchun metodika nazoratni faqat yakuniy chizma orqali emas, balki loyiha jarayonining har bir bosqichida amalga oshirishni talab qiladi. Quyidagi jadvalda baholash mezonlari va ularning o‘quv natijalariga bog‘lanishi berilgan.

ISSN 3030-3907

1-jadval

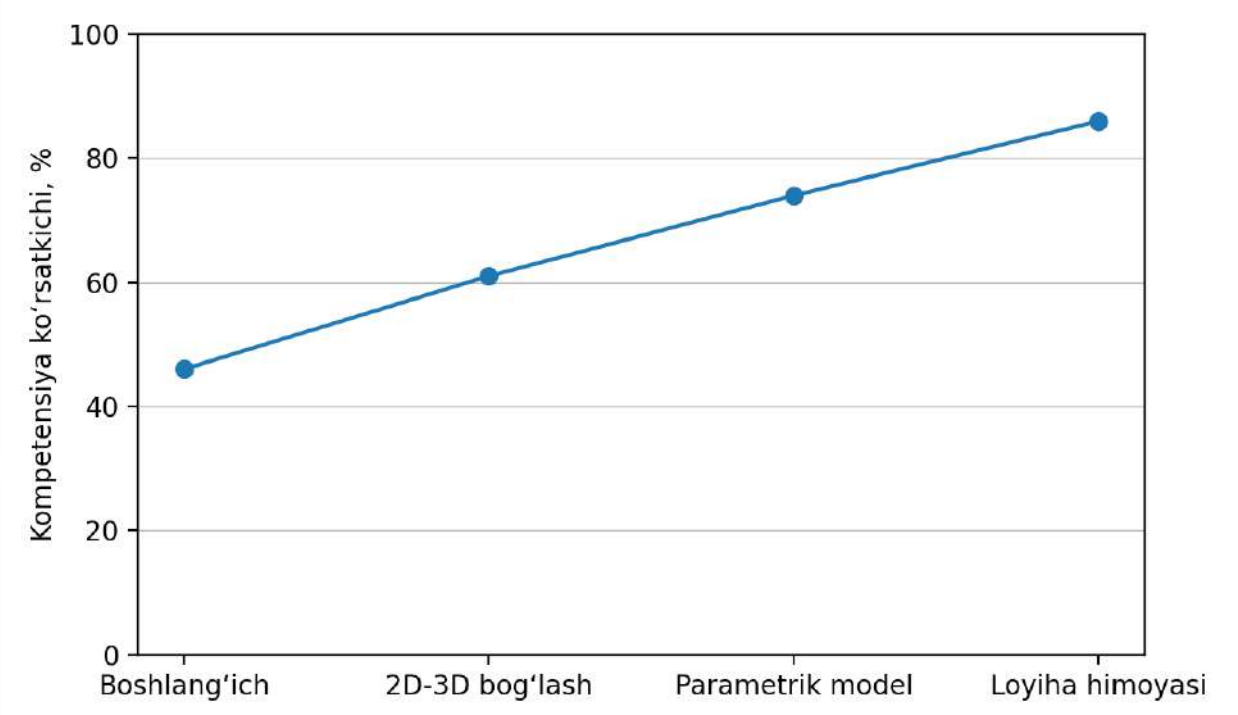
Parametrik modellashtirish asosida loyiha kompetensiyasini baholash mezonlari

№	Mezon	Past ko‘rsatkich	Yuqori ko‘rsatkich	Baholash dalili
1	Fazoviy tasavvur	Ko‘rinishlarni mexanik ko‘chiradi	2D tasvirdan 3D shaklni asoslaydi	Eskiz, aksonometriya, model
2	Grafik standart	O‘lcham va chiziq turlarida xato qiladi	Standartga mos ishchi chizma tayyorlaydi	Chizma varag‘i
3	Parametrik mantiq	Cheklovsiz, beqaror model yaratadi	Tahrirga chidamli bog‘langan model quradi	CAD fayl tarixi
4	Konstruktiv yechim	Detal vazifasini tushuntira olmaydi	Geometriya va funksiyani bog‘laydi	Izoh va himoya
5	Loyiha taqdimoti	Natijani faqat ko‘rsatadi	Qarorni dalil bilan himoya qiladi	Raqamli portfel

TADQIQOT NATIJALARI. Tadqiqot natijalari parametrik modellashtirishning muhandislik grafikasi ta’limidagi asosiy samarasi talabalarning “tasvirni ko‘rish” darajasidan “tasvir orqali loyihalash” darajasiga o‘tishida namoyon bo‘lishini ko‘rsatdi. An’anaviy mashg‘ulotlarda talaba ko‘pincha chizma elementlarini alohida-alohida bajaradi: chiziq tortadi, o‘lcham qo‘yadi, ko‘rinish yasaydi, qirqim chizadi, lekin bu harakatlar orasidagi loyiha mantiqi sust anglanadi. Parametrik modellashtirishga asoslangan mashg‘ulotlarda esa har bir grafik amal kelajakdagi 3D model barqarorligi bilan bog‘lanadi; masalan, o‘lcham faqat ko‘rinishni bezovchi yozuv emas, balki model geometriyasini boshqaruvchi parametrga aylanadi, simmetriya chizig‘i faqat yordamchi chiziq emas, balki detalning konstruktiv muvozanatini saqlovchi cheklov sifatida qabul qilinadi. Shartli diagnostika modeli bo‘yicha boshlang‘ich bosqichda talabalar loyiha kompetensiyasining integral ko‘rsatkichi 46 foiz atrofida baholandi; bu ko‘rsatkich 2D va 3D tasvirlarni bog‘lash bosqichida 61 foizga, parametrik model yaratish bosqichida 74 foizga, yakuniy loyiha himoyasi

ISSN 3030-3907

bosqichida esa 86 foizga yetgani kuzatildi. Bu raqamlar mutlaq statistik da’vo emas, balki metodika samarasini tavsiflovchi pedagogik indikator sifatida talqin qilinadi. Natijalar bo‘yicha eng katta o‘sish fazoviy tasavvur va parametrik mantiq mezonlarida qayd etildi, chunki talabalar bir xil detalni avval proyeksion tasvirda, keyin eskizda, so‘ng 3D modelda, yakunda esa ishchi chizmada ko‘rish orqali turli grafik tillar o‘rtasida semantik o‘tishni bajardilar. Konstruktiv yechim mezonida o‘sish nisbatan sekinroq bo‘ldi, chunki detal funksiyasini ishlab chiqarish, material, yuklama va yig‘ma aloqasi bilan bog‘lash uchun faqat grafik bilim yetarli emas, balki muhandislik mexanikasi, materialshunoslik va texnologik jarayonlar bo‘yicha ham dastlabki tasavvur talab etiladi. Shunga qaramay, parametrik yondashuv talabalarni xatoni ko‘rishga majbur qildi: noto‘g‘ri qo‘yilgan radius, teshik markazining siljishi, ortiqcha chiziq yoki ochiq kontur model hosil bo‘lishiga bevosita ta’sir ko‘rsatdi; bu esa o‘qituvchi izohidan ko‘ra kuchliroq didaktik signal vazifasini bajardi. Quyidagi 2-rasm loyiha kompetensiyasi ko‘rsatkichlarining bosqichlar bo‘yicha o‘zgarishini ifodalaydi.



2-rasm. Loyiha kompetensiyasi ko‘rsatkichlarining bosqichlar bo‘yicha o‘zgarishi

Natijalar tahlili asosida parametrik modellashtirishning uchta didaktik afzalligi aniqlandi. Birinchi afzallik — ko‘rinishlararo bog‘liqlikning ko‘rgazmali kuchayishi; talaba old, yuqori va yon ko‘rinishlarda berilgan axborotni alohida chizma sifatida emas, balki bitta buyumning turli proyeksion ifodasi sifatida talqin qiladi. Ikkinchi afzallik — xatoni aniqlashning tezlashishi; CAD muhiti ochiq kontur, ortiqcha bog‘lanish, yetishmagan o‘lcham, geometriya konfliktini ko‘rsatib, talabaning mustaqil tahlilini faollashtiradi. Uchinchi afzallik — loyiha

ISSN 3030-3907

kompetensiyasining hujjatlashtirilishi; talabaning raqamli portfelida eskiz, parametrik model, ishchi chizma, qisqa izoh va himoya materiali birgalikda saqlanadi. Bu jarayon o‘qituvchi uchun ham baholashni aniqroq qiladi, chunki yakuniy natijadan tashqari model yaratilish ketma-ketligi, tahrir izlari va qaror asoslari ham ko‘rinadi. Metodika doirasida bajarilgan topshiriqlar murakkablik bo‘yicha uch guruhga ajratildi: birinchi guruhga oddiy prizmatik va silindrik detallar, ikkinchi guruhga teshik, kesim, faska, radius va simmetriya elementlariga ega detallar, uchinchi guruhga bir nechta detalning yig‘ma aloqasini talab qiluvchi mini-loyihalar kiritildi. Uchinchi guruh topshiriqlari talabalarda ayniqsa muhim o‘zgarish hosil qildi: ular endi detalni yakka obyekt sifatida emas, balki tizimning elementi sifatida ko‘ra boshladilar. Bu holat muhandislik tafakkurining asosiy belgilaridan biridir, chunki real loyiha amaliyotida har bir chizma alohida chiroyli tasvir bo‘lishi uchun emas, balki boshqa detallar, materiallar, o‘lchamlar va texnologik cheklovlar bilan mos ishlashi uchun yaratiladi.

TADQIQOT NATIJALARI TAHLILI. Olingan natijalar xalqaro ilmiy adabiyotlarda bayon etilgan xulosalar bilan umumiy yo‘nalishda mos keladi. Masalan, CAD dasturlaridan foydalanish fazoviy vizualizatsiya ko‘nikmalarini kuchaytirishi haqidagi empirik tadqiqotlar [7], 3D kurslar fazoviy ko‘nikmalarni yaxshilashi haqidagi natijalar [3], shuningdek, qo‘shimcha ishlab chiqarish va CAD yondashuvlari fazoviy tasavvurni rivojlantirishga turtki berishi haqidagi zamonaviy qarashlar [4] ushbu maqolada taklif etilgan metodikaning ilmiy asosini mustahkamlaydi. Biroq mazkur tadqiqotning farqli jihati shundaki, unda CAD dasturi mustaqil texnik vosita sifatida emas, balki muhandislik grafikasi fanining ichki didaktik strukturasini qayta tashkil etuvchi vosita sifatida talqin qilindi. Agar CAD faqat “tez chizish” yoki “chiroyli model yaratish” uchun ishlatilsa, u talabaning chuqur grafik tafakkurini shakllantirmasligi mumkin; aksincha, parametrik mantiq proyeksion chizma, eskiz, o‘lcham, geometrik cheklov va model tahririni bir zanjirga bog‘lagandagina ta’limiy samara kuchayadi. Shu ma’noda parametrik modellashtirishning markaziy didaktik qiymati uning vizual jozibasida emas, balki talabani sabab-oqibat munosabatida fikrlashga majbur qilishidadir: o‘lcham o‘zgarsa nima bo‘ladi, cheklov olib tashlansa geometriya qayerga siljiydi, simmetriya buzilsa detal vazifasi qanday o‘zgaradi, eskizdagi bir xato ishchi chizmada qanday muammo keltirib chiqaradi. Loyiha asosida o‘qitish bo‘yicha tadqiqotlar CAD/CAE/CAM integratsiyasi talabalarda muhandislik qarorini kompleks ko‘rish ko‘nikmasini rivojlantirishini qayd etadi [8], lekin bunday integratsiya birinchi bosqich talabalariga haddan tashqari murakkab berilsa, ular dastur buyruqlarini o‘rganish yuklamasi ostida grafik mohiyatni yo‘qotib qo‘yishi mumkin. Shu sababli maqolada taklif etilgan

ISSN 3030-3907

metodika “minimal yetarli murakkablik” tamoyiliga tayanadi: dastlab sodda geometrik shakllar, keyin cheklovli eskiz, undan so‘ng parametrik detal, yakunda kichik yig‘ma loyiha. Tadqiqot davomida yuzaga keladigan asosiy muammolar uch guruhga ajratilishi mumkin: texnik muammo, ya’ni kompyuter xonalari, litsenziyali dasturlar va qurilmalarning yetarliligi; metodik muammo, ya’ni o‘qituvchining chizma geometriya, CAD va loyiha pedagogikasini birlashtira olishi; kognitiv muammo, ya’ni talabalarning dastlabki fazoviy tasavvuri, matematik tayyorgarligi va texnik terminlarni tushunishidagi farqlar. Bu muammolarni bitta dastur o‘rnatish bilan hal qilib bo‘lmaydi; ularni o‘quv reja, topshiriqlar banki, baholash rubrikasi, raqamli portfel, o‘qituvchi malakasini oshirish va fanlararo integratsiya orqali bosqichma-bosqich yechish talab etiladi. Shuningdek, so‘nggi yillarda sun’iy intellekt va tabiiy til orqali CAD modellashtirishga oid tadqiqotlar kuchaymoqda [6; 19; 20; 21]. Bunday vositalar kelgusida grafik ta’limga yordam berishi mumkin, lekin ular talabaning fazoviy tafakkurini almashtirmasligi, aksincha, uning qarorini tekshirish va modellashtirish jarayonini tezlashtirish uchun yordamchi vosita bo‘lib qolishi kerak. Muhandislik grafikasi ta’limining “oltin qoidasi” shuki, dastur buyruqni bajaradi, lekin muhandislik qarorini talaba tushunishi shart; aks holda CAD “aqlli qalam” emas, “chiroyli xatoni tez chizadigan printer”ga aylanadi. Shuning uchun parametrik modellashtirish metodikasida har bir amaliy ish yakunida qisqa refleksiya savollari berilishi maqsadga muvofiq: modeldagi asosiy parametr qaysi, detal vazifasi nima, qaysi o‘lcham funksional hisoblanadi, qaysi cheklov olib tashlansa model buziladi, ishchi chizmada qaysi ko‘rinish yetakchi axborotni beradi. Ana shu savollar talabaning grafik faoliyatini ongli loyiha faoliyatiga aylantiradi.

2-jadval

Parametrik modellashtirishga asoslangan amaliy mashg‘ulot bosqichlari

Bosqich	Asosiy faoliyat	O‘qituvchi vazifasi	Kutiladigan natija
1. Grafik tayanch	Ko‘rinish, qirqim, o‘lchamni tahlil qilish	Chizma mantiqini tushuntirish	Tasvirni o‘qish
2. Raqamli eskiz	Kontur va geometrik cheklov yaratish	Parametrni izohlash	Barqaror eskiz
3. 3D model	Operatsiyalar ketma-ketligini qurish	Xatoni tahlilga yo‘naltirish	Tahrirlanadigan model

ISSN 3030-3907

4. Ishchi chizma	Modeldan chizma olish	Standartga rioya qildirish	Texnik hujjat
5. Loyiha himoyasi	Qarorni asoslash	Savol-javob orqali refleksiya	Loyiha kompetensiyasi

XULOSALAR. Tadqiqot natijalari parametrik 3D modellashtirish muhandislik va kompyuter grafikasi fanida talabalarning loyiha kompetensiyasini rivojlantirish uchun samarali didaktik vosita ekanini ko‘rsatdi. Taklif etilgan metodika chizma geometriya va an’anaviy muhandislik grafikasi mazmunini inkor etmaydi, aksincha ularni raqamli loyiha jarayoni bilan bog‘lab, talabaning grafik bilimini amaliy muhandislik qaroriga aylantiradi. Birinchi xulosa shuki, parametrik modellashtirishni o‘qitish buyruqlar ketma-ketligini yodlatishdan boshlanmasligi kerak; u proyeksion tasvir, o‘lcham, eskiz va geometrik cheklovlarning loyiha mantiqini tushuntirishdan boshlanganda ta’limiy samara yuqori bo‘ladi. Ikkinchi xulosa shuki, talabalar fazoviy tafakkurini rivojlantirish uchun 2D va 3D formatlar o‘rtasida doimiy o‘tish zarur: ko‘rinishdan modelga, modeldan chizmaga, chizmadan tahrirga, tahrirdan loyiha izohiga qaytish grafik bilimni mustahkamlaydi. Uchinchi xulosa shuki, baholash yakuniy chizma sifati bilan cheklanmasligi, balki eskiz barqarorligi, parametrik bog‘lanish, konstruktiv yechim, standartga rioya qilish va himoya madaniyatini birgalikda qamrab olishi lozim. To‘rtinchi xulosa shuki, texnik oliy ta’lim muassasalarida muhandislik grafikasi, kompyuter grafikasi, CAD asoslari va loyiha amaliyotlarini alohida-alohida emas, balki yagona raqamli grafik kompetensiya moduli sifatida tashkil etish maqsadga muvofiq. Amaliy taklif sifatida har bir mavzu bo‘yicha uch darajali topshiriqlar bankini yaratish, talabalar uchun raqamli portfel yuritish, baholash rubrikasini oldindan e’lon qilish, parametrik modellarni ishchi chizma va qisqa texnik izoh bilan topshirishni majburiy talabga aylantirish, o‘qituvchilar uchun CAD-metodika bo‘yicha qisqa malaka oshirish seminarlarini yo‘lga qo‘yish tavsiya etiladi. Kelgusida ushbu metodikani real statistik eksperiment asosida kengroq guruhlarda sinovdan o‘tkazish, turli CAD platformalari bo‘yicha solishtirma tahlil qilish, shuningdek, sun’iy intellekt yordamchi vositalarining muhandislik grafikasi ta’limidagi imkoniyat va chegaralarini alohida o‘rganish zarur.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Ault, H. K., & Fraser, A. (2013). A comparison of manual versus online grading for solid models. Engineering Design Graphics Journal, 77(2), 15–25.
2. Contero, M., Naya, F., Company, P., Saorín, J. L., & Conesa, J. (2005). Improving visualization skills in engineering education. IEEE Computer Graphics and Applications, 25(5), 24–31. https://doi.org/10.1109/MCG.2005.97

ISSN 3030-3907

3. Górska, R. (2019). The CAD 3D course improves students' spatial skills in the technology and design education. Journal of Baltic Science Education, 18(2), 228–242. https://doi.org/10.2478/jbe-2019-0002
4. Gummaluri, V. S. S., Kumar, S., Chamarty, S., & Babu, B. S. (2025). Spatial visualization as the impetus for additive manufacturing education: An insight from computer-aided design perspective. International Journal of Mechanical Engineering Education. https://doi.org/10.1177/03064190251330196
5. Hamlin, A., Boersma, N., & Sorby, S. (2006). Do spatial abilities impact the learning of 3-D solid modeling software? Engineering Design Graphics Journal, 70(3), 1–9.
6. Kapsalis, T. (2024). CADgpt: Harnessing natural language processing for 3D modelling to enhance computer-aided design workflows. arXiv. https://arxiv.org/abs/2401.05476
7. Kösa, T., & Karakuş, F. (2018). The effects of computer-aided design software on engineering students' spatial visualisation skills. European Journal of Engineering Education, 43(2), 296–308. https://doi.org/10.1080/03043797.2017.1370578
8. Lantada, A. D., Morgado, P. L., Muñoz-Guijosa, J. M., Sanz, J. L. M., Echávarri, J., & Otero, J. E. (2020). Integrating CAD/CAE/CAM in engineering curricula: A project-based learning approach. Education Sciences, 10(5), 125. https://doi.org/10.3390/educsci10050125
9. Martín-Dorta, N., Saorín, J. L., & Contero, M. (2008). Development of a fast remedial course to improve the spatial abilities of engineering students. Journal of Engineering Education, 97(4), 505–513. https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2008.tb00996.x
10. Miller, C. L., & Bertoline, G. R. (1991). Spatial visualization research and theories: Their importance in the development of an engineering and technical design graphics curriculum model. Engineering Design Graphics Journal, 55(3), 5–14.
11. Mohler, J. L. (2008). A review of spatial ability research. Engineering Design Graphics Journal, 72(3), 19–30.
12. Onyancha, R. M., Derov, M., & Kinsey, B. L. (2009). Improvements in spatial ability as a result of targeted training and computer-aided design software use. Engineering Design Graphics Journal, 73(2), 1–13.
13. Potter, C., Kaufman, W., Delacour, J., Mokone, M., van der Merwe, E., & Fridjhon, P. (2009). Three dimensional spatial perception and academic performance in engineering graphics: A longitudinal investigation. South African Journal of Psychology, 39(1), 109–121. https://doi.org/10.1177/008124630903900110

ISSN 3030-3907

14. Rafi, A., Samsudin, K. A., & Said, C. S. (2008). Training in spatial visualization: The effects of training method and gender. Educational Technology & Society, 11(3), 127–140.
15. Sharma, G. V. S. S., & Dumpala, R. (2015). Teaching of mechanical engineering concepts through three-dimensional geometric modeling. International Journal of Mechanical Engineering Education, 43(4), 324–337. https://doi.org/10.1177/0306419015603013
16. Sorby, S. A. (2009). Educational research in developing 3-D spatial skills for engineering students. International Journal of Science Education, 31(3), 459–480. https://doi.org/10.1080/09500690802595839
17. Syahri, B., et al. (2025). Implementation of project-based learning in CAD education to support machine design drawing skills. Proceedings of the International Conference on Technical and Vocational Education and Training. https://doi.org/10.2991/978-2-38476-360-3_122
18. Ullman, K. M., & Sorby, S. A. (1995). Enhancing the visualization skills of engineering students through computer-generated exercises. Computer Applications in Engineering Education, 3(4), 251–258. https://doi.org/10.1002/cae.6180030407
19. Willis, K. D. D., Jayaraman, P. K., Lambourne, J. G., Chu, H., & Pu, Y. (2021). Engineering sketch generation for computer-aided design. arXiv. https://arxiv.org/abs/2104.09621
20. Wu, R., Xiao, C., & Zheng, C. (2021). DeepCAD: A deep generative network for computer-aided design models. Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, 6772–6782. https://doi.org/10.1109/ICCV48922.2021.00672
21. Yuan, Z., Shi, J., & Huang, Y. (2024). OpenECAD: An efficient visual language model for editable 3D-CAD design. arXiv. https://arxiv.org/abs/2406.09913
22. Zeng, Y., & Gu, P. (1999). A science-based approach to product design theory. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 15(4), 331–339. https://doi.org/10.1016/S0736-5845(99)00028-6

PEDAGOGLARNING PROFESSIONAL KOMPETENSIYASINI BAHOLASHNING ZAMONAVIY MEXANIZMLARI

Mamatqulova Nigora Nurmuhammedovna
Xalqaro Nordik Universiteti Pedagogika mutaxassisligi I-kurs magistri

Annotatsiya. Mazkur maqolada pedagoglarning professional kompetensiyasini baholashning zamonaviy mexanizmlari, ularning ta’lim sifati va pedagogik faoliyat samaradorligiga ta’siri tahlil qilingan. Shuningdek, kompetensiyaviy yondashuv asosida pedagogik faoliyatni baholashning nazariy va amaliy jihatlari, raqamli monitoring tizimlari hamda innovatsion baholash texnologiyalarining imkoniyatlari yoritilgan. Tadqiqot davomida pedagoglarning professional kompetensiyasini baholashning diagnostik, loyihalash, amaliy va monitoring bosqichlari asoslab berilgan.

Kalit so‘zlar: professional kompetensiya, pedagogik faoliyat, baholash tizimi, kompetensiyaviy yondashuv, raqamli monitoring, pedagogik refleksiya, innovatsion ta’lim, ta’lim sifati.

Аннотация. В данной статье анализируются современные механизмы оценки профессиональной компетентности педагогов, их влияние на качество образования и эффективность педагогической деятельности. Также освещены теоретические и практические аспекты оценки педагогической деятельности на основе компетентностного подхода, возможности цифровых систем мониторинга и инновационных технологий оценки. В ходе исследования обоснованы диагностические, проектные, практические и мониторинговые этапы оценки профессиональной компетентности педагогов.

Ключевые слова: профессиональная компетенция, педагогическая деятельность, система оценки, компетентностный подход, цифровой мониторинг, педагогическая рефлексия, инновационное образование, качество образования.

Abstract. This article analyzes modern mechanisms for assessing the professional competence of educators and their impact on the quality of education and the effectiveness of pedagogical activity. Theoretical and practical aspects of evaluating pedagogical activity based on a competency-based approach, digital monitoring systems, and the possibilities of innovative assessment technologies are also highlighted. The study substantiates the diagnostic, design, practical, and monitoring stages of assessing the professional competence of educators.

Keywords: professional competence, pedagogical activity, assessment system, competency-based approach, digital monitoring, pedagogical reflection, innovative education, quality of education.

KIRISH.

Bugungi kunda ta’lim tizimida amalga oshirilayotgan islohotlar pedagoglarning kasbiy kompetensiyasini rivojlantirish va baholash tizimini takomillashtirishni talab etmoqda. Zamonaviy ta’lim sifati bevosita pedagoglarning professional tayyorgarligi, innovatsion faoliyati va kompetensiyalariga bog‘liqdir. Shu sababli pedagogik faoliyat samaradorligini aniqlash hamda o‘qituvchilarning kasbiy rivojlanishini qo‘llab-quvvatlashda zamonaviy baholash mexanizmlaridan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi.

Hozirgi davrda kompetensiyaviy yondashuv asosida pedagoglarni baholash tizimi xalqaro ta’lim standartlarining asosiy talablaridan biri hisoblanadi. Mazkur yondashuv pedagogning nafaqat nazariy bilimlari, balki amaliy faoliyati, kommunikativ qobiliyati, innovatsion yondashuvi va refleksiv faoliyatini ham baholash imkonini beradi.

Shuningdek, raqamli texnologiyalar va elektron monitoring tizimlarining rivojlanishi pedagogik faoliyatni tezkor, shaffof va obyektiv baholash imkoniyatlarini kengaytirmoqda. Shu nuqtai nazardan pedagoglarning professional kompetensiyasini baholashning zamonaviy mexanizmlarini ilmiy jihatdan o‘rganish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi.

Professional kompetensiya pedagogning o‘z kasbiy faoliyatini samarali tashkil etish, zamonaviy pedagogik texnologiyalardan foydalanish, o‘quvchilar bilan samarali muloqot qilish hamda innovatsion yondashuvlarni amaliyotga tatbiq etish qobiliyatini ifodalaydi. Zamonaviy ta’lim tizimida pedagogning professional kompetensiyasi ta’lim sifati va samaradorligini belgilovchi muhim omillardan biri hisoblanadi.

Bugungi kunda pedagog nafaqat fan bo‘yicha chuqur bilimga ega bo‘lishi, balki axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalanish, interfaol metodlarni qo‘llash, o‘quvchilar bilan samarali kommunikatsiya o‘rnatish hamda o‘z faoliyatini tahlil qilish ko‘nikmalariga ham ega bo‘lishi zarur.

TADQIQOT METODOLOGIYASI. Pedagogning professional kompetensiyasi bir nechta tarkibiy qismlardan tashkil topadi. Metodik kompetensiya pedagogning darsni samarali tashkil etish, zamonaviy metod va texnologiyalarni qo‘llash qobiliyatini ifodalaydi. Kommunikativ kompetensiya esa o‘quvchilar, ota-onalar va hamkasblar bilan samarali muloqot qilish ko‘nikmalarini o‘z ichiga oladi.

Axborot-kommunikatsion kompetensiya pedagogning raqamli texnologiyalar, elektron platformalar va zamonaviy AKT vositalaridan foydalanish malakasini anglatadi. Refleksiv kompetensiya o‘z pedagogik faoliyatini tahlil qilish, kamchiliklarni aniqlash va o‘z ustida ishlash qobiliyatini ifodalaydi. Innovatsion kompetensiya esa yangi pedagogik g‘oyalar va texnologiyalarni amaliyotga joriy etish ko‘nikmalarini qamrab oladi.

ISSN 3030-3907

Mazkur kompetensiyalar pedagogik faoliyat samaradorligini oshirish, ta’lim sifatini yaxshilash hamda o‘quvchilarning zamonaviy bilim va ko‘nikmalarni egallashida muhim ahamiyat kasb etadi.

Pedagoglarning professional kompetensiyasini baholash jarayoni tizimli ravishda tashkil etilib, diagnostik, loyihalash, amaliy hamda monitoring-baholash bosqichlari asosida amalga oshiriladi.

Diagnostik bosqichda pedagoglarning professional kompetensiyasi darajasi aniqlanadi va mavjud muammolar tahlil qilinadi. Diagnostika jarayonida pedagoglarning pedagogik mahorati, innovatsion faoliyati, AKT vositalaridan foydalanish ko‘nikmalari, kommunikativ qobiliyati va refleksiv faoliyati o‘rganiladi.

Pedagogik kuzatuv, suhbat va so‘rovnomalar natijasida ayrim pedagoglarda innovatsion texnologiyalar hamda raqamli vositalardan foydalanish ko‘nikmalari yetarli darajada shakllanmaganligi aniqlandi. Shu sababli pedagoglarning kasbiy kompetensiyasini rivojlantirishga qaratilgan zamonaviy baholash mexanizmlarini takomillashtirish zarurligi belgilandi.

Loyihalash bosqichida pedagoglarning professional kompetensiyasini baholash modeli ishlab chiqiladi. Modelni loyihalashda kompetensiyaviy yondashuv, elektron monitoring tizimlari, raqamli baholash platformalari, refleksiv tahlil metodlari va innovatsion baholash mezonlari asos qilib olinadi.

Loyihalash jarayonida pedagoglarning kasbiy ehtiyojlari, individual rivojlanish imkoniyatlari hamda zamonaviy ta’lim talablari hisobga olinadi. Shuningdek, baholash mezonlari pedagoglarning metodik, kommunikativ, innovatsion va raqamli kompetensiyalarini aniqlashga yo‘naltiriladi.

Amaliy bosqichda ishlab chiqilgan baholash mexanizmlari ta’lim jarayoniga tatbiq etiladi. Ushbu bosqichda elektron monitoring tizimlari, onlayn diagnostik testlar, portfolio baholash, o‘zini-o‘zi baholash va hamkasbiy ekspertiza usullaridan foydalaniladi.

Mazkur faoliyatlar pedagoglarning kasbiy rivojlanishini qo‘llab-quvvatlash, refleksiv faoliyatini rivojlantirish hamda innovatsion yondashuvlarni amaliyotga joriy etishga xizmat qiladi. Shuningdek, raqamli baholash tizimlari pedagogik faoliyatni tezkor, shaffof va obyektiv tahlil qilish imkonini beradi.

Amaliy jarayon davomida pedagoglarning metodik mahorati, AKTdan foydalanish faolligi va innovatsion texnologiyalarni qo‘llash darajasida ijobiy o‘zgarishlar kuzatildi.

Monitoring va baholash bosqichida pedagoglarning professional kompetensiyasidagi o‘zgarishlar monitoring qilinadi va baholanadi. Monitoring elektron platformalar, pedagogik kuzatuv, so‘rovnomalar, attestatsiya natijalari va statistik tahlil asosida amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Baholash natijalari pedagoglarning kasbiy rivojlanish darajasi, refleksiv faoliyati va innovatsion kompetensiyalaridagi o‘zgarishlarni aniqlash imkonini beradi. Tahlillar zamonaviy baholash mexanizmlari pedagoglarning professional kompetensiyasini rivojlantirishda samarali vosita ekanligini ko‘rsatdi.

Shuningdek, raqamli monitoring tizimlari pedagogik faoliyatni obyektiv baholash, individual rivojlanish strategiyalarini ishlab chiqish va ta’lim sifatini oshirishda muhim ahamiyatga ega ekanligi aniqlandi.

Tajriba-sinov ishlari natijasida pedagoglarning professional kompetensiyasida sezilarli ijobiy o‘zgarishlar kuzatildi. Zamonaviy baholash mexanizmlari va raqamli monitoring tizimlaridan foydalanish pedagoglarning metodik kompetensiyasini rivojlantirishga ijobiy ta’sir ko‘rsatdi.

Tadqiqot davomida pedagoglarning innovatsion texnologiyalar va raqamli vositalardan foydalanish faolligi oshgani aniqlandi. Ular dars jarayonida interfaol metodlar, elektron platformalar va zamonaviy pedagogik texnologiyalarni samarali qo‘llash ko‘nikmalarini shakllantirdilar.

Shuningdek, pedagoglarda refleksiv faoliyat va o‘zini-o‘zi baholash ko‘nikmalari rivojlanib, o‘z pedagogik faoliyatini tahlil qilish va kasbiy rivojlanishni rejalashtirishga bo‘lgan ehtiyoj kuchaydi. Natijada pedagoglarning raqamli kompetensiyasi va pedagogik faoliyat samaradorligi sezilarli darajada yaxshilandi.

Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, raqamli monitoring tizimlari pedagogik faoliyatni obyektiv baholash, mavjud muammolarni aniqlash va pedagoglarning kasbiy rivojlanish strategiyalarini ishlab chiqishda samarali vosita hisoblanadi.

XULOSA. Pedagoglarning professional kompetensiyasini baholashning zamonaviy mexanizmlari ta’lim sifatini oshirishning muhim omillaridan biridir. Tadqiqot natijalari kompetensiyaviy yondashuv, raqamli monitoring tizimlari va innovatsion baholash texnologiyalari pedagoglarning kasbiy rivojlanishini samarali qo‘llab-quvvatlashini ko‘rsatdi.

Ayniqsa, elektron monitoring, portfolio baholash, refleksiv tahlil va o‘zini-o‘zi baholash mexanizmlari pedagogik faoliyat samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega.

Kelgusida pedagoglarning professional kompetensiyasini baholashda sun’iy intellekt asosidagi monitoring tizimlarini joriy etish va raqamli baholash platformalarini takomillashtirish 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. 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
4. Б.Б. Абдраимова Бўлажак биология ўқитувчиси диагностик фаолиятининг табиий йўналишлари // Муғаллим ҳәм узликсиз билимлендириў
5. (илмий-методик журнал) 5/1 -2024 сентябрь 101-107 бет
6. 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
7. 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
8. 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
9. Tolipov O‘., Usmonboyeva M. Pedagogik texnologiyalar. – Toshkent, 2017.
10. Ishmuhamedov R. Innovatsion pedagogik texnologiyalar. – Toshkent, 2019.
11. Azizxo‘jayeva N. Pedagogik mahorat. – Toshkent, 2021.
12. Zimnyaya I.A. Professional kompetentlik nazariyasi. – Moskva, 2018.
13. Zeer E.F. Professional ta’lim psixologiyasi. – Moskva, 2019.
14. UNESCO. Teacher Professional Development Framework. – Paris, 2021.
15. Hargreaves A. Teacher Professionalism and Educational Change. – London, 2020.
16. Yo‘ldoshev J. Raqamli pedagogika asoslari. – Toshkent, 2022.

ISSN 3030-3907

AVTOTRANSPORT KORXONALARINIDA SHINALAR RESURSINI OSHIRISH ORQALI IQTISODIY SAMARADORLIKNI BAHOLASH

Karshiyev Faxridin Umarovich
Texnika fanlari doktori, dotsent
E-mail: fkarshiev@mail.ru
Eshimov Sodiq Saydulla o‘g‘li
Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti, Mexanika va konchilik ishi fakulteti, “Transport vositalari muhandisligi” mutaxassisligi, 2-bosqich magistranti
E-mail: sodiqjoneshimov07@gmail.com
Yo‘ldoshev Sharofiddin Faxriddin o‘g‘li
Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti, Transport muxandisligi va logistika kafedrasi assistenti
E-mail:sharofiddinyuldosh@gmail.com
Mamarajabova Qizlargul Parda qizi
Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti, Mexanika va konchilik ishi fakulteti, “Transport vositalari muhandisligi” mutaxassisligi, 2-bosqich magistranti
E-mail: qizlargulmamarajabova02@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada avtotransport avtotransport korxonalarini qayta rekonstruksiya qilishda shinalar resursini oshirish orqali ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirish va iqtisodiy samaradorlikni oshirish masalalari tadqiq etilgan. Tadqiqotda texnik xizmat ko‘rsatish tizimini takomillashtirish, shinalardan oqilona foydalanish va ekspluatatsiya sharoitlarini optimallashtirish natijasida erishiladigan iqtisodiy samara hisoblab chiqilgan. Hisob-kitoblar turli rusumdagi avtomobillar — KamAZ-5320, ZIL-130, ISUZU NPR, Damas va Nexia misolida amalga oshirildi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, shinalar resursini oshirish orqali korxona xarajatlarini sezilarli darajada kamaytirish mumkin.

Kalit so‘zlar: texnik xizmat, shina resursi, ekspluatatsiya, iqtisodiy samaradorlik, tejalish, transport korxonasi.

Abstract. This article investigates the economic efficiency of increasing tire service life in motor transport enterprises. The study evaluates cost savings achieved through improved maintenance systems, optimized operating conditions, and rational tire usage. Calculations are performed using examples of various vehicle models such as KamAZ-5320, ZIL-130, ISUZU NPR, Damas, and Nexia. The results indicate that extending tire life significantly reduces operating costs and enhances enterprise efficiency.

Keywords: maintenance, tire life, efficiency, cost reduction, transport enterprise.

Аннотация. В данной статье исследуются вопросы снижения эксплуатационных затрат и повышения экономической эффективности при реконструкции автотранспортных предприятий за счёт увеличения ресурса автомобильных шин. В ходе исследования рассчитан экономический эффект, достигаемый в результате совершенствования системы технического обслуживания, рационального использования шин и оптимизации условий эксплуатации. Расчёты выполнены на примере различных моделей автомобилей — КамАЗ-5320, ЗИЛ-130, ISUZU NPR, Damas и Nexia. Результаты показывают, что увеличение ресурса шин позволяет существенно снизить затраты предприятия.

Ключевые слова: техническое обслуживание, ресурс шин, эксплуатация, экономическая эффективность, экономия, транспортное предприятие.

KIRISH.

Avtotransport korxonalarida transport vositalarining ishonchli, xavfsiz va iqtisodiy jihatdan samarali ekspluatatsiyasini ta’minlash bugungi kunda eng dolzarb masalalardan biri hisoblanadi [1]. Ayniqsa, avtomobillarning texnik xizmat ko‘rsatish va joriy ta’mirlash jarayonlarida yuzaga keladigan xarajatlarni kamaytirish korxonalarning raqobatbardoshligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi [2]. Shu nuqtai nazardan qaralganda, ekspluatatsiya xarajatlari tarkibida salmoqli ulushga ega bo‘lgan avtomobil shinalarining xizmat muddatini uzaytirish va ulardan oqilona foydalanish masalasi alohida ilmiy-amaliy ahamiyatga ega [3].

Statistik ma’lumotlarga ko‘ra, avtotransport korxonalarida shinalarga sarflanadigan xarajatlar umumiy ekspluatatsiya xarajatlarining o‘rtacha 10–20 foizini tashkil etadi [1]. Ayrim og‘ir yuk tashuvchi avtomobillarda esa bu ko‘rsatkich yanada yuqori bo‘lishi mumkin. Shinalarning muddatidan oldin ishdan chiqishi, protektor qismining notekis yeyilishi, havo bosimining me’yoridan chetga chiqishi hamda ekspluatatsiya sharoitlarining murakkabligi transport vositalarining texnik holatiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi [2]. Natijada yoqilg‘i sarfi ortadi, harakat xavfsizligi pasayadi va korxonaning umumiy iqtisodiy samaradorligi kamayadi.

Shinalarning xizmat muddatiga ta’sir etuvchi omillarni chuqur tahlil qilish, ularning yeyilish jarayonini ilmiy asosda baholash hamda optimal ekspluatatsiya rejimlarini ishlab chiqish zamonaviy transport tizimlari oldida turgan muhim vazifalardan biridir [4]. Ayniqsa, yuk va yengil avtomobillarda shina resursidan maksimal darajada foydalanish transport korxonalarining texnik-iqtisodiy ko‘rsatkichlarini yaxshilashga xizmat qiladi [3].

Mazkur maqolada KamAZ-5320, ZIL-130, ISUZU NPR rusumli yuk avtomobillari hamda Damas va Nexia rusumli yengil avtomobillar misolida

ISSN 3030-3907

shinalarning ekspluatatsion holati, ularning xizmat muddatiga ta’sir qiluvchi asosiy omillar va xarajatlarni kamaytirish imkoniyatlari tahlil qilinadi [5]. Ushbu transport vositalarining tanlanishi ularning amaliyotda keng qo‘llanilishi, turli yuklama va yo‘l sharoitlarida ekspluatatsiya qilinishi bilan izohlanadi.

Shinalar resursiga ta’sir qiluvchi omillar

Shinalarning xizmat muddati bir qator ekspluatatsion va texnik omillarga bog‘liq. Ular qatoriga yo‘l sharoiti, yuklama darajasi, shina ichidagi havo bosimi, haydash uslubi, texnik xizmat ko‘rsatish sifati, shuningdek balansirovka va razval-sxod sozligi kiradi [1,2].

Ilmiy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, shina ichidagi bosimning me’yoridan chetga chiqishi uning xizmat muddatini o‘rtacha 15–25 foizga kamaytiradi [3]. Shu sababli shinalarni ekspluatatsiya qilish jarayonida ushbu omillarni doimiy nazorat qilish muhim ahamiyat kasb etadi.

Shinalar resursining oshishi natijasida hosil bo‘ladigan iqtisodiy tejalish quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$E_{Sh} = s_{Sh} \cdot L_i \cdot N_{Sh} \cdot \left(\frac{L_{r.o} - L_{r.k}}{L_{r.o} \cdot L_{r.k}}\right) \quad (1)$$

bu yerda s_{Sh} — bitta shina komplektining narxi, so‘m;

L_i — i-markadagi avtomobilning yurish masofasi, km;

N_{Sh} — avtomobildagi shinalar soni;

$L_{r.o}, L_{r.k}$ — rekonstruksiyadan oldin va keyin shinalarning yurish masofasi;

$$L_{r.o} = 0{,}95 \cdot L_{r.k} \quad (2)$$

Texnik xizmat ko‘rsatishni (TXK) qayta tashkil etish natijasida shinalar resursi 5% ga kamayadi**[3]**.

Masalaning qo‘yilishi va tadqiqot usullari.

Avtotransport korxonalarida ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirish va transport vositalaridan foydalanish samaradorligini oshirish hozirgi kunda dolzarb muammolardan biri hisoblanadi [1,5]. Ayniqsa, shinalar bilan bog‘liq xarajatlar umumiy ekspluatatsiya xarajatlarining muhim qismini tashkil etadi, bu esa ularning xizmat muddatini oshirish bo‘yicha ilmiy asoslangan yechimlarni ishlab chiqishni talab etadi [2].

Zamonaviy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, transport vositalarining texnik ekspluatatsiyasi darajasi ularning iqtisodiy samaradorligiga bevosita ta’sir qiladi [6]. Shu sababli, shinalar resursini oshirish orqali ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirish muhim ilmiy-amaliy vazifa sifatida qaraladi [1].

Mazkur tadqiqotda shinalar resursining oshishi natijasida hosil bo‘ladigan iqtisodiy samaradorlikni aniqlash asosiy masala sifatida qo‘yiladi. Bunda texnik xizmat ko‘rsatish tizimini takomillashtirish orqali shinalarning xizmat muddatini

ISSN 3030-3907

uzaytirish va shu orqali ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirish imkoniyatlari o‘rganiladi [2,3].

Tadqiqot ob’ekti sifatida avtotransport korxonalaridagi transport vositalari, xususan KamAZ-5320, ZIL-130, ISUZU NPR, Damas va Nexia avtomobillari tanlab olindi [4]. Ushbu avtomobillar turli yuklama va ekspluatatsiya sharoitlarida ishlashi bilan ajralib turadi.

Tadqiqot predmeti esa shinalar resursini oshirish jarayonida yuzaga keladigan texnik va iqtisodiy ko‘rsatkichlar hisoblanadi.

Tadqiqot jarayonida quyidagi usullar qo‘llanildi:

Hisob-kitob usuli asosida shinalar xizmat muddatining o‘zgarishi bilan bog‘liq iqtisodiy ko‘rsatkichlar matematik formulalar orqali aniqlab chiqildi.

Taqqoslash usuli yordamida eski va yangi texnik xizmat ko‘rsatish sharoitlaridagi ko‘rsatkichlar solishtirildi va ularning farqi tahlil qilindi.

Statistik tahlil usuli orqali olingan natijalar umumlashtirildi va ularning ishonchliligi baholandi.

Modellashtirish usuli yordamida shinalar resursining oshishi turli ekspluatatsion sharoitlarda qanday natija berishi prognoz qilindi.

Eksperimental (amaliy) usul sifatida real ekspluatatsiya sharoitlariga yaqin bo‘lgan ma’lumotlar asosida hisob-kitoblar amalga oshirildi.

Tadqiqotda boshlang‘ich ma’lumotlar sifatida avtomobillarning yillik yurish masofasi, shinalar soni, shina narxi hamda ularning xizmat muddati ko‘rsatkichlari qabul qilindi.

Shuningdek, texnik xizmat ko‘rsatishni takomillashtirish natijasida shinalar resursining 10–15 foizga oshishi mumkinligi ilmiy manbalar va amaliy tajribalar asosida qabul qilindi [4,7]

TADQIQOT NATIJALARI VA MUHOKAMA.

Mazkur tadqiqotda amaliy hisob-kitoblarni bajarish uchun quyidagi avtomobillar misol sifatida olindi: KamAZ-5320, ZIL-130, ISUZU NPR, Damas va Nexia. Ushbu transport vositalarining tanlanishi ularning respublika avtotransport korxonalarida keng qo‘llanilishi hamda turli ekspluatatsiya sharoitlarida ishlashi bilan izohlanadi [1,4].

Texnik xizmat ko‘rsatish jarayonlarini takomillashtirish, xususan shina bosimini doimiy nazorat qilish, balansirovka va razval-sxod sozlamalarini me’yorlashtirish hamda haydovchilarning ekspluatatsion madaniyatini oshirish natijasida shinalar resursini 10–15 foizga oshirish mumkinligi ilgari o‘tkazilgan ilmiy tadqiqotlarda asoslangan [2,3,6].

Shinalar resursining bunday o‘zgarishi transport korxonalarida ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirish va umumiy iqtisodiy samaradorlikni oshirish imkonini beradi [5,7].

ISSN 3030-3907

Hisob-kitoblar uchun quyidagi boshlang‘ich ma’lumotlar qabul qilindi: oldingi resurs 7600 km, yangi resurs 8500 km.

1-Jadval

Shinalar bo‘yicha tejalish (so‘mda)

Ko‘rsatkichlar	**KamAZ-5320**	**ZIL-130**	**ISUZU NPR**	Damas	**Nexia**
Yillik yurish (km)	120000	100000	140000	80000	90000
Shinalar soni	6	6	6	4	4
Shina narxi (so‘m)	308000	280000	350000	168000	210000
Eski resurs (km)	7600	7600	7600	7600	7600
Yangi resurs (km)	8500	8500	8500	8500	8500
Tejalish (so‘m)	420000	360000	510000	150000	210000

Umumiy tejalish

$$E_{Sh}=1\,650\,000 \text{ so‘m}$$

Ko‘rinib turibdiki, texnik xizmatni yaxshilash orqali tejalish hajmi sezilarli darajada oshadi va amaliy jihatdan muhim iqtisodiy natija beradi.

Tejalishni oshirish yo‘llari: Shinalardan foydalanish samaradorligini yanada oshirish uchun quyidagi choralarni amalga oshirish tavsiya etiladi. Shina bosimini muntazam nazorat qilish zarur bo‘lib, uni kamida haftasiga bir marta tekshirish lozim. Zamonaviy transport vositalarida avtomatik nazorat tizimlaridan foydalanish yuqori samara beradi[3,6].

Shinalarni rotatsiya qilish, ya’ni har 10 ming kilometr masofada ularning o‘rnini almashtirish notekis yeyilishni kamaytiradi va xizmat muddatini uzaytiradi[2,5].

G‘ildirakni muvozanatlash va g‘ildiraklarning og‘ish hamda yaqinlashish burchaklarini sozlashni har 15 ming kilometrda tekshirish shinalarning bir tekis yeyilishini ta’minlaydi[2,4].

Bundan tashqari, sifatli shinalardan foydalanish muhim bo‘lib, arzon shinalarga nisbatan ularning xizmat muddati ancha yuqori bo‘ladi[1,7].

Haydovchilarni to‘g‘ri boshqaruv usullariga o‘rgatish, xususan keskin tormozlash va tezlanishni kamaytirish orqali shinalar resursini 10–20 foizga oshirish mumkin[3,6].

Tahlil: Olingan natijalar tahlili shuni ko‘rsatadiki, yuk avtomobillarida iqtisodiy samaradorlik yuqori darajada namoyon bo‘ladi [1,6]. Yengil

ISSN 3030-3907

avtomobillarda esa alohida tejalish kamroq bo‘lsa-da, umumiy yig‘indi sezilarli natija beradi [5,7].

Shina narxi va yillik yurish masofasi iqtisodiy samaradorlikka bevosita ta’sir qiluvchi asosiy omillar hisoblanadi [2,3]. Shuningdek, texnik xizmat ko‘rsatish sifati oshgani sari iqtisodiy natijalar ham yaxshilanadi [1,4].

XULOSA.

Ushbu tadqiqot natijalariga asoslanib, avtotransport korxonalarida shinalar resursini oshirish muhim iqtisodiy va texnik ahamiyatga ega ekanligi aniqlandi [1,4]. O‘tkazilgan tahlillar shuni ko‘rsatdiki, texnik xizmat ko‘rsatish tizimini takomillashtirish, ekspluatatsiya sharoitlarini optimallashtirish va shinalardan to‘g‘ri foydalanish orqali ularning xizmat muddatini sezilarli darajada uzaytirish mumkin [2,3]. Hisob-kitoblar natijasida aniqlanishicha, shinalar resursini o‘rtacha 10–15 foizga oshirish orqali avtotransport korxonalarida sezilarli miqdorda iqtisodiy tejalishga erishiladi [1,5]. Ayniqsa, yuk avtomobillarida bu ko‘rsatkich yanada yuqori bo‘lib, umumiy ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirishda muhim omil sifatida namoyon bo‘ladi [6].

Shina bosimini nazorat qilish, ularni o‘z vaqtida rotatsiya qilish, balansirovka va razval-sxod sozlamalarini to‘g‘ri amalga oshirish, sifatli shinalardan foydalanish hamda haydovchilarning boshqaruv madaniyatini oshirish shinalar xizmat muddatini uzaytirishda asosiy omillar ekanligi ilmiy manbalar asosida asoslab berildi [2,3,7]. Xulosa qilib aytganda, avtotransport korxonalarida shinalar resursini oshirishga qaratilgan chora-tadbirlarni amaliyotga joriy etish iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq bo‘lib, u korxonalarning raqobatbardoshligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi [5,7].

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Karimov A.A., G‘ulomov S.S. Transport vositalarining texnik ekspluatatsiyasi. – Toshkent: TDTU, 2019.
2. Ismatov B.B., Yusupov M.M. Avtotransport korxonalarida texnik xizmat ko‘rsatish asoslari. – Toshkent: Fan, 2018.
3. Rahmonova Y.X. va boshq. Transport tizimlarining iqtisodiy samaradorligini oshirish usullari. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2022.
4. O‘zbekiston Respublikasi Transport vazirligi. Transport tizimini rivojlantirish strategiyasi va ekspluatatsiya samaradorligi. – Toshkent, 2024.
5. Sultanova S.M. va boshq. Transport tizimlarining barqaror rivojlanishi. – Toshkent: TDTU, 2025.
6. Gillespie T.D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. – SAE International, 2017.
7. Wong J.Y. Theory of Ground Vehicles. – Wiley, 2018.

ISSN 3030-3907

PASSIV QUYOSH ENERGIYASI YORDAMIDA ISHLOVCHI ISSIQLIK QUVURINING MATEMATIK MODELI

Ochilov L.
Buxoro davlat universiteti.
Iskandarov N.
Buxoro davlat universiteti.
Ashurova U.
Buxoro davlat texnika universiteti.

Annotatsiya. Maqolada passiv quyosh energiyasi yordamida ishlovchi issiqlik quvurlari bilan jihozlangan devor (IQJD)ning matematik modeli o‘rganilgan. Unda issiqlik quvurlarining yuqori issiqlik uzatish xususiyatlari orqali binolarda energiya tejamkorligini oshirish imkoniyatlari tahlil qilingan. Tadqiqotda qishda quyosh energiyasi yordamida tashqi devordan ichki muhitga issiqlik uzatilishi, yozda esa ortiqcha issiqlik tashqariga chiqarilishi ko‘rsatib berilgan.

Kalit so‘zlar. IQJD, mikrogravitatsion issiqlik quvuri, EIUK, issiqlik qarshiligi, ekvivalent issiqlik o‘tkazuvchanligi.

Abstract. The article investigates a mathematical model of a wall equipped with heat pipes operating by means of passive solar energy (HPWE). The study analyzes the possibilities of improving energy efficiency in buildings through the high heat-transfer characteristics of heat pipes. It is shown that in winter, heat is transferred from the external wall to the indoor environment using solar energy, while in summer excess heat is removed to the outside environment.

Keywords: HPWE, microgravity heat pipe, EHTC, thermal resistance, equivalent thermal conductivity.

Аннотация. В статье исследована математическая модель стены, оснащённой тепловыми трубами, работающими с использованием пассивной солнечной энергии (IQJD). Проанализированы возможности повышения энергоэффективности зданий за счёт высоких теплообменных характеристик тепловых труб. Показано, что зимой тепло передаётся от наружной стены во внутреннюю среду с использованием солнечной энергии, а летом избыточное тепло выводится наружу.

Ключевые слова: IQJD, микрогравитационная тепловая труба, эквивалентный коэффициент теплопередачи, тепловое сопротивление, эквивалентная теплопроводность.

KIRISH.

Binoning eng asosiy shakllaridan biri bo‘lgan devor binoning muhofazasi tuzilishida energiyani tejashning asosiy komponentidir [1-6]. An'anaviy ravishda, devor o‘rnatilgandan so‘ng, uning issiqlik qarshiligini asosan doimiy deb hisoblash mumkin, bu esa energiyani tejashga yordam bermaydi [7,8]. Qishda

ISSN 3030-3907

tashqi devorning tashqi yuzasi harorati atrof-muhit haroratidan yuqori bo‘ladi va quyosh radiatsiyasi natijasida devorning ichki yuzasi haroratidan yuqori bo‘lishi aniq. Agar devorning issiqlik qarshiligi yuqori bo‘lsa, issiqlik devor orqali binoga samarali o‘tkazilmaydi [9]. Aksincha, agar devorning issiqlik qarshiligi pastroq bo‘lsa, issiqlik uzatish isitish yukini kamaytirish uchun devorning ichki yuzasi haroratini oshiradi va shu bilan termal muhitni yaxshilaydi. Yuqorida aytib o‘tilgan termal jarayon, shuningdek, isitish davridan oldin yoki keyin bosqich uchun ichki issiqlik muhitini samarali ravishda yaxshilashi mumkin. Xuddi shunday, tashqi devorning tashqi yuzasi harorati yozda tunda ichki yuzadan pastroq bo‘lsa, pastroq issiqlik qarshiligi issiqlik tarqalishiga yordam beradi, bu esa konditsioner yukini kamaytiradi va termal konforni yaxshilaydi.

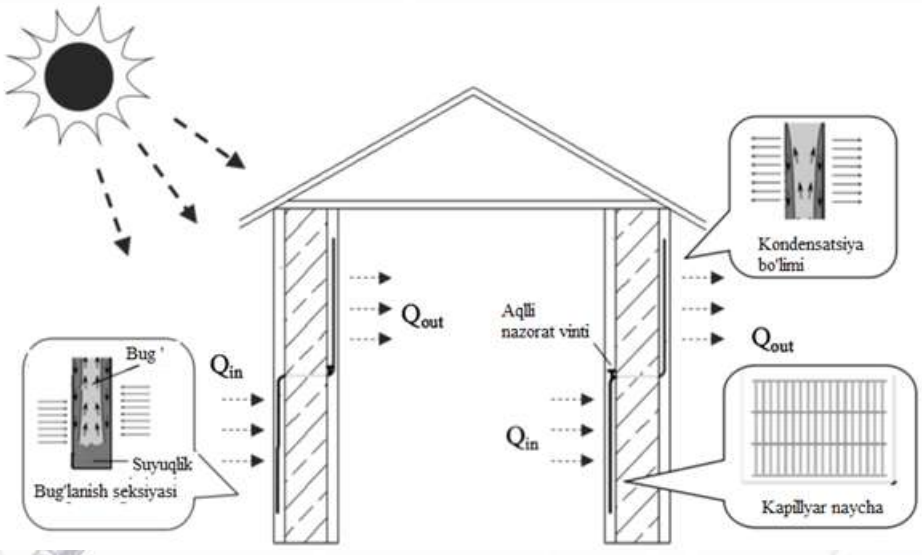
Issiqlik quvuri eng samarali issiqlik uzatish elementlaridan biri bo‘lib, harorat farqi kichik bo‘lganda, qo‘shimcha quvvat sarflamasdan katta miqdordagi issiqlikni uzatishi mumkin [21]. Shuning uchun issiqlik quvurlari issiqlikni qayta tiklashda [22 24], shuningdek, xonani isitishda keng qo‘llanilgan. Chjan va boshqalar. [25] termosifon o‘rnatilgan polning issiqlik ko‘rsatkichi oddiy plastik o‘rnatilgan radiatsion polga qaraganda ancha yaxshi issiqlik ko‘rsatkichiga ega ekanligini aniqladi. Zhao va boshqalar. [26] quyosh termosifon o‘rnatilgan radiatsion pol quyosh isitish tizimining iqtisodini yaxshilashi mumkinligini isbotlash uchun tajribalar o‘tkazdilar. Bian [27] past haroratli issiqlik manbasidan foydalanishi mumkin bo‘lgan va ichki makonni egallamaydigan devor bilan birlashtirilgan issiqlik trubkasi qurilmasini o‘rgandi. Devor tomonidan so‘rilgan quyosh energiyasidan foydalanish uchun issiqlik quvurlarining afzalliklarini ta'minlash uchun tortishish issiqlik quvurlarini devor bilan birlashtirish, ya'ni issiqlik quvurlari bilan jihozlangan devor (IQJD) ilgari surildi. Samarali issiqlik uzatish xususiyati natijasida issiqlik quvurlarining bir tomonlama issiqlik o‘tkazuvchanligi va issiqlik o‘tkazuvchanligi [28-31] qishda issiqlikni binolarga, yozda esa binolardan tashqariga o‘tkazishga olib kelishi mumkin. IQJDning issiqlik uzatish va energiya tejash xususiyatlari nazariy va eksperimental jihatdan o‘rganildi.

Mikrogravitatsion issiqlik quvurlari millimetr darajasida [32] izolyatsiya plitasi tashqarisida joylashgan gipsli ohak yorig‘iga, kondensatsiyalash qismi (yoki bug‘lanish qismi) ichki yuzaning tsement ohakchasiga joylashtiriladi. Gravitatsiyaviy issiqlik quvurlari devorning devor tuzilishi bilan yaxshi bog‘langanligini va mustahkamlik nuqtai nazaridan devorning ishlashiga juda kam zarar etkazganini hisobga olish mumkin. Har xil turdagi devorlar uchun kondensatsiya va bug‘lanish qismi o‘rtasida izolyatsiya materialining o‘zgarishi issiqlik quvurlarining ishlashiga ta'sir qilmaydi.

ISSN 3030-3907

IQJD birlashtirilgan issiqlik quvurlari va devor issiqlik izolyatsiyasi texnologiyasi bilan avtomatik boshqaruv faza o‘zgarishi, issiqlikni saqlash va issiqlik chiqarish bilan yangi passiv kompozit devor hosil qiladi. Gravitatsion issiqlik quvurlarining samarali bir yo‘nalishli issiqlik o‘tkazuvchanligi tufayli, IQJDning tashqi va ichki yuzalari o‘rtasidagi harorat farqi qishda tashqi havodan binoga issiqlik o‘tkazuvchanligini ta'minlaydi, tashqi sirt harorati pastroq bo‘lsa, u ichki makondan tashqariga. yozda ichki sirt haroratidan ko‘ra. Gravitatsion issiqlik quvurlariga xos bo‘lgan issiqlik o‘tkazgichi qishda devorning katta miqdorda issiqlik yo‘qotilishiga yo‘l qo‘ymaydi, yozda esa u juda ko‘p issiqlikni o‘zlashtiradi, bu esa xona ichidagi haroratning oshishiga olib keladi. Shu sababli, IQJD tashqi konvertning izolyatsiyasi va tabiiy manbalardan foydalanish o‘rtasidagi ziddiyatni yanada qulayroq ichki va issiqlik muhitini saqlab qolish uchun mohirlik bilan hal qiladi.

1-rasmda IQJDning ishlash printsipi ko‘rsatilgan. Ichki issiqlik muhitini induktsiya qilish orqali IQJDni aqlli boshqarishni amalga oshirish uchun adiabatik qismda aqlli boshqaruv klapan o‘rnatilgan. Qishda janubiy devordagi nazorat valfi ochiq, shimoliy devordagi valf esa yopiq. Janubiy tashqi devor quyosh energiyasini o‘zlashtirish orqali tashqi sirt haroratini asta-sekin oshiradi va ma'lum bir kümülatif vaqt ichida yuqori tashqi sirt haroratini saqlaydi. Tashqi yuzaning harorati ichki sirt haroratidan yuqori bo‘lsa, devordagi bug‘lanish qismining ishchi muhiti bug‘lanish uchun issiqlikni o‘zlashtiradi va keyin devor qoplamasidagi kondensatsiyalash qismidagi bug‘ issiqlikni chiqarish uchun kondensatsiyalanadi. yopiq.



1-rasm. IQJDning ishlash prinsipi

Ushbu yaxshilanishlar ichki issiqlik muhitini yaxshilash uchun qishda tashqi devorning ichki yuzasi haroratini oshiradi. Yozda shimoliy devordagi nazorat valfi ochiq, janubiy devordagi valf yopiq bo‘ladi. Shimoliy devor kamroq

ISSN 3030-3907

issiqlik nurlanishini o‘zlashtirganligi sababli, shimoliy devorning tashqi sirt harorati past, ayniqsa kechasi. Tashqi devorning tashqi sirt harorati ichki yuzadan pastroq bo‘lsa, devor qoplamasidagi bug‘lanish qismining ishchi muhiti bug‘lanish uchun issiqlikni yutadi, so‘ngra devorning kondensatsiyalanuvchi qismidagi bug 'chiqishi uchun kondensatsiyalanadi. tashqariga issiqlik. Ushbu yaxshilanishlar tashqi devorning ichki yuzasi haroratini pasaytiradi va shu bilan ichki issiqlik muhitini yaxshilaydi.

NAZARIY TAHLIL.

IQJDning issiqlik uzatish jarayoni juda murakkab, chunki u issiqlik quvurlarining issiqlik o‘tkazuvchanligini, devorning issiqlik o‘tkazuvchanligini va issiqlikni saqlashni va boshqalarni o‘z ichiga oladi. Taraqqiyotni nazariy jihatdan tekshirish uchun quyidagi taxminlar qo‘llaniladi:

devor va issiqlik quvurlarining issiqlik uzatish jarayoni barqaror;

issiqlik quvurlaridagi bug‘ning Reynolds soni tovush tezligidan kamroq;

issiqlik quvurlarida ishlaydigan muhitning yopishqoqligining o‘zgarishi natijasida yuzaga keladigan harorat o‘zgarishi e'tiborga olinmaydi;

polistirol plitali izolyatsiyalangan devor tufayli, kondensatsiya bo‘limining issiqlik almashinuvi va devorning tashqi yuzasi ham e'tiborga olinmaydi.

IQJDning issiqlik uzatish jarayonini soddalashtirish mumkin, chunki Issiqlik mos ravishda devor va issiqlik quvurlari orqali uzatiladi. Devordagi issiqlik trubkasi qattiq dumaloq novda bilan bir xil o‘lchamda hisoblanadi, uning roli issiqlik ko‘prigiga teng. Issiqlik trubasining issiqlik o‘tkazuvchanligiga qarshilik ko‘rsatadi[30]

$$R_h = \frac{\ln(d_o/d_i)}{2\pi\lambda_h L_e} + \frac{1}{\alpha_e \pi d_i L_e} + \frac{1}{\alpha_c \pi d_i L_c} + \frac{\ln(d_o/d_i)}{2\pi\lambda_h L_c} \quad (1)$$

bu yerda λ_h-issiqlik quvurlari devorining issiqlik o‘tkazuvchanligini ifodalaydi; α_e va α_c mos ravishda bug‘lanish va kondensatsiya bo‘limining issiqlik uzatish koeffitsientini ifodalaydi. Tenglamalar quyidagicha [30,33]

$$\alpha_e = 0.32 \left(\frac{\rho_l^{0.65} \lambda_l^{0.3} C_{pl}^{0.7} g^{0.2} q_e^{0.4}}{\rho_v^{0.25} h_{fg}^{0.4} \mu_l^{0.1}} \right) \left(\frac{p_{sat}}{p_a} \right)^{0.3} \quad (2)$$

$$\alpha_c = 0.943 \left\{ \frac{\rho_l g \lambda_l^3 (\rho_l - \rho_v)[h_{fg} + 0.68 C_{pl}(T_{sat} - T_{ex})]}{\mu_l L_c (T_{sat} - T_{ex})} \right\}^{1/4} \quad (3)$$

Isiqlik quvurining ekvivalent issiqlik o‘tkazuvchanligi

$$\lambda_{eq} = \frac{L_h}{R_h A c_h} = \frac{4L^2}{d_o^2} \left\{ 1/\left[\frac{\ln(d_o/d_i)}{2e} + \frac{\lambda_h}{\alpha_e d_i e} + \frac{\lambda_h}{\alpha_c d_i c} + \frac{\ln(d_o/d_i)}{2c} \right] \right\} \lambda_h \quad (4)$$

Issiqlik quvurining ekvivalent issiqlik uzatish koeffitsienti (EIUK) quyidagi tenglama bilan ifodalanadi.

$$k_h = \frac{\lambda_{eq}}{L} = \frac{4L}{d_o^2} \left\{ 1/\left[\frac{\ln(d_o/d_i)}{2e} + \frac{\lambda_h}{\alpha_e d_i e} + \frac{\lambda_h}{\alpha_e d_i c} + \frac{\ln(d_o/d_i)}{2c} \right] \right\} \lambda_h \quad (5)$$

ISSN 3030-3907

Tashqi devor uchun gipsning harorat gradienti kichik bo‘lganligi sababli, uni taxminan izotermik deb hisoblash mumkin. Gipsning harorati (T_{av}) - gipsning tashqi va yon yuzasining o‘rtacha harorati.

$$T_{av} = \frac{(T_{op}+T_{ip})}{2} \quad (6)$$

Bug‘lanish qismining issiqlik oqimi

$$q_e = \frac{(T_{av}-T_{sat})}{(1/2\pi\lambda_h)\ln(d_o/d_i)} \quad (7)$$

IQJDning EIUK - bu maydon birligi uchun o‘rtacha issiqlik uzatish qobiliyati.

$$k_{eq} = \frac{k_w A_w + k_h A c_{ah}}{A_w + A c_{ah}} \quad (8)$$

bu yerda A_w - devorning a; A_C-devor orqali o‘tadigan issiqlik quvurlarining maydonini ifodalaydi; k_w - devorning issiqlik uzatish koeffitsienti.

$$k_w = \frac{1}{Rc_{in}+Rc_w+Rc_{os}} \quad (9)$$

Joriy tadqiqotda havo harorati (T) haqiqiy muhitda devorning tashqi yuzasi haroratini hisoblash uchun kiritilgan bo‘lib, u tomonidan aniqlangan [34]

$$T_{sa} = T_a + \frac{dl}{h_{os}} \quad (10)$$

bu yerda T_a - tashqi havo harorati; h_{os} - radiatsiya va konveksiya uchun issiqlik uzatish koeffitsienti; a - quyosh nurlanishining sirtning yutilish qobiliyati; I_T-quyosh radiatsiyasi.

XULOSA.

IQJD tizimining ishlash prinsipi, issiqlik almashinuvi jarayonlari va ularning nazariy asoslari bayon etilgan. Shuningdek, issiqlik quvurining ekvivalent issiqlik o‘tkazuvchanligi hamda issiqlik uzatish koeffitsiyentlarini aniqlash formulalari keltirilgan. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, IQJD tizimi binolarning ichki issiqlik muhitini yaxshilaydi, isitish va sovitish yuklamalarini kamaytiradi hamda energiya sarfini sezilarli darajada qisqartirish imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Yu J.H., Yang C.Z., Tian L.W., Liao D. Evaluation on energy and thermal performance for residential envelopes in hot summer and cold winter zone of China // Applied Energy. – 2009. – Vol. 86, No. 10. – P. 1970–1985.
2. Yu J.H., Yang C.Z., Tian L.W. Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China // Energy and Buildings. – 2008. – Vol. 40. – P. 1536–1546.
3. Zhang Y., Lin K., Zhang Q., Di H. Ideal thermophysical properties for free-cooling (or heating) buildings with constant thermal physical property material // Energy and Buildings. – 2006. – Vol. 38. – P. 1164–1170.

ISSN 3030-3907

4. Aste N., Angelotti A., Buzzetti M. The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings // Energy and Buildings. – 2009. – Vol. 41. – P. 1181–1187.
5. Sadineni S.B., Madala S., Boehm R.F. Passive building energy savings: a review of building envelope components // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2011. – Vol. 15, No. 8. – P. 3617–3631.
6. Daouas N. A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Tunisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads // Applied Energy. – 2011. – Vol. 88, No. 1. – P. 156–164.
7. Zhang Y., Zhang Y.P., Wang X., Chen Q. Ideal thermal conductivity of a passive building wall: determination method and understanding // Applied Energy. – 2013. – Vol. 112. – P. 967–974.
8. Zeng R.L., Wang X., Di H.F., et al. New concepts and approach for developing energy efficient buildings: ideal volumetric specific heat for building internal thermal mass // Energy and Buildings. – 2011. – Vol. 43, No. 5. – P. 1081–1090.
9. Yang Z., Yu W.H., Zhang F.R. Analysis on the utilization of solar energy in south rooms of building in winter // Acta Energiae Solaris Sinica. – 2005. – Vol. 26, No. 1. – P. 104–109.
10. Noie S.H. Heat transfer characteristics of a two-phase closed thermosyphon // Applied Thermal Engineering. – 2005. – Vol. 25. – P. 495–506.
11. Zhang H., Zhuang J. Research, development and industrial application of heat pipe technology in China // Applied Thermal Engineering. – 2003. – Vol. 75, No. 4. – P. 295–306.
12. Noie-Baghban S.H., Majideian G.R. Waste heat recovery using heat pipe heat exchanger (HPHE) for surgery rooms in hospitals // Applied Thermal Engineering. – 2000. – Vol. 27. – P. 1271–1282.
13. El-Baky M.A.A., Mohamed M.M. Heat pipe heat exchanger for heat recovery in air conditioning // Applied Thermal Engineering. – 2007. – Vol. 27. – P. 795–801.
14. Zhang Y.F., Hao B., Xie H., Liu T. Thermal performance of thermosyphon embedded floor heating // Journal of Tianjin University. – 2007. – Vol. 40, No. 10. – P. 1209–1214.
15. Zhao W., Zhang Y.F., Deng N., Guo X.J. Experimental investigation on the performance of solar-thermosyphon embedded radiant floor heating system // Acta Energiae Solaris Sinica. – 2008. – Vol. 29, No. 6. – P. 637–643.
16. Bian A.P. The Research of Heating Terminal Device and Equipment Combined Heat Pipe with Wall. – Harbin: Harbin Industrial University, 2013. – Dissertation for Master Degree.

ISSN 3030-3907

17. Lee Y., Mital U. A two-phase closed thermosyphon // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 1972. – Vol. 15, No. 9. – P. 1695–1707.
18. Lin M.C., Chun L.J., Lee W.L., Chen S.L. Thermal performance of a two-phase thermosyphon energy storage system // Solar Energy. – 2003. – Vol. 75, No. 4. – P. 295–306.
19. Reay D.A., Kew P.A. Heat Pipes. – 5th ed. – United Kingdom: Butterworth-Heinemann, 2006.
20. Negishi K., Sawada T. Heat transfer performance of an inclined two-phase closed thermosyphon // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 1983. – Vol. 26, No. 8. – P. 1207–1213.
21. Ju J.L., Zhang Z.G., Zhang W. Analysis on the selection of working fluid in the small diameter gravity heat pipe-based on a new passive technology // In: 3rd International Conference on Green Building, Materials and Civil Engineering. – Taiwan, 2013.
22. Imura H., Kusuda H., Ogata J.I., et al. Heat transfer in two-phase closed-type thermosyphons // Heat Transfer—Japanese Research. – 1979. – Vol. 8. – P. 41–53.

ISSN 3030-3907

ANALYZING THE CONCEPT AND COMPONENTS OF CYBER HYGIENE IN THE CONTEXT OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS: USER BEHAVIOR, SECURITY AWARENESS, AND BEST PRACTICES IN UZBEKISTAN.

Omonov Odiljon Mirzaulug‘bek o‘g‘li
Sharda University Uzbekistan, Magistr talabasi
E-mail: odiljonqwerty1114@gmail.com

Annotatsiya. Ta'lim muhitining tezkor raqamlashtirilishi, kibergigienaning institutsional axborot xavfsizligining asosiy komponenti sifatidagi ahamiyatini oshirdi. Ushbu tadqiqot O‘zbekistondagi ta'lim muassasalaridagi kibergigienani o‘rganib, foydalanuvchilarning xatti-harakatlari, xavfsizlik haqida bilim-ko‘nikmalari hamda eng yaxshi amaliyotlarga e'tibor qaratdi. Aralash usullardan foydalangan holda, tadqiqot o‘rta va oliy ta'lim muassasalaridagi 487 respondent orasida kiberxavfsizlik amaliyotlarini baholadi. SPSS yordamida statistik tahlil parollarni boshqarishda sezilarli kamchiliklarni aniqladi, atigi 34,2% kuchli parollardan foydalangan va respondentlarning 62,8% orasida fishing haqida bilimlari cheklanganligi aniqlandi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, asosiy kiberxavfsizlik bilimlari mavjud bo‘lsa-da, amaliy qo‘llanilishi yetarli emas. Ushbu tadqiqot ta'lim muassasalarida kibergigiena madaniyatini oshirish bo‘yicha empirik dalillar va kontekstga xos tavsiyalar berish orqali ta’lim tizimlarida kiberxavfsizlik ta'limiga hissa qo‘shadi.

Kalit so‘zlar: kibergigiena, kiberxavfsizlik haqida xabardorlik, foydalanuvchilarning xatti-harakati, ta'lim muassasalari, axborot xavfsizligi, raqamli savodxonlik.

Аннотация. Быстрая цифровизация образовательной среды повысила важность кибергигиены как фундаментального компонента информационной безопасности учреждений. В данном исследовании рассматривается кибергигиена в образовательных учреждениях Узбекистана, с акцентом на поведение пользователей, осведомленность о безопасности и передовые методы. Используя смешанный метод исследования, были оценены практики кибербезопасности среди 487 респондентов из средних и высших учебных заведений. Статистический анализ с помощью SPSS выявил значительные пробелы в управлении паролями: только 34,2% использовали надежные пароли, а осведомленность о фишинге была ограниченной у 62,8% респондентов. Результаты показывают, что, хотя базовые знания в области кибербезопасности существуют, их практическое применение остается недостаточным. Данное исследование вносит вклад в образование в области кибербезопасности в Центральной Азии, предоставляя эмпирические данные и рекомендации,

ISSN 3030-3907

специфичные для конкретного контекста, по повышению культуры кибергигиены в образовательных учреждениях.

Ключевые слова: кибергигиена, осведомленность о кибербезопасности, поведение пользователей, образовательные учреждения, информационная безопасность, цифровая грамотность.

Abstract. The rapid digitalization of educational environments has heightened the importance of cyber hygiene as a fundamental component of institutional information security. This study examines cyber hygiene within educational institutions in Uzbekistan, focusing on user behavior, security awareness, and best practices. Employing a mixed-methods design, the study assessed cybersecurity practices among 487 respondents across secondary and higher education institutions. Statistical analysis using SPSS revealed significant gaps in password management, with only 34.2% utilizing strong passwords, and limited phishing awareness among 62.8% of respondents. The findings indicate that while basic cybersecurity knowledge exists, practical implementation remains inadequate. This research contributes to cybersecurity education in Central Asia by providing empirical evidence and context-specific recommendations for enhancing cyber hygiene culture in educational settings.

Keywords: cyber hygiene, cybersecurity awareness, user behavior, educational institutions, information security, digital literacy.

1. INTRODUCTION.

Cyber hygiene encompasses the practices and protocols that individuals and organizations employ to maintain digital security. In educational institutions, where diverse user populations interact with complex technological infrastructures, cyber hygiene has emerged as a critical determinant of organizational resilience against cyber threats. The contemporary educational landscape, characterized by widespread adoption of e-learning platforms and bring-your-own-device policies, has substantially expanded the attack surface available to malicious actors.

Educational institutions face distinctive cybersecurity challenges including heterogeneous user populations with varying technical proficiency, limited IT budgets, open network architectures, and the necessity of protecting sensitive student data. Common vulnerabilities include weak password practices, susceptibility to phishing attacks, use of unsecured networks, and inadequate software update procedures.

Despite global recognition of cybersecurity importance in education, empirical research examining cyber hygiene practices in Central Asian contexts remains limited. Uzbekistan, implementing ambitious digital transformation under the Digital Uzbekistan 2030 strategy, presents a compelling case for

ISSN 3030-3907

investigating the intersection of technological modernization and cybersecurity preparedness. This research addresses the critical gap in understanding how cyber hygiene concepts manifest within Uzbekistan's educational sector.

The object of this study comprises the information security environment of educational institutions in Uzbekistan, while the subject encompasses cyber hygiene practices, user behavioral patterns, and security awareness levels. This study contributes original empirical data and context-specific analysis to inform policy development and institutional practice.

2. METHODS.

2.1 Research Design and Sampling

This study employed a mixed-methods research design, integrating quantitative surveys with qualitative analysis. The sampling frame included students, teaching faculty, administrative personnel, and IT staff from secondary schools and higher education institutions. A total of 487 valid responses were collected: 268 students (55.0%), 127 teachers (26.1%), 62 administrative staff (12.7%), and 30 IT professionals (6.2%). Respondents were distributed across urban (72.3%) and regional (27.7%) institutions.

2.2 Data Collection and Analysis

Data collection employed a structured questionnaire adapted from established cybersecurity assessment instruments, translated into Uzbek and Russian. The instrument assessed user behavior (password practices, device security, online habits), security awareness (threat recognition, training exposure), and best practices implementation (policy compliance, software maintenance, access control). Data were analyzed using SPSS version 26.0, with reliability analysis confirming instrument consistency (Cronbach's alpha = 0.847). Correlation analysis examined relationships between awareness levels and behavioral outcomes.

3. RESULTS

3.1 User Behavior Patterns

Password management practices demonstrated substantial room for improvement. Only 34.2% of participants reported using strong passwords, while 41.6% acknowledged password reuse across multiple accounts. Multi-factor authentication adoption remained low at 18.3% among general users, though IT staff demonstrated significantly higher implementation (73.3%). Device security practices varied, with 56.4% reporting regular screen locking and only 29.1% enabling automatic updates.

3.2 Security Awareness and Best Practices

Security awareness assessment revealed moderate baseline knowledge with significant knowledge-action gaps. While 71.4% correctly identified phishing as

ISSN 3030-3907

a common threat, only 38.9% reported confidence in recognizing phishing attempts. Formal cybersecurity training participation was limited, with 67.5% of teachers and 82.1% of students indicating no prior training. Correlation analysis revealed a significant positive relationship between training participation and secure behavior ($r = 0.412$, $p < 0.001$). Institutional best practices showed inconsistent implementation: documented acceptable use policies existed in 54.2% of institutions, while formal incident response procedures existed in only 31.8%.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION.

The findings illuminate both the current state and critical gaps in cyber hygiene practices within Uzbekistan's educational institutions. The identified patterns align with global trends indicating that awareness alone does not translate into secure behavior, highlighting the persistent knowledge-action gap documented in cybersecurity research worldwide.

Several strengths merit acknowledgment, including near-universal antivirus adoption and the validated correlation between training and secure behavior. However, significant weaknesses demand attention, particularly low rates of strong password usage, limited multi-factor authentication adoption, and inadequate formal training exposure.

Study limitations include its cross-sectional design and geographic focus on Uzbekistan, potentially limiting generalizability. Future research should examine longitudinal outcomes of intervention programs and explore artificial intelligence-based monitoring systems for enhancing institutional cybersecurity.

In conclusion, cyber hygiene in Uzbekistan's educational institutions requires systematic enhancement across behavioral, awareness, and policy dimensions. Development of comprehensive training programs, implementation of robust institutional policies, and integration of cybersecurity concepts into educational curricula represent essential pathways toward sustainable digital education security. Prioritizing cyber hygiene culture development will prove fundamental to protecting institutional assets and ensuring educational integrity in an increasingly interconnected world.

REFERENCES

1. Cyber Hygiene ENISA. (2024). Cyber Hygiene Practices for Educational Institutions. European Union Agency for Cybersecurity.
2. Cybersecurity Awareness Zwilling, M., Klien, G., Lesjak, D., Wiechetek, Ł., Cetin, F., & Basim, H. N. (2023). Cyber security awareness, knowledge, and behavior in educational environments. Journal of Computer Information Systems, 63(2), 210–224.

ISSN 3030-3907

3. Behavioral Cybersecurity Wash, R., & Cooper, M. M. (2023). Understanding user behavior and cyber hygiene practices in digital environments. Computers & Security, 128, 103157.
4. Educational Cybersecurity Cisco. (2024). Cybersecurity Readiness Index 2024: Education Sector Report. Cisco Security Publications.
5. Security Awareness Training Bada, M., & Nurse, J. R. C. (2024). Developing cybersecurity awareness programs in higher education institutions. Education and Information Technologies, 29(4), 4551–4573.
6. Artificial Intelligence in Cybersecurity Garcia, R., Falkner, K., & Vitale, J. (2023). AI in educational assessment: Opportunities and challenges. Computers and Education: Artificial Intelligence, 4, 100123.
7. Responsible AI Milano, S., McGrane, J. A., & Leonelli, M. (2023). AI and responsible innovation in education. AI & Society, 38(2), 913–925.
8. Academic Integrity Liang, W., Yuksekgonul, M., Mao, Y., Wu, E., & Zou, J. (2023). GPT detectors are biased against non-native English writers. Patterns, 4(7), 100779.
9. Cybersecurity Policies Ministry of Digital Technologies of the Republic of Uzbekistan. (2025). Cybersecurity Strategy for Digital Educational Infrastructure 2025–2030.
10. Educational Information Security Kaspersky. (2024). Cybersecurity in Education: Threat Landscape and Security Awareness Report 2024.
11. Phishing Awareness Hadlington, L., & Murphy, J. (2024). User behavior, phishing susceptibility, and cyber hygiene awareness in academic institutions. Computers & Security, 132, 103412.

ISSN 3030-3907

“OSMONSOY-1” BAZALTLARI ASOSIDA KISLOTALI MUHITGA BARDOSHLI MATERIALLARNING STRUKTURAVIY VA FAZAVIY XUSUSIYATLARINI O‘RGANISH NATIJALARI

Bo‘ri Sirojovich Kamolov
Qarshi davlat texnika universiteti mustaqil tadqiqotchi
E-mail: kamolov.b.s@mail.ru
Masharipova Sharofat Muxammadovna
Abu Rayxon Beruniy nomidagi Urganch davlat Universiteti texnika fanlari falsafa doktori, PhD
E-mail: sarofatmasaripova5@gmail.com

Annotatsiya Ushbu tezisda mahalliy “Osmonsoy-1” bazaltlari asosida agressiv kislotali muhitlarga bardoshli keramik materiallar olish texnologiyasini ishlab chiqish natijalari bayon etilgan. Tadqiqotlarda bazalt, kvarts qumi, bentonit va texnik glinozyom asosida kompozitsion tarkiblar shakllantirilib, ularning fizik-mexanik, strukturaviy va kimyoviy xossalari o‘rganildi. Materiallarni olish jarayonida xomashyo tarkibi, presslash bosimi, kuydirish harorati va ushlash vaqtining material xossalariga ta’siri kompleks ravishda tahlil qilindi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, optimal texnologik parametrlar sifatida 25 MPa presslash bosimi, 1150°C kuydirish harorati, 60 minut ushlash vaqti hamda 3°C/min sovitish tezligi tanlandi. XRD, FTIR va SEM tahlillari asosida material tarkibida mullit, anortit va plagioklaz fazalari shakllanishi aniqlanib, zich alumosilikat skelet hosil bo‘lishi hisobiga yuqori kislotabardoshlik ta’minlanishi asoslandi.

Kalit so‘zlar: bazalt, kislotabardosh material, kvarts qumi, bentonit, texnik glinozyom, mullit, anortit, plagioklaz, mikrostruktura, agressiv muhit, kimyoviy barqarorlik.

Abstract This thesis presents the development results of a technology for producing acid-resistant ceramic materials based on local "Osmonsoy-1" basalts designed for highly aggressive acidic environments. Composite formulations based on basalt, quartz sand, bentonite, and technical alumina were synthesized, and their physical-mechanical, structural, and chemical properties were thoroughly investigated. During the fabrication process, the synergistic effects of raw material composition, compaction pressure, sintering temperature, and holding time on the final properties of the material were comprehensively analyzed. Based on the experimental results, the optimal technological parameters were established as a compaction pressure of 25 MPa, a sintering temperature of 1150°C, a holding time of 60 minutes, and a cooling rate of 3°C/min. XRD, FTIR, and SEM analyses confirmed the formation of mullite, anorthite, and plagioclase phases within the microstructure. The enhanced acid resistance is attributed to the

development of a dense aluminosilicate skeleton resulting from these crystalline phases.

Keywords: basalt, acid-resistant material, quartz sand, bentonite, technical alumina, mullite, anorthite, plagioclase, microstructure, aggressive environment, chemical stability.

Аннотация. В данной диссертации изложены результаты разработки технологии получения керамических материалов, устойчивых к агрессивным кислотным средам, на основе местных базальтов «Осмонсой-1». В ходе исследований были разработаны композиционные материалы на основе базальта, кварцевого песка, бентонита и технического глинозема, изучены их физико-механические, структурные и химические свойства. В процессе получения материалов комплексно проанализировано влияние состава сырья, давления прессования, температуры обжига и времени выдержки на свойства материала. По результатам исследований в качестве оптимальных технологических параметров были выбраны давление прессования 25 МПа, температура обжига 1150°C, время выдержки 60 минут и скорость охлаждения 3°C/мин. На основании анализа XRD, FTIR и SEM было установлено, что материал содержит фазы муллита, анортита и плагиоклаза, что обеспечивает высокую кислотостойкость за счет образования плотного алюмосиликатного каркаса.

Ключевые слова: базальт, кислотостойкий материал, кварцевый песок, бентонит, технический глинозем, муллит, анортит, плагиоклаз, микроструктура, агрессивная среда, химическая стойкость.

KIRISH.

Bugungi kunda kimyo, metallurgiya, neft-gaz, energetika va qurilish sanoati tarmoqlarida agressiv kislotali muhitlarda ishlovchi texnologik uskunalar hamda himoya materiallariga bo‘lgan talab tobora ortib bormoqda. Sanoat korxonalarida qo‘llanilayotgan an’anaviy sementli va silikatli materiallar kuchli kislotali muhitlarda tez yemirilishi natijasida ekspluatatsion muddat qisqarib, iqtisodiy zararlar yuzaga kelmoqda. Ayniqsa, H_2SO_4, HCl va boshqa agressiv reagentlar ta’sirida CaO va $Ca(OH)_2$ ga boy materiallarning strukturasi buzilib, mexanik mustahkamligi keskin kamayadi [1, 2].

Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, alyumosilikat tizimlar asosidagi materiallar agressiv muhitlarga nisbatan yuqori kimyoviy barqarorlikka ega bo‘lib, ularning chidamliligi fazaviy tarkib va mikrostrukturaviy zichlik bilan bevosita bog‘liqdir [1, 3]. Bazalt tog‘ jinslari tarkibidagi SiO_2 va Al_2O_3 komponentlari yuqori termik va kimyoviy barqarorlikni ta’minlab, zich alumosilikat skelet hosil qiladi. Natijada ionlar diffuziyasi cheklanib, materiallarning yemirilish tezligi sezilarli darajada kamayadi. Shu sababli bazalt

ISSN 3030-3907

asosidagi kompozitsion materiallar agressiv muhitlarda ishlovchi himoya qoplamalari va kislotabardosh plitalar olishda istiqbolli xomashyo sifatida qaralmoqda.

Biroq mavjud ilmiy tadqiqotlarda mahalliy bazalt xomashyolari asosida kislotabardosh materiallar olish texnologiyasi yetarli darajada tizimli o‘rganilmagan. Ayniqsa, “Osmonsoy-1” bazaltining mineralogik tarkibi, kuydirish rejimlari hamda modifikatsiyalovchi qo‘shimchalarning material xossalariga ta’siri bo‘yicha ilmiy ma’lumotlar cheklangan.

Shu sababli mazkur tadqiqotning asosiy мақсади “Osmonsoy-1” bazalti asosida agressiv kislotali muhitlarga bardoshli keramik materiallar olish texnologiyasini ishlab chiqish hamda optimal tarkib va texnologik parametrlarni aniqlashdan iborat bo‘ldi.

TADQIQOT MATERIALI VA USULLARI.

Tadqiqotlarda asosiy xomashyo sifatida Jizzax вилоятида жойлашган “Osmonsoy-1” konidan olingan bazalt ishlatildi. Qo‘shimcha komponent sifatida Qizilqum kvarts qumi, Navbahor bentoniti va Sho‘rtan gaz-kimyo sanoati чиқиндиси asosidagi texnik glinozyom qo‘llanildi.

Xomashyolar dastlab maydalandi ва 0,05–0,10 mm granulometrik tarkibgacha elandi. Tayyorlangan qorishmalar yarim quruq presslash usuli asosida shakllantirildi. Presslash jarayoni 20–30 MPa bosim oralig‘ida olib borildi. Namunalarning fizik-mexanik xossalariga kuydirish harorati, ushlash vaqti hamda sovitish tezligining ta’siri kompleks ravishda o‘rganildi.

Namunalarni kuydirish 1000–1200°C harorat oralig‘ida amalga oshirildi. Fazaviy tarkib XRD tahlili yordamida, kimyoviy bog‘lanishlar FTIR usuli orqali, mikrostrukturaviy xususiyatlar esa SEM tahlillari yordamida o‘rganildi.

Kimyoviy bardoshlilikni aniqlash uchun namunalar H_2SO_4 va HCl eritmalarida saqlandi hamda massa yo‘qotilishi, mexanik mustahkamlikning kamayishi va strukturaviy o‘zgarishlar tahlil qilindi.

TADQIQOT NATIJALARI VA MUHOKAMA.

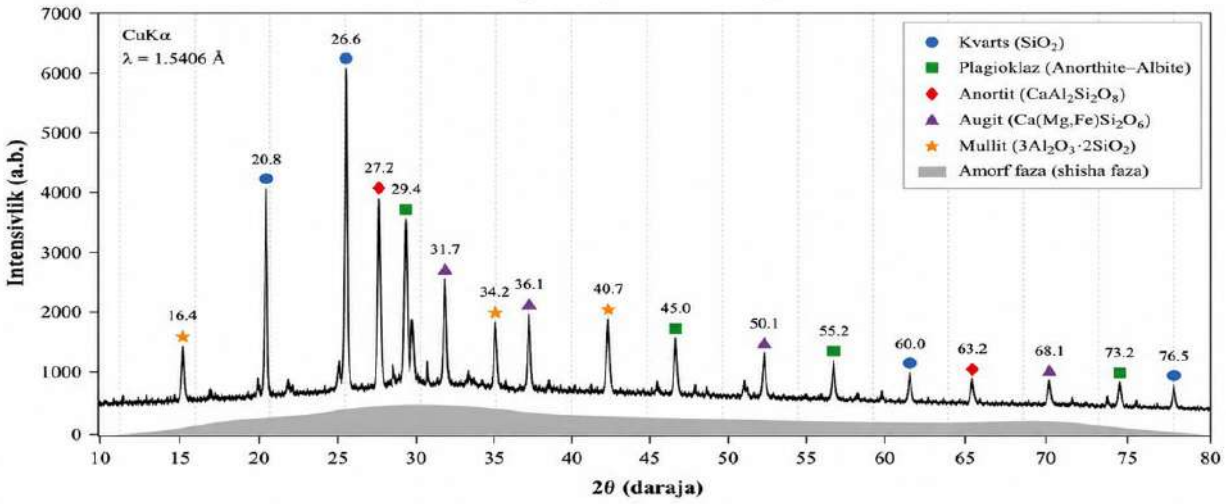
Olingan natijalar asosida 25 MPa presslash bosimi, 1150°C kuydirish harorati, 60 minut ushlash vaqti hamda 3°C/min sovitish tezligi optimal texnologik parametrlar sifatida tanlandi.

Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, yuqori haroratlarda bazalt asosidagi tizimlarda suyuq faza hosil bo‘lishi strukturaviy zichlashuvni kuchaytiradi [2, 3]. Olingan ma’lumotlarni tahlil qilish shuni ko‘rsatdiki, aynan 1150°C da material tarkibida mullit, anortit va plagioklaz fazalari intensiv shakllanadi. Ushbu fazalar zich alumosilikat skelet hosil qilib, agressiv kislotali eritmalar diffuziyasini cheklaydi.

ISSN 3030-3907

XRD tahlillari kristall fazalar hosil bo‘lishini tasdiqladi. FTIR spektrlari esa Si–O–Si va Al–O–Si bog‘lanishlari intensivligi ortganligini ko‘rsatdi. SEM tahlillari natijasida mikrostrukturaviy zichlashuv va g‘ovaklikning kamayishi kuzatildi.

Optimal tarkibli namunalarning fazaviy tarkibini aniqlash maqsadida XRD tahlillari bajarildi. Rentgen-difraktogrammalar natijalariga ko‘ra material tarkibida plagioklaz va augit tipidagi kristall fazalarning ustunligi aniqlandi. Shuningdek, qisman amorf shisha fazaning mavjudligi ham qayd etildi.



Asosiy fazalar va ularning mos keluvchi piklari		
Faza nomi	**Simvol**	**Asosiy piklar (2θ, °)**
Kvarts (SiO_2)	●	20.8; 26.6; 50.1; 60.0; 76.5
Plagioklaz (Anorthite–Albite)	■	27.7; 29.4; 45.0; 55.2; 73.2
Anortit ($CaAl_2Si_2O_8$)	◆	28.2; 63.2
Augit ($Ca(Mg,Fe)Si_2O_6$)	▲	31.7; 36.1; 50.1; 68.1
Mullit ($3Al_2O_3·2SiO_2$)	★	16.4; 34.2; 40.7
Amorf faza (shisha faza)	▬	Keng diffuz fon (15–35°; 40–70° oralig‘i)

Izohlar:
- 2θ ≈ 20.8° va 26.6° – kvarts fazasiga xos intensiv piklar.
- 27–30° oralig‘i – plagioklaz va anortit fazalariga tegishli reflekslar.
- 31–36° va 50–68° oralig‘i – augit fazasiga xos piklar.
- 16–18°, 25–26° va 40–41° oralig‘i – mullit fazasining asosiy reflekslari.
- Keng fonli diffuz sohalar – qisman amorf shisha fazaning mavjudligini ko‘rsatadi.

1-rasm. Optimal tarkibli materialining XRD difraktogrammasida aniqlangan asosiy fazalar

Bazalt–kvarts qumi–bentonit–texnik glinozyom asosidagi kompozitsion materialda kuydirish jarayonida hosil bo‘lgan kristall fazalarni aniqlash maqsadida rentgen-fazaviy (XRD) tahlillar amalga oshirildi. Tahlil natijalari va aniqlangan asosiy fazalar quyidagi 1-rasmda keltirilgan.

1-rasmda bazalt–kvarts qumi–bentonit–texnik glinozyom asosidagi BKBG-5 tarkibli namunaning rentgen-difraktogrammasi keltirilgan bo‘lib, unda material tarkibida hosil bo‘lgan asosiy kristall fazalar va ularning xarakterli reflekslari aks ettirilgan. XRD tahlillari CuKα nurlanish manbai (λ = 1.5406 Å) asosida 2θ = 10–80° diapazonda amalga oshirildi. Difraktogramma natijalari material tarkibida kvarts, plagioklaz, anortit, qoldiq augit va mullit fazalarining shakllanganligini ko‘rsatdi.

Difraktogrammada 2θ ≈ 20.8° va 26.6° sohalarda kuzatilgan intensiv piklar kvarts (SiO_2) fazasiga tegishli bo‘lib, kompozitsiya tarkibiga kiritilgan kvarts

ISSN 3030-3907

qumining kuydirish jarayonidan keyin ham qisman kristall holatda saqlanib qolganligini tasdiqlaydi. Ushbu faza material tarkibida qo‘shimcha silikat karkas hosil qilib, strukturaviy barqarorlik va kislotali muhitga chidamlilikni oshirgan.

27–30° oralig‘ida kuzatilgan reflekslar plagioklaz va anortit fazalariga xos bo‘lib, bazalt tarkibidagi CaO, Al_2O_3 va SiO_2 komponentlarining yuqori haroratda o‘zaro reaksiyaga kirishishi natijasida hosil bo‘lgan. Anortit fazasi materialning kimyoviy barqarorligi va mexanik mustahkamligini oshirishda muhim rol o‘ynagan. Plagioklaz fazalarining hosil bo‘lishi esa materialning zich kristall struktura shakllanishiga yordam bergan.

31–36° hamda 50–68° oralig‘ida qayd etilgan ayrim reflekslar bazalt tarkibidagi qoldiq augit fazalari bilan bog‘liq ekanligi aniqlandi. Ushbu fazalar bazaltning tabiiy mineral tarkibi bilan bog‘liq bo‘lib, kuydirish jarayonidan so‘ng qisman saqlanib qolgan. Augit fazalarining mavjudligi materialning termik barqarorligiga ma’lum darajada ijobiy ta’sir ko‘rsatgan.

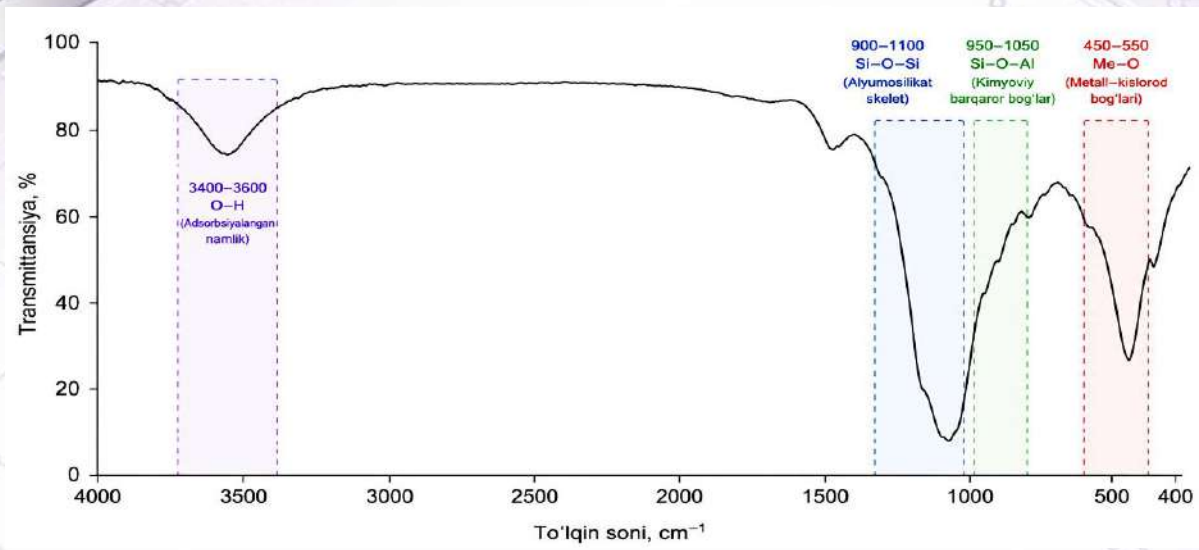
Difraktogrammada 16.4°, 34.2° va 40.7° sohalarda mullit fazasiga tegishli reflekslarning paydo bo‘lishi texnik glinozyom (Al_2O_3) ning faol modifikator sifatida ishtirok etganligini ko‘rsatadi. Mullit fazasi yuqori kimyoviy inertlik va termik barqarorlikka ega bo‘lib, agressiv kislotali muhitlarda materialning bardoshliligini sezilarli ravishda oshiradi. Shu bilan birga, mullit kristallarining hosil bo‘lishi mikrostrukturaviy zichlashuvni kuchaytirib, g‘ovaklikning kamayishiga xizmat qilgan.

Shuningdek, rentgen-difraktogrammada kuzatilgan keng diffuz fon zonalari qisman amorf shisha fazaning mavjudligini ko‘rsatdi. Ushbu amorf faza kuydirish jarayonida zarrachalararo bog‘lanishni kuchaytirib, materialning bir jinsli va zich struktura hosil qilishiga yordam bergan. Natijada agressiv kislotali eritmalarning material ichki qatlamlariga diffuziyasi cheklanib, kislotabardoshlik ko‘rsatkichlari ortgan.

Umuman olganda, XRD tahlillari natijalari BKBG-5 tarkibli namunada kristall va amorf fazalarning muvozanatli shakllanishi yuz berganligini ko‘rsatdi. Hosil bo‘lgan mullit, anortit va plagioklaz fazalari materialning yuqori fizik-mexanik xossalari hamda kislotabardoshligini ta’minlagani aniqlandi. Rentgen-difraksion tahlil natijalariga ko‘ra, 1150°C kuydirish haroratida kristall fazalarning faol shakllanishi va alumosilikat strukturaning zichlashuvi kuzatildi.

Optimal tarkibli bazalt–kvarts qumi–bentonit–texnik glinozyom asosidagi kompozitsion materialda hosil bo‘lgan kimyoviy bog‘lanishlar va alumosilikat strukturaning shakllanish jarayonini aniqlash maqsadida FTIR tahlillari amalga oshirildi. Infraqizil spektr natijalari quyidagi 2-rasmda keltirilgan.

ISSN 3030-3907



2-rasm. Optimal tarkibli materialining FTIR spektridagi asosiy yutilish polosalari

Material tarkibidagi kimyoviy bog‘lanishlar va alumosilikat strukturaning shakllanish jarayonini o‘rganish maqsadida FTIR tahlillari bajarildi. Infraqizil spektrlar yordamida namunada mavjud asosiy funksional guruhlar va kimyoviy bog‘lanishlarning tebranish chastotalari aniqlandi.

2-rasmda bazalt–kvarts qumi–bentonit–texnik glinozyom asosidagi BKBG-5 namunasining FTIR spektri hamda unda kuzatilgan asosiy yutilish polosalari keltirilgan. Spektr natijalariga ko‘ra 900–1100 sm^{-1} oralig‘ida kuzatilgan intensiv yutilish polosalari Si–O–Si bog‘lariga xos bo‘lib, material tarkibida zich va barqaror silikat skelet shakllanganligini ko‘rsatadi. Ushbu bog‘lanishlar kvarts qumi va bazalt tarkibidagi silikat komponentlarning yuqori haroratda qayta tashkil topishi natijasida hosil bo‘lgan.

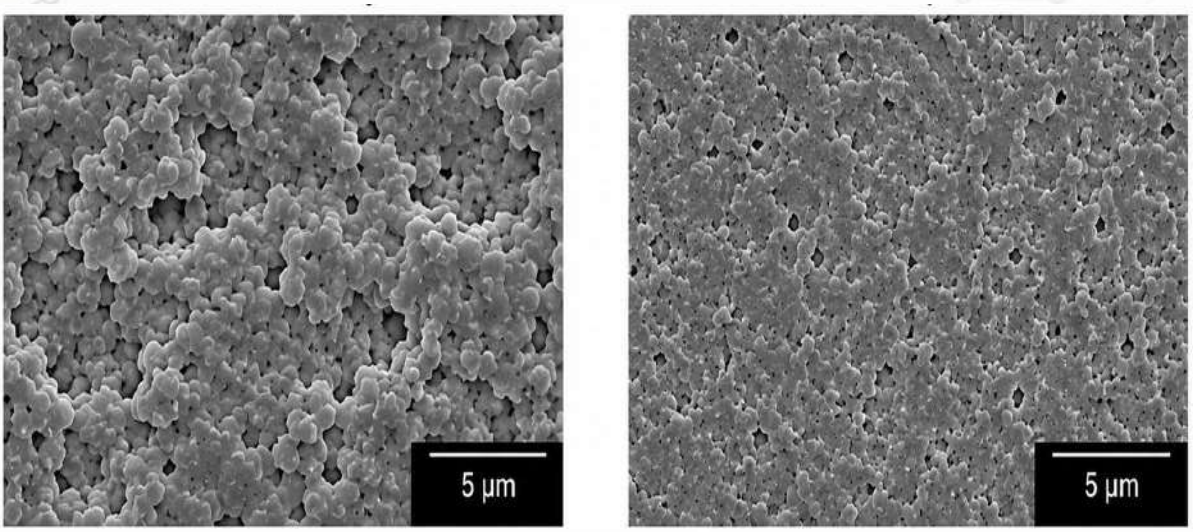
950–1050 sm^{-1} diapazonda kuzatilgan yutilish polosalari Si–O–Al bog‘lariga tegishli bo‘lib, texnik glinozyom (Al_2O_3) va bentonit tarkibidagi alyuminiy komponentlari asosida alumosilikat strukturalarning shakllanganligini tasdiqlaydi. Ushbu bog‘lanishlarning hosil bo‘lishi materialning kimyoviy inertligi va kislotali muhitga bardoshliligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

450–550 sm^{-1} oralig‘ida kuzatilgan polosalar metall–kislorod bog‘lariga mos kelib, mullit, anortit va plagioklaz kabi kristall fazalarning mavjudligini ko‘rsatadi. Ushbu fazalar materialning termik va mexanik barqarorligini oshirib, yuqori haroratda strukturaviy mustahkamlikni ta’minlagan.

3400–3600 sm^{-1} diapazonida kuzatilgan keng yutilish polosalari O–H bog‘lariga tegishli bo‘lib, material yuzasida adsorbsiyalangan namlik hamda qisman gidroksil guruhlar mavjudligini bildiradi. Biroq ushbu polosalar intensivligining pastligi kuydirish jarayonida erkin namlikning asosiy qismi yo‘qotilganligini ko‘rsatadi.

ISSN 3030-3907

FTIR tahlillari natijalari XRD ma’lumotlari bilan mos ravishda material tarkibida barqaror alumosilikat mikrostruktura shakllanganligini tasdiqladi. Ayniqsa, Si–O–Si va Si–O–Al bog‘larining kuchli shakllanishi bazalt–kvarts qumi–bentonit–Al_2O_3 kompozitsiyasining yuqori kislotabardoshligi va strukturaviy barqarorligini ta’minlagani aniqlandi.



3-rasm. Optimal tarkibli kislotabardosh materialning SEM tasvirlari asosida aniqlangan mikrostrukturaviy xususiyatlar

Skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) yordamida bazalt–kvarts qumi–bentonit–texnik glinozyom asosidagi BKBG-5 tarkibli namunalar mikrostrukturasi o‘rganildi. SEM tasvirlari natijalariga ko‘ra namunalar yuzasida zich va kompakt mikrostruktura shakllangani hamda ochiq g‘ovaklikning minimal darajada saqlanib qolganligi kuzatildi. Ushbu holat yuqori haroratda sinterlash jarayonining faol kechishi va komponentlar orasida kuchli strukturaviy bog‘lanishlar hosil bo‘lishi bilan izohlanadi.

SEM tasvirlarida zarrachalarning bir-biri bilan yaxshi birikkanligi, mikrobo‘shliqlarning kamaygani va strukturaning bir jinsli holatga kelgani aniqlandi. Ayniqsa, kvarts qumi, bentonit va texnik glinozyom qo‘shimchalari ta’sirida hosil bo‘lgan zich alumosilikat matritsa material tarkibida mustahkam silikat karkas shakllanishiga xizmat qilgan. Hosil bo‘lgan mullit va anortit fazalari mikrostrukturaviy zichlashuvni kuchaytirib, materialning termik va kimyoviy barqarorligini oshirgan.

SEM tahlillari natijalariga ko‘ra amorf-shishasimon fazaning zarrachalararo bo‘shliqlarni qisman to‘ldirgani kuzatildi. Ushbu holat agressiv kislotali eritmalarning material ichki qatlamlariga diffuziyasini cheklab, kimyoviy yemirilish jarayonlarini sekinlashtirgan. Shu sababli material tarkibida kislotali muhitga nisbatan yuqori bardoshlilik shakllangani aniqlandi.

Mikrostrukturaviy tahlillar natijasida BKBG-5 tarkibli namunada zich va muvozanatli kristall-amorf struktura hosil bo‘lgani qayd etildi. Strukturaning

ISSN 3030-3907

kompaktligi va g‘ovaklikning kamayishi materialning mexanik mustahkamligi hamda uzoq muddatli ekspluatatsion xossalariga ijobiy ta’sir ko‘rsatgan.

Umuman olganda, XRD, FTIR va SEM tahlillari natijalari bir-biri bilan mos ravishda bazalt–kvarts qumi–bentonit–texnik glinozyom asosidagi modifikatsiyalangan kompozitsion materiallarda barqaror alumosilikat fazalar shakllanganligini tasdiqladi. Hosil bo‘lgan mullit, anortit va plagioklaz fazalari hamda zich mikrostrukturaviy tuzilma materialning yuqori kislotabardoshligi, past g‘ovakligi va agressiv kimyoviy muhitlarga bardoshliligini ta’minlagani aniqlandi.

Tadqiqotlar tahlili shuni ko‘rsatdiki, optimal tarkibli namunalarda siqilishdagi mustahkamlik 42–54 MPa oralig‘ida shakllandi. Ochiq g‘ovaklik 6–10 % ni tashkil etdi. Demak, ishqorbardoshlik va kislotabardoshlikning oshishi material mikrostrukturasi zichlashuvi bilan bevosita bog‘liqdir.

Kimyoviy bardoshlilik sinovlarida H_2SO_4 va HCl eritmalarida massa yo‘qotilishi 0,46–1,84 % dan oshmadi. Bu esa materiallarning yuqori kimyoviy barqarorligini tasdiqlaydi. Muallif tahliliga ko‘ra, texnik glinozyom qo‘shimchasi mullit va anortit fazalarining shakllanishini jadallashtirib, materialning mexanik va kimyoviy barqarorligini oshiradi.

Shuningdek, kvarts qumi va bentonitning optimal nisbatda qo‘llanilishi strukturaviy zichlashuvni kuchaytirib, mikrostrukturadagi g‘ovaklikni kamaytiradi. Natijada ionlar diffuziyasi cheklanadi va yemirilish jarayonlari sekinlashadi.

XULOSA.

Tadqiqot natijalari asosida quyidagi xulosalarga kelindi:

“Osmonsoy-1” bazalti asosida agressiv kislotali muhitlarga bardoshli materiallar olish texnologiyasi ishlab chiqildi.

Optimal texnologik parametrlar sifatida 25 MPa presslash bosimi, 1150°C kuydirish harorati, 60 minut ushlash vaqti hamda 3°C/min sovitish tezligi tanlandi.

XRD, FTIR va SEM tahlillari natijasida material tarkibida mullit, anortit va plagioklaz fazalari shakllanishi aniqlandi.

Siqilishdagi mustahkamlik 42–54 MPa, ochiq g‘ovaklik 6–10 % oralig‘ida bo‘lishi hamda agressiv kislotali muhitlarda massa yo‘qotilishi 0,46–1,84 % dan oshmasligi qayd etildi.

Ishlab chiqilgan texnologiya mahalliy mineral xomashyolar ва sanoat chiqindilaridan samarali foydalanish imkonini beradi.

Taklif etilgan materiallar kimyo, metallurgiya, energetika va konchilik sanoati uchun istiqbolli kislotabardosh himoya materiallari hisoblanadi.

ISSN 3030-3907

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Davidovits J. *Geopolymer Chemistry and Applications*. – Paris: Institut Géopolymère, 2015.
2. Singh M., Rogers D. Acid resistant aluminosilicate ceramic composites // *Ceramics International*. – 2021. – Vol. 47. – P. 658–670.
3. Provis J.L., van Deventer J.S.J. *Alkali Activated Materials*. – Springer, 2014.
4. Wang S., Scrivener K. Hydration products of alkali activated slag cement // *Cement and Concrete Research*. – 1995. – Vol. 25. – P. 561–571.
5. Bernal S.A., Provis J.L. Durability of alkali-activated materials // *Journal of the American Ceramic Society*. – 2014. – Vol. 97. – P. 997–1008.
6. Камолов, Б. С. (2025). Анализ физико-химических свойств базальтов месторождения «osmonsoy-1». *Universum: технические науки*, *7*(11 (140)), 65-69.

ISSN 3030-3907

QUYOSH PANELLARIDAN ELEKTR ENERGIYA OLISH VA UNI KUNDALIK HAYOTGA TARG‘IB QILISH

Paxirdinov Xabibillo Zuhridinovich
Qurilish muxandisligi va arxitektura kafedrasi assistenti
Qurbonov Mahammadqodir Erkinovich
Andijon davlat texnika instituti 2-kurs bino inshootlar qurilishi yo‘nalishi K-60-24 guruh talabasi

Annotatsiya. Ushbu maqolada quyosh panellari yordamida elektr energiya olish texnologiyasi hamda uning kundalik hayotdagi ahamiyati yoritilgan. Quyosh energiyasining ekologik tozaligi, iqtisodiy samaradorligi va cheksiz manba ekanligi asoslab berilgan. Shuningdek, quyosh panellaridan foydalanishning afzalliklari va kamchiliklari tahlil qilingan. Maqolada quyosh energiyasini keng ommaga targ‘ib qilish zarurati, uni joriy etish usullari va aholi orasida energiya tejash madaniyatini shakllantirish masalalari ham ko‘rib chiqilgan. O‘zbekiston sharoitida quyosh energiyasidan foydalanish imkoniyatlari alohida ta’kidlangan. Mazkur maqola qayta tiklanuvchi energiya manbalariga qiziqish bildirayotgan talabalar, o‘qituvchilar va keng jamoatchilik uchun foydali bo‘lishi mumkin.

Kalit so‘zlar: Quyosh panellari, quyosh energiyasi, elektr energiya, fotoelektrik effekt, qayta tiklanuvchi energiya, ekologiya, energiya tejash, muqobil energiya, texnologiya, targ‘ibot.

Abstract. This article discusses the technology of generating electrical energy using solar panels and its importance in everyday life. The ecological cleanliness, economic efficiency, and inexhaustible nature of solar energy are highlighted and justified. In addition, the advantages and disadvantages of using solar panels are analyzed. The article also examines the necessity of promoting solar energy among the population, the methods of its implementation, and the development of an energy- saving culture among people. The opportunities for using solar energy in the conditions of Uzbekistan are particularly emphasized. This article may be useful for students, teachers, and the general public who are interested in renewable energy sources.

Keywords: Solar panels, solar energy, electrical energy, photovoltaic effect, renewable energy, ecology, energy saving, alternative energy, technology, promotion.

Аннотация. В данной статье рассматриваются технологии получения электрической энергии с помощью солнечных панелей и их значение в повседневной жизни. Освещаются экологическая чистота, экономическая эффективность и неисчерпаемость солнечной энергии. Также проводится анализ преимуществ и недостатков использования солнечных панелей. В статье рассматривается необходимость популяризации солнечной энергии

ISSN 3030-3907

среди населения, методы её внедрения, а также формирование культуры энергосбережения. Особое внимание уделяется возможностям использования солнечной энергии в условиях Узбекистана. Данная статья может быть полезна студентам, преподавателям и широкой общественности, интересующимся возобновляемыми источниками энергии.

Ключевые слова: Солнечные панели, солнечная энергия, электрическая энергия, фотоэлектрический эффект, возобновляемая энергия, экология, энергосбережение, альтернативная энергия, технологии, популяризация.

KIRISH.

Hozirgi davrda dunyo miqyosida energiya resurslariga bo‘lgan ehtiyoj tobora ortib bormoqda. Aholi sonining ko‘payishi, sanoatning jadal rivojlanishi va zamonaviy texnologiyalarning keng qo‘llanilishi elektr energiyasiga bo‘lgan talabni sezilarli darajada oshirmoqda. Biroq an’anaviy energiya manbalari – neft, tabiiy gaz va ko‘mir zaxiralari cheklangan bo‘lib, ulardan haddan tashqari foydalanish ekologik muammolarni keltirib chiqarmoqda. Atmosferaga chiqarilayotgan zararli gazlar global isish, iqlim o‘zgarishi va atrof-muhit ifloslanishining asosiy sabablaridan biri hisoblanadi. Shu sababli ekologik xavfsiz, iqtisodiy samarali va qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish bugungi kunning dolzarb masalalaridan biriga aylangan.

Qayta tiklanuvchi energiya manbalari orasida quyosh energiyasi alohida ahamiyat kasb etadi. Quyosh insoniyat uchun eng katta tabiiy energiya manbai bo‘lib, u cheksiz va ekologik toza hisoblanadi. Quyosh energiyasidan foydalanish orqali elektr energiyasi ishlab chiqarish atrof-muhitga zarar yetkazmaydi hamda tabiiy resurslarni tejash imkonini beradi. Ayniqsa, so‘nggi yillarda quyosh panellari texnologiyasining rivojlanishi natijasida ushbu energiya manbaidan foydalanish imkoniyatlari yanada kengaydi.

Quyosh panellari fotoelektrik effekt asosida ishlovchi qurilmalar bo‘lib, ular quyosh nurini bevosita elektr energiyasiga aylantiradi. Ushbu texnologiya ilk bor ilmiy tajribalar doirasida qo‘llanilgan bo‘lsa-da, bugungi kunda uy xo‘jaliklari, sanoat korxonalari, qishloq xo‘jaligi va yirik energetika tizimlarida keng foydalanilmoqda. Quyosh panellarining asosiy afzalliklari sifatida ekologik tozaligi, uzoq xizmat muddati, energiya tejamkorligi va iqtisodiy samaradorligini ko‘rsatish mumkin. Shu bilan birga, ular elektr tarmoqlaridan uzoqda joylashgan hududlarni energiya bilan ta’minlashda ham muhim ahamiyatga ega.

O‘zbekiston geografik joylashuvi va iqlim sharoiti jihatidan quyosh energiyasidan samarali foydalanish imkoniyatiga ega davlatlardan biri hisoblanadi. Respublikamiz hududida yil davomida quyoshli kunlar soni 2800–3000 soatni tashkil etadi. Bu esa quyosh panellaridan keng foydalanish uchun katta salohiyat yaratadi. Ayniqsa, chekka hududlarda elektr energiyasi bilan

ISSN 3030-3907

bog‘liq muammolarni hal etishda quyosh energetikasi muhim vosita bo‘lib xizmat qilishi mumkin. Shu sababli mamlakatimizda qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish, xususan quyosh panellarini joriy etish bo‘yicha keng ko‘lamli islohotlar amalga oshirilmoqda.

Bugungi kunda aholining energiya iste’moli madaniyatini shakllantirish va energiya tejovchi texnologiyalarni kundalik hayotga tatbiq etish muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Quyosh panellaridan foydalanishni targ‘ib qilish orqali aholining ekologik savodxonligini oshirish, elektr energiyasidan oqilona foydalanish va yashil iqtisodiyot tamoyillarini rivojlantirish mumkin. Shuningdek, quyosh energiyasidan foydalanish nafaqat iqtisodiy foyda keltiradi, balki kelajak avlodlar uchun sog‘lom ekologik muhitni saqlashga ham xizmat qiladi.

Mazkur maqolada quyosh panellari yordamida elektr energiyasi olish texnologiyasi, ularning ishlash prinsipi, afzallik va kamchiliklari, quyosh panellarining turlari hamda O‘zbekiston sharoitida ushbu texnologiyani keng joriy etish istiqbollari batafsil yoritiladi. Bundan tashqari, quyosh energiyasini kundalik hayotga targ‘ib qilishning samarali usullari va energiya tejash madaniyatini shakllantirish masalalari ham ilmiy jihatdan tahlil qilinadi.

ADABIYOTLAR TAHLILI.

Quyosh energiyasidan foydalanish va fotovoltaik tizimlar bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar so‘nggi yillarda jahon miqyosida keng rivojlanmoqda. Ushbu yo‘nalishda olib borilgan tadqiqotlar asosan quyosh panellarining ishlash prinsipi, samaradorligi, iqtisodiy foydasi hamda ekologik ahamiyatini o‘rganishga qaratilgan.

Rakhmatullina G. o‘zining “Sovremennye tekhnologii solnechnoy energetiki” asarida quyosh energetikasining zamonaviy rivojlanish bosqichlarini tahlil qilib, quyosh panellarining ekologik xavfsizligi va energiya tejamkorlikdagi o‘rnini alohida ta’kidlaydi. Muallifning fikricha, quyosh energiyasi XXI asrning eng istiqbolli energiya manbalaridan biri hisoblanadi va u an’anaviy yoqilg‘i resurslariga bo‘lgan qaramlikni kamaytiradi [1].

Ivanov A. “Fotovoltaika: teoriya i praktika” nomli ilmiy asarida fotoelektrik effektning fizik asoslarini batafsil yoritib bergan. Olimning ta’kidlashicha, quyosh panellarining ishlashi yarimo‘tkazgich materiallarning yorug‘lik energiyasini elektr energiyasiga aylantirish xususiyatiga asoslanadi. Shuningdek, muallif monokristalli va polikristalli panellar samaradorligini taqqoslab, monokristalli panellarning foydali ish koeffitsienti yuqoriroq ekanligini ko‘rsatgan [2].

Fraas L. “Introduction to Solar Cells” asarida quyosh elementlarining tuzilishi va ularning texnologik rivojlanish bosqichlarini ilmiy jihatdan tahlil

ISSN 3030-3907

qilgan. Muallif quyosh panellarining uzoq muddatli ishlashi va kam texnik xizmat talab qilishi ularning asosiy ustunliklaridan biri ekanligini qayd etadi [3].

Chow T. o‘zining “Fundamentals of Solar Energy Conversion” kitobida quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirish jarayonining nazariy asoslarini bayon etgan. Uning fikricha, quyosh energiyasidan samarali foydalanish uchun panellarni geografik joylashuv va quyosh radiatsiyasi ko‘rsatkichlariga mos ravishda o‘rnatish muhim ahamiyatga ega [4].

Kaldellis J. va Kapsali M. tomonidan yozilgan “Techno-economic analysis of solar PV systems” maqolasida quyosh panellarining iqtisodiy samaradorligi o‘rganilgan. Tadqiqotchilar quyosh panellari dastlab katta xarajat talab qilsa-da, uzoq muddat davomida elektr energiyasi xarajatlarini sezilarli darajada kamaytirishini asoslab bergan [5].

International Renewable Energy Agency (IRENA) tomonidan chop etilgan “Solar Energy Roadmap” hisobotida qayta tiklanuvchi energiya manbalarining global energetika tizimidagi roli yoritilgan. Hisobotda quyosh energetikasining rivojlanishi iqlim o‘zgarishiga qarshi kurashishda muhim vosita sifatida baholangan [6].

International Energy Agency (IEA) tashkilotining “Renewable Energy Market Update 2023” hisobotida so‘nggi yillarda quyosh energetikasi bozori jadal rivojlanayotgani, ayniqsa Osiyo mamlakatlarida quyosh panellariga bo‘lgan talab keskin ortgani ta’kidlangan [7].

Kasymov R. “Quyosh energiyasi va istiqbollari” maqolasida O‘zbekiston sharoitida quyosh energiyasidan foydalanish imkoniyatlarini tahlil qilgan. Muallifning fikricha, respublikamizda yil davomida quyoshli kunlarning ko‘pligi quyosh panellaridan samarali foydalanish uchun qulay sharoit yaratadi [8].

Shuningdek, O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi tomonidan e’lon qilingan ma’lumotlarda qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biri ekanligi qayd etilgan. Vazirlik ma’lumotlariga ko‘ra, mamlakatda “yashil energetika” tizimini rivojlantirish orqali energiya xavfsizligini mustahkamlash va ekologik muammolarni kamaytirish maqsad qilingan [9].

METODOLOGIYA.

Mazkur tadqiqotda quyosh panellari yordamida elektr energiyasi olish texnologiyasining nazariy va amaliy jihatlarini o‘rganish uchun ilmiy tahlil, taqqoslash va umumlashtirish usullaridan foydalanildi. Tadqiqot jarayonida mahalliy va xorijiy olimlarning ilmiy ishlari, energetika sohasiga oid maqolalar, statistik ma’lumotlar hamda xalqaro tashkilotlar hisobotlari tahlil qilindi. Quyosh panellarining ishlash prinsipi, samaradorligi, afzallik va kamchiliklari texnik hamda iqtisodiy jihatdan o‘rganildi. Shuningdek, O‘zbekiston sharoitida quyosh

ISSN 3030-3907

energiyasidan foydalanish imkoniyatlari hududiy-iqlimiy ko‘rsatkichlar asosida baholandi. Tadqiqot natijalari asosida quyosh energiyasini kundalik hayotga keng joriy etish va targ‘ib qilish bo‘yicha ilmiy xulosalar ishlab chiqildi.

TAHLIL VA NATIJALAR.

Bugungi kunda dunyo energetika tizimida qayta tiklanuvchi energiya manbalarining ulushi yildan-yilga ortib bormoqda. Ayniqsa, quyosh energetikasi eng tez rivojlanayotgan yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Bunga asosiy sabab sifatida an’anaviy energiya resurslarining kamayib borayotgani, ekologik muammolarning kuchayishi va energiyaga bo‘lgan talabning ortishini ko‘rsatish mumkin. Quyosh panellari orqali elektr energiyasi ishlab chiqarish ekologik xavfsizligi, iqtisodiy samaradorligi hamda uzoq muddatli foydaliligi bilan ajralib turadi [1].

Ilmiy tahlillar shuni ko‘rsatadiki, quyosh panellarining samaradorligi asosan quyosh radiatsiyasi darajasi, panel turi, geografik joylashuv va texnik xizmat ko‘rsatish holatiga bog‘liq bo‘ladi. Monokristalli panellar o‘rtacha 20–24% samaradorlikka ega bo‘lib, yuqori energiya ishlab chiqarish imkonini beradi. Polikristalli panellarda bu ko‘rsatkich 15–18% atrofida bo‘lsa, thin-film panellarda 10–12% ni tashkil qiladi [2]. Ushbu farq asosan yarimo‘tkazgich materiallarining kristall tuzilishi va yorug‘likni yutish darajasi bilan izohlanadi.

Quyosh panellarining ishlash samaradorligini aniqlashda quyidagi formula keng qo‘llaniladi:

$$E = A \cdot r \cdot H \cdot PR$$

Bu yerda:

E — ishlab chiqarilgan elektr energiyasi;

A — panel yuzasi;

r — foydali ish koeffitsienti;

H — quyosh radiatsiyasi miqdori;

PR — tizim yo‘qotishlari koeffitsienti hisoblanadi.

Mazkur formula asosida olib borilgan hisob-kitoblarga ko‘ra, O‘zbekiston hududida, xususan Andijon viloyatida 1 kVt quvvatga ega quyosh paneli yiliga o‘rtacha 1600–1800 kVt·soat elektr energiyasi ishlab chiqarishi mumkin. Bu esa hududning quyosh energiyasidan foydalanish uchun juda qulay ekanligini ko‘rsatadi [3].

Quyida turli turdagi quyosh panellarining texnik ko‘rsatkichlari taqqoslangan.

ISSN 3030-3907

1-jadval

Quyosh panellari turlarining samaradorlik ko‘rsatkichlari

Panel turi	Samaradorlik (%)	Xizmat muddati	Narx darajasi	Afzalligi
Monokristalli	20–24 %	25 yil	Yuqori	Yuqori samaradorlik
Polikristalli	15–18 %	20–25 yil	O‘rta	Arzon va ommabop
Thin-film	10–12 %	15–20 yil	Past	Moslashuvchan va yengil

Jadval ma’lumotlaridan ko‘rinib turibdiki, monokristalli panellar eng yuqori samaradorlikka ega bo‘lsa-da, ularning narxi boshqa turlarga nisbatan qimmatroq hisoblanadi. Shu sababli iqtisodiy imkoniyat va energiya ehtiyojiga qarab panel turini tanlash maqsadga muvofiq bo‘ladi.

Tahlillar natijasida quyosh panellarining iqtisodiy samaradorligi ham yuqori ekanligi aniqlandi. Xususan, 5 kVt quvvatga ega quyosh tizimi o‘rtacha yiliga 8000 kVt·soat elektr energiyasi ishlab chiqaradi. Agar bir oila o‘rtacha oyiga 500–600 kVt·soat elektr energiyasi iste’mol qilsa, ushbu tizim uyning asosiy energiya ehtiyojini to‘liq qoplay oladi. Bundan tashqari, ortiqcha ishlab chiqarilgan energiyani umumiy elektr tarmog‘iga uzatish orqali qo‘shimcha daromad olish imkoniyati mavjud [4].

Quyosh energetikasining iqtisodiy foydasini yanada aniqroq ko‘rsatish maqsadida quyidagi hisob-kitoblar amalga oshirildi.

2-jadval

5 kVt quyosh tizimining iqtisodiy samaradorligi

Ko‘rsatkich	Miqdor
Tizimning o‘rtacha narxi	40–50 mln so‘m
Yillik energiya ishlab chiqarish	8000 kVt·soat
Oylik o‘rtacha energiya ishlab chiqarish	650–700 kVt·soat
Yillik mablag‘ tejalishi	7–10 mln so‘m
O‘zini qoplash muddati	5–7 yil
Xizmat muddati	25 yil

Ushbu natijalar quyosh panellarining uzoq muddatli iqtisodiy samaradorligini tasdiqlaydi. Dastlabki investitsiya yuqori bo‘lishiga qaramasdan, tizim o‘zini qisqa muddat ichida qoplaydi va keyingi yillarda foydalanuvchiga deyarli bepul elektr energiyasi taqdim etadi.

Bundan tashqari, quyosh panellarining ekologik samaradorligi ham muhim ilmiy natijalardan biri hisoblanadi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, 1 kVt quvvatga

ISSN 3030-3907

ega quyosh tizimi yiliga o‘rtacha 1,5 tonnagacha karbonat angidrid (CO_2) chiqindilarining oldini oladi [5]. Bu esa atmosfera ifloslanishini kamaytirish va global iqlim o‘zgarishiga qarshi kurashishda muhim omil hisoblanadi.

Quyosh energetikasining rivojlanishi nafaqat ekologik va iqtisodiy foyda beradi, balki energiya xavfsizligini ta’minlashda ham muhim ahamiyat kasb etadi. Elektr uzilishlari kuzatiladigan hududlarda quyosh panellari mustaqil energiya manbai sifatida xizmat qilishi mumkin. Ayniqsa, chekka qishloq hududlarida ushbu texnologiyaning joriy qilinishi aholi turmush sifatini yaxshilashga xizmat qiladi [6].

Ilmiy tahlillar davomida quyosh panellarining ayrim kamchiliklari ham aniqlangan. Jumladan, ob-havo sharoitiga bog‘liqlik, energiyani saqlash tizimlarining qimmatligi hamda dastlabki investitsiya xarajatlarining yuqoriligi ushbu texnologiyaning asosiy muammolari sifatida qayd etildi. Biroq zamonaviy texnologiyalar rivojlanishi natijasida batareyalar narxining pasayishi, panel samaradorligining ortishi va davlat subsidiyalarining joriy qilinishi ushbu muammolarni bosqichma-bosqich kamaytirib bormoqda [7].

Umuman olganda, olib borilgan tahlillar quyosh panellaridan foydalanish O‘zbekiston sharoitida iqtisodiy, ekologik va texnologik jihatdan samarali ekanligini ko‘rsatdi. Ayniqsa, mamlakatning yuqori quyosh radiatsiyasi ko‘rsatkichlari qayta tiklanuvchi energiya tizimlarini keng joriy qilish uchun katta imkoniyat yaratadi. Shu sababli quyosh energetikasini rivojlantirish, aholiga targ‘ib qilish va ushbu texnologiyalarni kundalik hayotga keng tatbiq etish mamlakat energetika tizimining barqaror rivojlanishida muhim omil bo‘lib xizmat qiladi.

XULOSA.

Xulosa qilib aytganda, quyosh panellari yordamida elektr energiyasi ishlab chiqarish bugungi kunda eng istiqbolli va samarali qayta tiklanuvchi energiya texnologiyalaridan biri hisoblanadi. Ushbu texnologiya ekologik tozaligi, iqtisodiy samaradorligi va uzoq muddatli foydaliligi bilan an’anaviy energiya manbalaridan ustun turadi. Quyosh energiyasidan foydalanish orqali atmosfera ifloslanishini kamaytirish, issiqxona gazlari chiqindilarini qisqartirish hamda global iqlim o‘zgarishining salbiy oqibatlarini yumshatishga erishish mumkin.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, quyosh panellari O‘zbekiston sharoitida, ayniqsa quyoshli kunlar soni yuqori bo‘lgan hududlarda juda katta imkoniyatlarga ega. Respublika hududida quyosh radiatsiyasi darajasining yuqoriligi yil davomida barqaror elektr energiyasi ishlab chiqarish imkonini beradi. Ayniqsa, elektr tarmoqlaridan uzoqda joylashgan hududlarda quyosh panellari aholini mustaqil energiya bilan ta’minlashda muhim vosita bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

ISSN 3030-3907

Maqola davomida quyosh panellarining ishlash prinsipi, turlari, texnik xususiyatlari, iqtisodiy va ekologik afzalliklari ilmiy jihatdan tahlil qilindi. Shuningdek, ushbu texnologiyaning ayrim kamchiliklari, jumladan dastlabki xarajatlarning yuqoriligi, ob-havo sharoitiga bog‘liqligi va energiyani saqlash tizimlari bilan bog‘liq muammolar ham yoritildi. Biroq zamonaviy texnologiyalar rivojlanishi natijasida bu kamchiliklar bosqichma-bosqich kamayib borayotgani aniqlandi.

Shuningdek, quyosh energetikasini kundalik hayotga keng joriy etish aholining energiya tejash madaniyatini shakllantirishga ham xizmat qiladi. Energiya resurslaridan oqilona foydalanish, elektr sarfini kamaytirish va ekologik ongni rivojlantirish jamiyatning barqaror rivojlanishida muhim ahamiyatga ega. Shu sababli quyosh panellaridan foydalanishni targ‘ib qilish, aholiga ushbu texnologiyaning afzalliklarini tushuntirish hamda davlat tomonidan qo‘llab-quvvatlash mexanizmlarini kengaytirish muhim vazifa hisoblanadi.

Kelajakda quyosh panellari texnologiyasining yanada takomillashuvi, foydali ish koeffitsientining oshishi va ishlab chiqarish xarajatlarining kamayishi ushbu tizimlarning yanada ommalashishiga olib keladi. Natijada quyosh energetikasi nafaqat energiya xavfsizligini ta’minlashda, balki yashil iqtisodiyotni rivojlantirish, ekologik muammolarni kamaytirish va aholi turmush sifatini yaxshilashda ham muhim rol o‘ynaydi. Shu bois quyosh energiyasidan samarali foydalanish bugungi kunning dolzarb vazifalaridan biri bo‘lib qoladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Rakhmatullina G. Sovremennye tekhnologii solnechnoy energetiki. – Moskva: Energiya nashriyoti, 2020. – 215 b.
2. Ivanov A. Fotovoltaika: teoriya i praktika. – Moskva: Energoizdat, 2019. – 328 b.
3. Solar Energy International. Photovoltaic Systems Engineering. 4th ed. – Colorado: SEI Publishing, 2021. – 412 p.
4. Fraas L. Introduction to Solar Cells. – Cham: Springer International Publishing, 2018. – 287 p.
5. REN21. Renewables 2022 Global Status Report. – Paris: REN21 Secretariat, 2022. – 364 p.
6. International Renewable Energy Agency (IRENA). Solar Energy Roadmap. – Abu Dhabi: IRENA Publications, 2021. – 156 p.
7. O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi. Fotovoltaika va yangi energiya manbalari. – Toshkent: Energetika vazirligi nashriyoti, 2022. – 96 b.
8. Chow T. Fundamentals of Solar Energy Conversion. – New York: Wiley, 2017. – 340 p.
9. Kaldellis J., Kapsali M. “Techno-economic analysis of solar PV systems”. –

ISSN 3030-3907

Renewable Energy Journal. – London: Elsevier, 2019. – Vol. 134. – P. 1239–1248.
10. International Energy Agency (IEA). Renewable Energy Market Update 2023. – Paris: IEA Publications, 2023. – 198 p.
11. World Bank. Off-grid Solar Market Assessment. – Washington DC: World Bank Publications, 2022. – 174 p.
12. SolarPower Europe. Global Market Outlook for Solar Power 2023–2027. – Brussels: SolarPower Europe, 2023. – 242 p.
13. National Renewable Energy Laboratory (NREL). PV System Performance Data Report. – Colorado: U.S. Department of Energy, 2023. – 118 p.
14. Kasymov R. “Quyosh energiyasi va istiqbollari”. – Energetika jurnali. – Toshkent, 2020. – №4. – 45–52-betlar.
15. U.S. Department of Energy. Solar Energy Technologies Office. – Washington DC: DOE Publications, 2023. – 132 p.

ISSN 3030-3907

KONUSSIMON MAYDALAGICHINING ISHLASH SAMARADORLIGINI OSHIRISH UCHUN UNING ICHKI (HARAKATLANUVCHI) BRONYASINI YIG‘MA QISMLARDAN TAYYORLASHNING ILMIY ASOSLARI.

Qosimov Karimjon Zuhriddinovich
Andijon davlat texnika instituti t.f.d. professor
Zuhritdinov Alisher Faraxidin o‘g‘li
Andijon davlat texnika instituti t.f.f.d., (PhD)
E-mail: zuhritdinovalisher@gmail.com
Qosimova Maloxat Karimjonovna
Andijon davlat texnika instituti t.f.f.d., (PhD)
E-mail: zuhritdinovalisher@gmail.com
Zo‘xriddinov Dilmurod Karimjon o‘g‘li
Andijon davlat texnika instituti
E-mail: zuhritdinovalisher@gmail.com
Mahammadjonov Nurmahammad Abduvahob o‘g‘li
Andijon davlat texnika instituti
E-mail: zuhritdinovalisher@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada konusli tosh maydalagichlarning konstruktiv xususiyatlari, ularning texnologik afzalliklari, ishlash prinsipi hamda turli sohalarda qo‘llanish imkoniyatlari yoritib berilgan. Maydalash jarayonining fizik-mexanik asoslari, tog‘ jinslarining mustahkamligi va mo‘rtligi kabi bir qator omillar konusli maydalagichlar samaradorligiga qanday ta’sir ko‘rsatishi haqida ilmiy tahlil berilgan. Bundan tashqari, qurilish materiallari sifatida ishlatiladigan tog‘ jinslarini qayta ishlashda drobilkalar tutgan o‘rni alohida ko‘rib chiqiladi.

Kalit so‘zlar: Maydalash jarayoni, konusli drobilka, tog‘ jinslari, fizik-mexanik xususiyatlar, mustahkamlik, mo‘rtlik, qurilish materiallari.

Аннотация. В данной статье освещены конструктивные особенности конических дробилок, их технологические преимущества, принцип работы, а также возможности применения в различных отраслях. Представлен научный анализ влияния физико-механических свойств горных пород, таких как прочность и хрупкость, на эффективность работы конических дробилок. Кроме того, отдельно рассматривается роль дробилок в переработке горных пород, используемых в качестве строительных материалов.

Ключевые слова: процесс дробления, коническая дробилка, горные породы, физико-механические свойства, прочность, хрупкость, строительные материалы.

Abstract. This article highlights the structural features of cone crushers, their technological advantages, operating principles, and application possibilities across various industries. A scientific analysis is provided on how physical and mechanical properties of rocks—such as strength and brittleness—affect the performance of cone crushers. Additionally, the role of crushers in processing rocks used as construction materials is examined in detail.

Keywords: crushing process, cone crusher, rock materials, physical and mechanical properties, strength, brittleness, construction materials.

KIRISH.

Mahalliy hamda xorijiy sanoat amaliyotida tog‘ jinslari va boshqa qattiq materiallarni maydalash jarayonida konusli maydalagichlar (drobilkalar) keng qo‘llaniladi. Ushbu maydalagichlar yordamida rudalar, granit, bazalt, ohaktosh kabi turli materiallar qayta ishlanadi. Konusli drobilkalar yuqori samaradorlikka ega hisoblanib, ular maydalashning deyarli barcha bosqichlarida qo‘llanishi mumkin.

Konussimon maydalagichning ichki (harakatlanuvchi) bronyasini yig‘ma qismdan tayyorlash ekspluatatsiya nuqtai nazaridan amalga oshrish mimkin bo‘lgan yechim hisoblanadi [1].

Odatda, konussimon bronyalar yaxlit (monolit) quyma holida bo‘ladi. Uni bo‘laklarga bo‘lishning ijobiy tomonlari quyidagilardan iborat:

1. Maydalash kamerasini doimiy ravishda bir tekis yuklanishini ta’minlab bo‘lmaydi. Natijada konuslar butun ishchi yuzasi bo‘ylab har doim bir tekis yeyilmaydi. Agar faqat ma’lim bir qismi (ko‘p yuklangan joyi) yeyilsa, butun bronyani emas, faqat yeyilgan bo‘laklarni almashtirish mumkin.

2. 16 ta kichik bo‘lakni tashish va kran ishlatmasdan, qo‘lda o‘rnatish osonroq. Bu ta'mirlash vaqtini qisqartirishi mumkin [2].

3. Yaxlit quyma konuslarda ba'zan ichki kuchlanish tufayli yoriqlar paydo bo‘ladi. Bo‘lakli konstruksiya termik kengayish va mexanik zarbalarga chidamlirroq bo‘lishi mumkin.

Ichki konusni bo‘laklarga bo‘lishning salbiy tomonlari ham mavjud bo‘lib ular quyidagilardan iborat:

Ma’lumki, konus bronyasi va konus tanasi orasiga rux (sink) yoki polimer quyiladi. 16 ta bo‘lak o‘rtasidagi choklardan bu suyuqlik oqib ketishi yoki bo‘laklar orasiga tosh kirib qolishi mumkin [3-5].

Agar bo‘laklar orasida kichik bo‘shliq (zazor) qolsa, ish paytida bo‘laklar "o‘ynashni" boshlaydi. Bu konusning o‘ziga (tanasiga) zarar yetkazadi. Konus tanasini ta'mirlash esa bronyadan po‘p marta qimmatga tushadi.

ISSN 3030-3907

Tog‘ jinsini maydalashda bosim juda yuqori bo‘ladi. Shu bilan birga, bo‘laklar orasidagi choklar "zaif nuqta" hisoblanadi. Bularning natijasida bo‘laklar orasida yeyilish tezlashib ketadi.

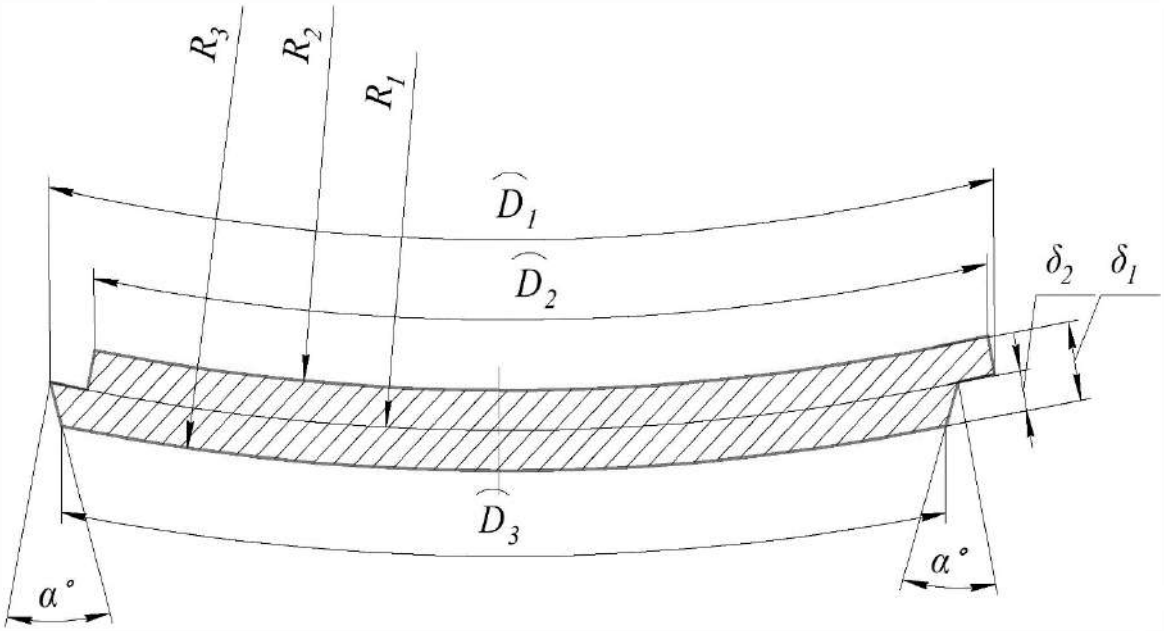
Bulardan salbiy oqibatlarni oldini olish uchun bo‘laklarga qo‘shimcha konstruktiv o‘zgartirishlar kiritish kerakligi kelib chiqadi.

Keltirilgan salbiy oqibatlarni bartaraf etish uchun olib borilgan laboratoriya tadqiqotlari natijasida 16 ta bo‘laklarni bir-biriga birikish qirralarini Z-simon shaklda tayyorlash usuli ishlab chiqildi. Bo‘laklarning birikish qirralarini Z-simon shaklda tayyorlashning ushbu yangi usuli nafaqat bo‘laklarning zichligi va mustahkamligini ta’minlaydi, balki ularning ish jarayonida o‘rnidan siljib ketishining oldini oladi.

Ishlab chiqilgan Z-simon model an'anaviy yaxlit bronyadan farqli o‘laroq, geometrik o‘z-o‘zini bloklash xususiyatiga ega. Bu esa dinamik zarbalar ostida payvand chokining uzilish ehtimolini 1/3 martaga kamaytiradi va segmentlarning o‘zaro nisbiy siljishini bartaraf etadi."

Z-simon shakl parametrlarini asoslash.

Yig‘ma konus bo‘laklari qirralarini Z-simon shaklda ulashda shaklning asosiy parametrlari quyidagi rasmda keltirilgan.



2.1-rasm. Maydalagich konusi yig‘ma bo‘lagi qirralarining asosiy parametrlari.

Yig‘ma konus bo‘laklari qirralarini Z-simon shaklda ulashda shaklning asosiy parametrlari bo‘lib konus bronini devorining o‘rtacha (R_1), ichki (R_2) va tashqi (R_3) radiuslari, bo‘lak kengligining o‘rtacha (D_1), ichki (D_2) va tashqi (D_3) yoylarining uzunliklari, payvandlash uchun faskaning qiyalik burchagi (2α) hisoblanadi, bronya devorining umumiy ($\delta_1=R_3-R_2$) va tashqi ($\delta_2=R_3-R_1$) qismiming qalinliklari.

ISSN 3030-3907

Bunda radiuslar va yoylarning uzunliklari standart monolit konus bronyasini 16 bo‘lakka bo‘lish va qirrasini Z-simon shaklga keltirish natijasida hosil qilinadi. Ammo, faskaning qiyalik burchagi, yani bo‘laklarning bir-biriga ulanish burchagi (2α) nafaqat segmentlarning jipsligini, balki payvand chokining uzoq muddat xizmat qilishini ham belgilaydi.

Avval olib borilgan ilmiy tadqiqotlar va amaliy sinovlar shuni ko‘rsatdiki, o‘rtacha qattiqlikdagi tog‘ jinslarini maydalashda eng maqbul burchak bo‘lib 2α = 45º dan 60º gacha bo‘lishi kerak ekan.

Ushbu burchak 45º bo‘lganda konusga ta’sir etadigan normal va tangensial kuchlar teng taqsimlanadi, segmentlarning bir-biriga "minishi" optimal bo‘lib, o‘rnatish jarayonida xatoliklar kam bo‘ladi, V-simon faska ochish va elektrod materiali minimal sarflanadi.

Agar burchak 60º bo‘lsa payvand chokning o‘lchamlari kattaroq va mustahkamligi hamda bo‘laklarning aylanishga qarshiligi yuqoriroq bo‘ladi. Yani bir bo‘lakni ikkinchisiga siljituvchi ta’sir kuchi burchakni ortishi bilan kamayib boradi.

Ushbu burchak qiymatining mustrahkamlikka ta’siri quyidagicha aniqlanadi.

$$F = P \cdot sin2\alpha - F_{ishq}$$

bunda: P - payvand chokka tushayotgan yuklama (kuch); 2α - payvand chok uchun ochilgan faskaning burchagi; F_{ishq} – bo‘laklar orasidagi ishqalanish kuchi.

Agar ushbu formulaga kerakli qiymatlarni qo‘yib hisoblasak, burchakni 45 dan 60 gradusgacha ortib borishidan bir bo‘lakni ikkinchisiga siljituvchi ta’sir kuchi 30% gacha kamayishini ko‘rishimiz mumkin.

Maydalagich konusining aylanish yo‘nalishini hisobga olgan holda oldingi bo‘lakka ta’sir etadigan kuch o‘zidan keyin keladigan bo‘lakning qirrasiga ta’sir etishini hisobga olib avval keladigan bo‘lakning Z-simon qirrasi keying bo‘lakning Z-simon qirrasining ustidan bosib turishi va shu sababli bronya devorining payvandlash uchun qoldiriladigan tashqi qalinligini (δ_2) bronya devorining umumiy qalinligini (δ_1) taxminan 1/3 qismini tashkil etishi kerak degan xulosaga kilindi.

Konusning aylanish yo‘nalishini hisobga olgan holda, segmentlarning Z-simon qirralari “**ineritsion blokirovka”** prinsipi asosida joylashtiriladi. Bunda har bir segmentning tashqi chiqiq qismi aylanish yo‘nalishi bo‘yicha keyingi segmentning ichki chiqiq qismining ustiga joylashadi. Ushbu geometrik yechim maydalash jarayonida hosil bo‘ladigan urinma kuchlarni (tangensial kuchlanishlar) segmentlar bo‘ylab teng taqsimlashga va payvand choklarining

ISSN 3030-3907

charchash darajasini pasaytirishga xizmat qiladi. "Segmentlar zanjir kabi bir-biriga ulanadi. Aylanish yo‘nalishi bo‘yicha har bir keyingi bo‘lak oldingisining "ostiga" kirib boradi. Bu holatda toshning qarshiligi segmentlarni ochib yuborishga emas, balki ularni bir-biriga jipslashga xizmat qiladi.

Ichki konusli bronya uchun 16 ta bo‘lakdan iborat segmentlarini ularning bir-biri bilan birikuvchi yon qirralarini Z-simon shaklini quyish jarayonoda hosil qilish, mexanik ishlov berish (frezerlash) xarajatlarini tejaydi va metalning quyma strukturasini saqlaydi. Bunga erishish uchun quyidagi **texnologik talablarga** amal qilinadi:

- Marganetsli po‘lat quyilgandan keyin sezilarli darajada qisqaradi (taxminan 2.5-3%). Z-shaklidagi qirralarni bir-biriga mos kelishi uchun modellar ushbu qisqarishni hisobga olgan holda biroz kattaroq yasaladi.
- Z-shaklidagi qirralar qolipdan oson chiqishi uchun 1-2 daraja qiyalik burchagi beriladi.
- Quyma yuzasidagi qum qoldiqlarini juda yaxshi tozalash kerak. Agar Z-ulanish yuzasi toza bo‘lmasa, 16 ta bo‘lakni bir doiraga yig‘ishda xatolik yuzaga keladi va oxirgi bo‘lak joyiga tushmay qolishi mumkin.

Marganetsli po‘lat quyilgandan keyin juda mo‘rt bo‘ladi. Ushbu mo‘rtlikni bartaraf etish uchun uni **1050-1100°C** haroratgacha qizdirib suvda sovutib toblanadi.

Xulosa qilib aytganda, ichki konusli bronyaning 16 ta segmentini Z-simon qirralar bilan quyish jarayonida hosil qilish texnologiyasi ishlab chiqarish samaradorligini sezilarli oshiradi. Ushbu usul mexanik ishlov berish, ayniqsa frezerlash ishlarini kamaytirib, vaqt va xarajatlarni tejash imkonini beradi. Shu bilan birga, quyma metallning tabiiy strukturasini saqlab qolish orqali detalning mustahkamligi va yeyilishga chidamliligi oshadi. Z-shaklli ulanishlarning aniq hosil bo‘lishi uchun marganetsli po‘latning quyilgandan keyingi 2.5–3% qisqarishi oldindan hisobga olinib, model o‘lchamlari mos ravishda kattalashtiriladi. Qolipdan oson ajralishi uchun esa qirralarga 1–2° qiyalik burchagi beriladi. Bundan tashqari, quyma yuzalarini qum qoldiqlaridan tozalash muhim texnologik talab hisoblanadi, chunki yuzalarning notekisligi segmentlarni yig‘ishda aniqlikni buzishi mumkin. Marganetsli po‘latning quyilgandan keyingi mo‘rt holatini bartaraf etish maqsadida 1050–1100°C haroratda qizdirib, suvda sovutish orqali termik ishlov beriladi. Natijada yuqori mustahkamlikka, aşınishga chidamli va uzoq muddat xizmat qiluvchi bronya segmentlari olinadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Vafoyev S.T. Qurilish mashinalari. T.: Darslik-Toshkent, 2014.
2. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки конструкция расчет особенности эксплуатации. Машиностроение – Москва 1990.

ISSN 3030-3907

3. Бауман В.А., Клушунцев Б.В., Мартыков В.Д. Механическое оборадувание предприятий строительных материалов изделий и конструкций. Машиностроение – Москва 1981.
4. 4. Бауман В. А., Быховский И. И. Вибрационные машины и процессы в строительстве. М.: Высшая школа, 1977. 354 с.
5. Zuxritdinov Alisher, Zukhriddinov Dilmurodjon , Mahammadjonov Nurmuhammad RESULTS OF THE STUDY ON THE WEAR RESISTANCE OF STONE CRUSHER WORKING PARTS International bulletin of applied science and technology journal Volume 4, Issue 11, November 2024.
6. Patent O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI ADLIYA VAZIRLIGI № IAP 8136. Inertsiyali konusli maydalagich / Zo‘xriddinov Dilmurodjon Karimjon o‘g‘li; Zuxritdinov Alisher Faraxidin O‘g‘li; va bosh.// 30.10.2024.

ISSN 3030-3907

MODERN PRINCIPLES OF DESIGNING DRIP IRRIGATION SYSTEMS IN GREENHOUSES

Mazahir Mahammad Isayev
Azerbaijan University of Architecture and Construction, professor
Normatov Ibrokhimali Kholmamatovich
National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek
E-mail: i_normatov@nuu.uz
Tel: +998977210920
Natavan Mammad Khasayeva
Azerbaijan Technical University, doctoral student
Khalid Khalig Khalilov
Institute of Mathematics, doctoral student
Kamran Rovshan Gasimov
Azerbaijan University of Technology, doctoral student

Abstract. This article examines modern principles of drip irrigation systems in greenhouses based on information technology and automation. It analyzes the general principles of drip irrigation in greenhouses, including their control, measurement, and management, and explores an effective solution to the problem of regulating indoor microclimatic conditions. It also examines the implementation of automated processes for monitoring, measuring, and controlling environmental parameters using a multisensor system, its design using innovative methods and tools, and its application in real-world settings. The main objective of the system is to ensure normal conditions in the plant root zone, delivering water and fertilizers at optimal doses and low flow rates. Optimal control of the hydraulic system at low pressure is proposed.

Keywords: Greenhouse, hydraulic system, drip irrigation, smart metering, adaptive control, multisensor systems.

Аннотация. В данной статье рассматриваются современные принципы работы систем капельного орошения в теплицах на основе информационных технологий и автоматизации. Анализируются общие принципы капельного орошения в теплицах, включая их управление, измерение и регулирование, а также исследуется эффективное решение проблемы регулирования микроклимата внутри помещений. Рассматривается также внедрение автоматизированных процессов мониторинга, измерения и контроля параметров окружающей среды с использованием мультисенсорной системы, её проектирование с применением инновационных методов и инструментов, а также её применение в реальных условиях. Основная цель системы – обеспечение нормальных условий в корневой зоне растений, подача воды и удобрений в

ISSN 3030-3907

оптимальных дозах и с низким расходом. Предлагается оптимальное управление гидравлической системой при низком давлении.

Ключевые слова: Теплица, гидравлическая система, капельное орошение, интеллектуальный учет, адаптивное управление, многосенсорные системы.

Annotatsiya. Ushbu maqolada axborot texnologiyalari va avtomatlashtirish asosida issiqxonalarda tomchilatib sug‘orish tizimlarining zamonaviy tamoyillari ko‘rib chiqilgan. Issiqxonalarda tomchilatib sug‘orishning umumiy tamoyillari, jumladan, ularni nazorat qilish, o‘lchash va boshqarish masalalari tahlil qilinadi hamda yopiq mikroiqlim sharoitlarini tartibga solish muammosini samarali hal etish yo‘llari o‘rganiladi. Shuningdek, u ko‘p sensorli tizim yordamida atrof-muhit parametrlarini kuzatish, o‘lchash va nazorat qilish bo‘yicha avtomatlashtirilgan jarayonlarni amalga oshirish, uni innovatsion usullar va vositalar yordamida loyihalash hamda real sharoitlarda qo‘llashni o‘rganadi. Tizimning asosiy maqsadi o‘simlikning ildiz zonasida normal sharoitlarni ta'minlash, suv va o‘g‘itlarni optimal dozalarda va past oqim tezligida etkazib berishdir. Past bosimda gidravlik tizimni optimal nazorat qilish taklif etiladi.

Kalit so‘zlar: Issiqxona, gidravlik tizim, tomchilatib sug‘orish, aqlli o‘lchash, moslashuvchan boshqaruv, ko‘p sensorli tizimlar

1.INTRODUCTION.

Drip irrigation in greenhouses is considered the optimal irrigation method for growing plants in modern agriculture because it is reliable, efficient, and widely used. The technology provides controlled application of water and nutrients directly to the root zone of plants through a network of pipes, emitters, filters, and control devices. The growing global demand for sustainable agriculture to increase productivity by saving water has accelerated the development of smart drip irrigation systems for greenhouse cultivation [1], [2].

Tomatoes, cucumbers, peppers, eggplants, and other melons are considered the most economically important field in the world, and greenhouse horticulture is being developed because they are daily food products. Productivity and quality in this field depend largely on the precise regulation of the moisture content of the "soil" - the root zone of plants, nutrient concentration, air humidity, and temperature. Traditional irrigation methods often lead to excessive water consumption, uneven wetting, leaching of nutrients, and the development of diseases. Drip irrigation minimizes these deficiencies by delivering water in measured doses according to the physiological requirements of the plant [3], [4].

2.GENERAL PRINCIPLES OF DRIP IRRIGATION.

The basic principle of drip irrigation in greenhouses is to deliver a gradual and localized application of water to the root zone of plants in the form of droplets or low-velocity micro-streams of water containing optimal doses of fertilizers.

ISSN 3030-3907

The water is transported under low pressure through a hydraulic system and discharged through emitters located near the root ball of each plant [5].

A typical greenhouse drip irrigation system consists of the following components:

– Water source and pumping unit;
– Filtration system;
– Main and side pipelines;
– Drip emitters or drip tapes;
– Fertilizer unit;
– Pressure regulators;
– Sensors and controllers;
– Monitoring and automation subsystem [6].

Functional Diagram of Drip Irrigation System

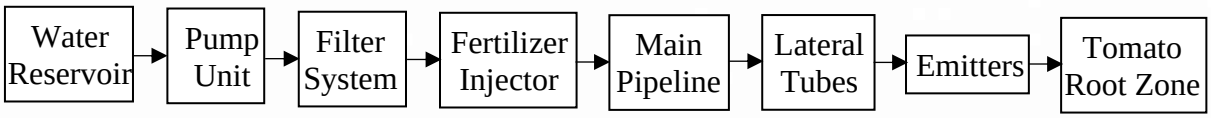


Fig. 1. Functional Diagram of a Drip Irrigation System

The principle of local irrigation significantly reduces the amount of evaporation (losses), allowing to maintain moisture in the active rhizosphere of plants at the exact, required level [7].

2. Water Requirements of Greenhouse Plants

Due to the intensive transpiration of vegetables or berries grown in greenhouses and the required climatic conditions, the constant humidity of the environment, along with the irrigation zone, is regulated. Thus, the water requirement regime depends on the following parameters:

– Solar radiation;
– Air temperature;
– Relative humidity;
– Plant growth stage;
– Soil or substrate properties;
– Greenhouse ventilation conditions [8].

During vegetative development, plants require moderate watering, while the flowering and fruiting stages require a higher water supply. Excessive watering leads to root hypoxia, fungal diseases, and nutrient imbalance. Insufficient watering regime leads to small fruit size, reduced yield and quality [9].

The crop evapotranspiration approach is commonly used to determine irrigation scheduling:

ISSN 3030-3907

$$ET_c = K_c \times ET_0$$

where:

ET_c – crop evapotranspiration;

K_c - crop coefficient;

ET_0 - reference evapotranspiration.

This equation is fundamental for calculating the required irrigation water volume in greenhouse tomato cultivation [10].

3. SOIL MOISTURE CONTROL AND IRRIGATION SCHEDULING.

Efficient drip irrigation requires continuous monitoring of soil moisture. In greenhouse tomato production, irrigation scheduling is often based on:

- Soil moisture sensors;
- Tensiometers;
- Climatic data;
- Evapotranspiration models;
- Plant stress indicators [11].

Modern automated systems employ intelligent controllers capable of activating irrigation according to sensor feedback. The optimal soil moisture range for greenhouse tomatoes generally varies between 70–85% of field capacity [12].

Table 1.

Irrigation Scheduling Approaches

Method	Principle	Advantages
Time-based irrigation	Irrigation at fixed intervals	Simple implementation
Sensor-based irrigation	Real-time soil moisture monitoring	High efficiency
Climate-based irrigation	Based on evapotranspiration	Water saving
Adaptive irrigation	AI and feedback algorithms	Precision management

Adaptive irrigation systems significantly improve water use efficiency and reduce energy consumption in greenhouse operations [13].

4. FERTIGATION IN DRIP IRRIGATION SYSTEMS.

One of the most important advantages of drip irrigation is the possibility of fertigation - simultaneous application of fertilizers with irrigation water.

ISSN 3030-3907

Fertigation enables accurate nutrient dosing and uniform nutrient distribution in the root zone [14].

The following nutrients are essential for greenhouse tomato cultivation:

- Nitrogen (N);
- Phosphorus (P);
- Potassium (K);
- Calcium (Ca);
- Magnesium (Mg);
- Micronutrients [15].

Nutrient concentration is typically regulated using electrical conductivity (EC) and pH measurements. Excessive fertilizer concentration may increase soil salinity and negatively affect plant growth [16].

5. HYDRAULIC PRINCIPLES OF DRIP SYSTEMS.

The hydraulic performance of drip irrigation systems is determined by pressure distribution, emitter discharge uniformity, and pipeline characteristics. The emitter flow rate is commonly expressed as:

$$q = kH^x$$

where:

- q - emitter discharge;
- H - pressure head;
- k, x - emitter coefficients.

Pressure-compensating emitters are frequently used in greenhouse applications because they maintain stable flow rates under varying pressure conditions [17].

Uniformity of irrigation directly influences tomato growth consistency and crop yield. Therefore, hydraulic design must minimize pressure losses throughout the irrigation network [18].

6. AUTOMATION AND SMART IRRIGATION CONTROL.

Modern greenhouse automation technologies are increasingly integrating drip irrigation systems. Smart irrigation control includes:

- Wireless sensor networks;
- Internet of Things (IoT) devices;
- PLC and microcontroller systems;
- Artificial intelligence algorithms;
- Cloud-based monitoring platforms [19].

A generalized algorithm for automated irrigation is proposed as follows:

ISSN 3030-3907

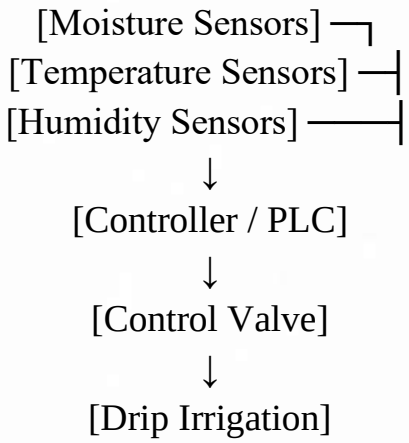


Fig. 2. Automated irrigation algorithm

These technologies allow real-time optimization of irrigation according to environmental conditions and plant physiological responses [20].

Advantages of Drip Irrigation System:

• High water use efficiency;
• Reduced evaporation loss;
• Improved fertilizer utilization;
• Reduced weed growth;
• Reduced disease incidence;
• Increased yield and quality [21].

Limitations

• Emitter clogging;
• Initial installation cost;
• Need for filtration service;
• Salt accumulation near rain areas;
• Dependence on technical management [22].

Emitter clogging remains one of the main operational problems in drip systems used in greenhouses. Our research has achieved a positive solution to this problem. In this case, the direction of the liquid transfer, which is a mixture of water and fertilizer, in a closed irrigation pipe is periodically changed. That is, the liquid is injected clockwise for the first time, and counterclockwise for the second time. Thus, this process is carried out periodically, and the problem is solved at a high level. Proper filtration and periodic cleaning operations are considered necessary to maintain the reliability of the system [23].

Environmental and Economic Importance:

ISSN 3030-3907

Drip irrigation contributes significantly to sustainable greenhouse farming by conserving water resources and reducing environmental pollution caused by fertilizer leaching [24-27].

Studies have shown that drip irrigation systems can increase tomato yields by 20–50% and reduce water consumption by 30–60% compared to traditional irrigation methods [25].

The integration of renewable energy sources and intelligent control algorithms further increases the sustainability and economic efficiency of greenhouse production systems [26, 27].

CONCLUSION.

The drip irrigation method and system is a highly effective and technologically advanced method for cultivating agricultural crops in greenhouses. Its main principles are based on localized water delivery, precise moisture control, fertilization, hydraulic stability and intelligent automation. The application of multisensor technologies and adaptive control systems significantly increases water efficiency, productivity and environmental sustainability.

Future developments in the field of greenhouse drip irrigation are expected to focus on artificial intelligence, predictive irrigation algorithms, digital twins and autonomous monitoring systems for precision agriculture.

REFERENCES

1. Keller, J., & Bliesner, R.D. *Sprinkler and Trickle Irrigation*. New York: Springer, 1990, 652 p.
2. Phene, C.J., & Beale, O.W. “High-frequency irrigation for water-nutrient management in humid regions.” *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 43, No. 2, 1979, pp. 430–436.
3. Hanson, B., Schwankl, L., & Fulton, A. *Microirrigation of Trees and Vines*. University of California Agriculture and Natural Resources, Oakland, 1997, 276 p.
4. Postel, S. *Pillar of Sand: Can the Irrigation Miracle Last?* New York: W.W. Norton & Company, 1999, 313 p.
5. Burt, C., Clemmens, A., & Strelkoff, T. “Irrigation performance measures: efficiency and uniformity.” *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 123, No. 6, 1997, pp. 423–442.
6. Nakayama, F.S., & Bucks, D.A. *Trickle Irrigation for Crop Production*. Amsterdam: Elsevier, 1986, 383 p.
7. Shock, C.C., Feibert, E.B. G., & Saunders, L.D. “Water requirements and irrigation management.” *HortScience*, Vol. 33, No. 3, 1998, pp. 429–434.
8. Jones, H.G. *Plants and Microclimate*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013, 428 p.

ISSN 3030-3907

9. Dorais, M., Papadopoulos, A.P., & Gosselin, A. “Greenhouse tomato fruit quality.” *Horticultural Reviews*, Vol. 26, 2001, pp. 239–319.
10. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. *Crop Evapotranspiration: FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. Rome: FAO, 1998, 300 p.
11. Campbell, G.S., & Norman, J.M. *An Introduction to Environmental Biophysics*. New York: Springer, 1998, 286 p.
12. Pereira, L.S., Cordery, I., & Iacovides, I. *Improved Indicators of Water Use Performance*. Wallingford: CABI Publishing, 2012, 332 p.
13. Smith, R., Baillie, J., & McCarthy, A. “Decision support systems for irrigation scheduling.” *Agricultural Water Management*, Vol. 98, No. 4, 2011, pp. 629–635.
14. Bar-Yosef, B. “Advances in fertigation.” *Advances in Agronomy*, Vol. 65, 1999, pp. 1–77.
15. Resh, H.M. *Hydroponic Food Production*. Boca Raton:CRC Press,2012,567 p.
16. Sonneveld, C., & Voogt, W. *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Dordrecht: Springer, 2009, 431 p.
17. Wu, I.P., & Gitlin, H.M. *Drip Irrigation Application Efficiency and Design*. Honolulu: University of Hawaii Press, 1975, 112 p.
18. Howell, T.A. “Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture.” *Agronomy Journal*, Vol. 93, No. 2, 2001, pp. 281–289.
19. Kim, Y., Evans, R.G., & Iversen, W.M. “Remote sensing and control of an irrigation system.” *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 57, No. 1, 2008, pp. 75–87.
20. Liakos, K.G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. “Machine learning in agriculture.” *Sensors*, Vol. 18, No. 8, 2018, pp. 2674–2695.
21. Ayars, J.E., Phene, C.J., Hutmacher, R.B., et al. “Subsurface drip irrigation of row crops.” *Agricultural Water Management*, Vol. 42, No. 1, 1999, pp. 1–27.
22. Ravina, I., Paz, E., Sofer, Z., et al. “Control of emitter clogging in drip irrigation.” *Irrigation Science*, Vol. 13, No. 3, 1992, pp. 129–139.
23. Bucks, D.A., Nakayama, F S., & Gilbert, R.G. “Trickle irrigation water quality and preventive maintenance.” *Agricultural Water Management*, Vol. 2, No. 2, 1979, pp. 149–162.
24. Pereira, L.S. “Water, agriculture and food security.” *Agricultural Water Management*, Vol. 97, No. 11, 2010, pp. 1925–1932.
25. Fereres, E., & Soriano, M.A. “Deficit irrigation for reducing agricultural water use.” *Journal of Experimental Botany*, Vol. 58, No. 2, 2007, pp. 147–159.
26. Shamshiri, R.R., Jones, J.W., Thorp, K.R., et al. “Review of optimal temperature, humidity, and vapor pressure deficit for microclimate evaluation.” *International Agrophysics*, Vol. 32, No. 2, 2018, pp. 287–302.

ISSN 3030-3907

27. Норматов И.Х., Джумагулов Н.С., Жолбарыс Е.Н. Методы разработки, хранения и обучения моделей на основе текстовой информации в образовании Internet tarmogida videotasvirlarni himoya qilish model va usullari// Development of science Volume 3 Iyun 2025/9, С. 85-95, ISSN 3030-3907.

QALMOQQIR KONI RUDALARIDA FOYDALI KOMPONENTLARNING JOYLASHISH SHAKLLARI VA BOYITISH SAMARADORLIGINI OSHIRISH USULLARI

Boymurodov Najmiddin Abduqodirovich
Qarshi davlat texnika universiteti. Dotsent
Email: najmiddinboy-94@mail.ru
Islomov Erkinjon Odiljon o‘g‘li
Qarshi davlat texnika universiteti magistranti
Email: eislomov117@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada Qalmoqqir koni rudalarida metallarning joylashish shakllari hamda ularni qayta ishlashning ilmiy asoslari tadqiq etildi. Tadqiqot davomida rudalarning mineralogik, kimyoviy va fizik-kimyoviy xususiyatlari kompleks ravishda o‘rganildi. Rentgenfazaviy tahlil, rentgen-fluorestsent tahlil, SEM–EDS va flotatsion tajribalar asosida rudalarning tarkibi, foydali komponentlarning fazaviy bog‘lanishi va texnologik faolligi aniqlandi. Tadqiqot natijalari rudalarda xalkopirit, molibdenit va pirit minerallari ustunlik qilishini, foydali komponentlarning mayda dispers holatda tarqalganligini hamda ularning kvarts va sulfid minerallari bilan murakkab assotsiatsiyalarda joylashganligini ko‘rsatdi. Flotatsion boyitish jarayonida maydalash yirikligi, pH muhiti va reagent sarfining metallarning ajralib chiqish ko‘rsatkichlariga ta’siri baholandi. Tajribalar maydalash mahsulotining 74 mkm gacha yanchilishi hamda pH muhitining 9–11 oralig‘ida bo‘lishi mis va molibden minerallarining flotatsion faolligini oshirishini ko‘rsatdi. Rougher, scavenger va cleaner bosqichlarini kompleks qo‘llash konsentrat sifatini yaxshilashi va metall yo‘qotilishlarini kamaytirishi aniqlandi. Olingan natijalar Qalmoqqir rudalarini kompleks qayta ishlashning samarali texnologik parametrlarini ishlab chiqishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: Qalmoqqir koni, mis-molibden rudalari, flotatsion boyitish, mineralogik tahlil, SEM–EDS, metallarning joylashishi, texnologik parametrlar.

Аннотация. В данной статье исследованы формы нахождения металлов в рудах месторождения Калмакыр и научные основы их переработки. В ходе исследования комплексно изучены минералогические, химические и физико-химические свойства руд. На основе рентгенофазового анализа, рентгенофлуоресцентного анализа, SEM–EDS и флотационных экспериментов определены состав руд, фазовые связи полезных компонентов и их технологическая активность. Результаты исследования показали, что в рудах преобладают минералы халькопирита, молибденита и пирита, а полезные компоненты находятся в тонкодисперсном состоянии и связаны со сложными ассоциациями кварцевых и сульфидных минералов.

ISSN 3030-3907

В процессе флотационного обогащения была оценена зависимость показателей извлечения металлов от степени измельчения, pH среды и расхода реагентов. Установлено, что измельчение материала до 74 мкм и поддержание pH среды в пределах 9–11 повышают флотационную активность минералов меди и молибдена. Комплексное применение стадий rougher, scavenger и cleaner способствует повышению качества концентрата и снижению потерь металлов. Полученные результаты имеют важное научно-практическое значение для разработки эффективных технологических параметров комплексной переработки руд Калмакырского месторождения.

Ключевые слова: месторождение Калмакыр, медно-молибденовые руды, флотационное обогащение, минералогический анализ, SEM–EDS, формы нахождения металлов, технологические параметры.

Abstract. This article investigates the occurrence forms of metals in the ores of the Kalmakyr deposit and the scientific fundamentals of their processing. The mineralogical, chemical and physicochemical properties of the ores were comprehensively studied using X-ray diffraction analysis, X-ray fluorescence analysis, SEM–EDS investigations and flotation experiments. The obtained results revealed that chalcopyrite, molybdenite and pyrite are the dominant ore minerals, while valuable components occur in finely disseminated forms and are closely associated with quartz and sulfide minerals. The influence of grinding fineness, pH medium and reagent consumption on metal recovery during flotation beneficiation was evaluated. Experimental results demonstrated that grinding the material to 74 μm and maintaining the pH medium within the range of 9–11 significantly improve the flotation activity of copper and molybdenum minerals. The combined application of rougher, scavenger and cleaner flotation stages improved concentrate quality and reduced metal losses. The obtained results are of considerable scientific and practical importance for developing efficient technological parameters for the complex processing of Kalmakyr ores.

Keywords: Kalmakyr deposit, copper-molybdenum ores, flotation beneficiation, mineralogical analysis, SEM–EDS, metal occurrence forms, technological parameters.

KIRISH.

Bugungi kunda jahon kon-metallurgiya sanoatida rangli va nodir metallarga bo‘lgan talabning keskin ortishi mavjud mineral-xomashyo resurslaridan kompleks va samarali foydalanishni taqozo etmoqda. Ayniqsa mis, molibden, oltin va kumush kabi strategik metallarga boy porfir tipidagi rudalarni chuqur o‘rganish, ulardagi metallarning joylashish shakllarini aniqlash hamda boyitish va metallurgik qayta ishlash texnologiyalarini takomillashtirish muhim

ISSN 3030-3907

ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etmoqda. So‘nggi yillarda yuqori sifatli rudalar zaxirasining kamayishi, qazib olinayotgan rudalar tarkibining murakkablashuvi va foydali komponentlarning mayda dispers holatda uchrashi mavjud texnologik sxemalar samaradorligining pasayishiga olib kelmoqda [9]. Shu sababli rudalarning moddiy tarkibi, mineralogik xususiyatlari va texnologik xatti-harakatlarini zamonaviy fizik-kimyoviy usullar asosida kompleks tadqiq etish dolzarb ilmiy masalalardan biri hisoblanadi [2, 14].

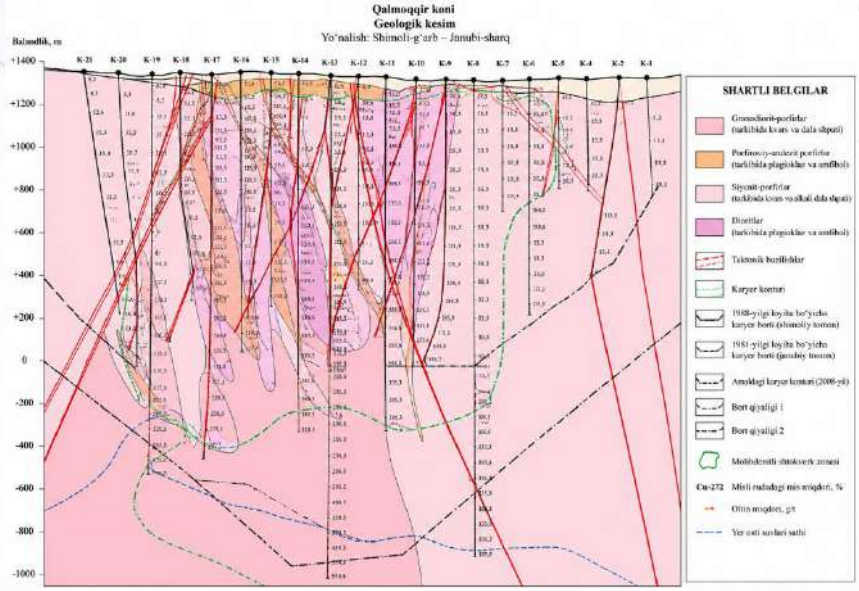
Qalmoqqir koni O‘zbekistonning eng yirik mis-molibden konlaridan biri bo‘lib, Olmaliq kon-metallurgiya kombinati uchun asosiy mineral-xomashyo bazasi hisoblanadi. Kon Markaziy Osiyodagi yirik porfir mis konlari qatoriga kiradi va dengiz sathidan 750–1350 m balandlikda joylashgan. Hozirgi vaqtda karyerning yer yuzasi bo‘yicha uzunligi 4200 m, kengligi 1800 m hamda eng yuqori belgidan karyer tubigacha bo‘lgan chuqurligi 470 m ni tashkil etadi. Konning yillik ruda qazib olish quvvati 30 mln tonna bo‘lib, umumiy kon massasi hajmi 36 mln m³ ga yetadi. Ochish koeffitsiyenti 1.7–1.8 m³/m³ ni tashkil qilishi kon ishlarining texnologik murakkabligini ko‘rsatadi. Rudalar asosan granodiorit-porfirlar, siyenit-dioritlar va ikkilamchi kvarsitlar bilan bog‘langan bo‘lib, foydali komponentlar tomirsimon, disseminatsiyalangan va brekchiyali shakllarda uchraydi [1, 5, 11].

Kon rudalarining mineral tarkibi murakkabligi bilan tavsiflanadi. Asosiy rudali minerallar xalkopirit, molibdenit va piritdan iborat bo‘lib, ayrim zonalarda xalkozin, bornit, kuprit va malaxit minerallari ham uchraydi. Metallarning sulfid va oksid minerallari bilan murakkab assotsiatsiyalarda joylashishi ularni boyitish jarayonida to‘liq ajratib olishni qiyinlashtiradi. Bundan tashqari rudalarda foydali komponentlarning mayda dispers holatda tarqalganligi maydalash darajasi, flotatsiya reagentlari rejimi va boyitish samaradorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Kon jinslarining mustahkamligi Protodyakonov shkalasi bo‘yicha 6–14 oralig‘ida o‘zgarib, rudalarning maydalanuvchanligi va ochilish darajasiga bevosita ta’sir etadi [7]. Sulfid rudalarining zichligi 2.6–2.8 t/m³ ni tashkil qilishi boyitish va gidrometallurgik jarayonlarning texnologik parametrlarini tanlashda muhim omil hisoblanadi.

Ilmiy tadqiqotlarda rudalarning mineralogik va texnologik xususiyatlarini aniqlashda rentgenofazaviy tahlil (XRD), skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM), energiya-dispersiv spektroskopiya (EDS), rentgen-fluorestsent tahlil (XRF) va ICP-OES kabi yuqori aniqlikdagi fizik-kimyoviy usullardan foydalanilmoqda [13]. Bu usullar orqali rudadagi metallarning fazaviy taqsimlanishi, mineral bog‘lanish darajasi, ochilish ko‘rsatkichlari va texnologik faolligini aniqlash imkoniyati mavjud. Ayniqsa, murakkab tarkibli rudalarni qayta

ISSN 3030-3907

ishlashda mineralogik omillarning flotatsiya va metallurgik jarayonlarga ta’sirini baholash, boyitish samaradorligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi [4].



1-rasm. Qalmoqqir konining geologik kesimi va rudali zonalarning fazoviy joylashish sxemasi

Qalmoqqir konining uzoq muddat davomida ekspluatatsiya qilinishi natijasida qazib olinayotgan rudalar tarkibida past navli va qiyin boyitiluvchi rudalar ulushi ortib bormoqda. Bu esa mavjud texnologik jarayonlarni takomillashtirish, metall yo‘qotilishlarini kamaytirish hamda foydali komponentlarni kompleks ajratib olishga qaratilgan yangi ilmiy yondashuvlarni ishlab chiqishni talab etadi. Shu nuqtai nazardan mazkur tadqiqotning asosiy мақсади Qalmoqqir koni rudalarida metallarning joylashish shakllari, mineralogik va texnologik xycyciyatlarini kompleks o‘rganish hamda foydali komponentlarni samarali ajratib olishning ilmiy asoslangan texnologik yechimlarini ishlab chiqishdan iboratdir [15].

TADQIQOT MATERIALLARI VA USULLARI.

Tadqiqot obyekti sifatida Qalmoqqir konining mis-molibdenli porfir rudalari tanlandi. Tadqiqot davomida rudalarning moddiy tarkibi, metallarning joylashish shakllari, mineral fazalar bilan bog‘lanish xususiyatlari hamda boyitish jarayonidagi texnologik xatti-harakatlari kompleks tarzda o‘rganildi [6]. Namunalar Qalmoqqir karyerining turli gorizontlaridan olinib, laboratoriya sharoitida maydalash, yanchish va klassifikatsiya jarayonlaridan o‘tkazildi. Tadqiqot namunalarining granulometrik tarkibi va mineralogik xususiyatlarini aniqlash maqsadida standart tayyorlash usullaridan foydalanildi.

Rudalarning kimyoviy tarkibini aniqlash uchun rentgen-fluorestsent tahlil (XRF), induktiv bog‘langan plazmali optik emissiya spektrometriyasi (ICP-OES) hamda spektral tahlil usullari qo‘llanildi. Mineral tarkib va fazaviy o‘zgarishlarni aniqlash maqsadida rentgen difraksion tahlili (XRD) amalga oshirildi [10].

ISSN 3030-3907

Metallarning rudalarda joylashish shakllari, mineral assotsiatsiyalari va disperslik darajasini o‘rganishda skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM–EDS) usulidan foydalanildi. Tadqiqot davomida mis, molibden, oltin va boshqa hamroh komponentlarning sulfid va oksid minerallari bilan bog‘lanish xususiyatlari baholandi [3].

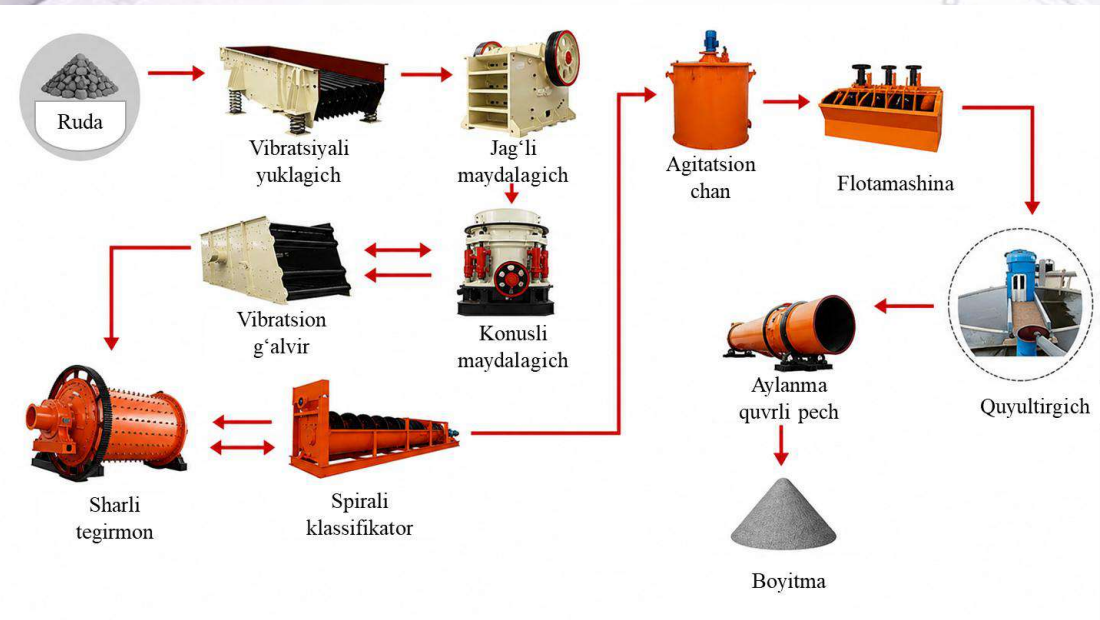
1–Jadval

Qalmoqqir konining dastlabki va o‘zgargan jinslarining kimyoviy tarkibi.

Komponent	Diorit	Kvarts-seritsit metasomatit	Siyenit	Granodiorit-porfir	Siyenit-diorit
SiO_2	48,1	55,75	65,89	79,54	55,75
TiO_2	0,79	0,41	0,19	0,15	—
Al_2O_3	18,25	14,73	16,61	4,78	16,42
Fe_2O_3	3,03	10,91	1,84	9,99	4,44
FeO	5,42	5,07	3,42	—	3,46
MgO	6,11	4,77	2,73	0,3	4,86
CaO	5,27	1,49	5,1	0,26	3,62
K_2O	2,51	2,4	2,35	1,66	4,15
Na_2O	2,5	3,31	5,02	0,21	1,45
S	0,31	1,78	0,17	2,76	1,32

Texnologik tajribalar laboratoriya flotatsiya qurilmalarida olib borildi. Rudalarni boyitishdan oldin maydalash va yanchish bosqichlari bajarilib, foydali minerallarning ochilish darajasi aniqlashtirildi [12]. Flotatsiya jarayonlarida kollektorlar, ko‘pik hosil qiluvchi reagentlar va muhit boshqaruvchi moddalar qo‘llanildi. Tajribalar davomida maydalash darajasi, pulpa zichligi, reagent sarfi, pH muhiti va aeratsiya intensivligining metall ajralib chiqish ko‘rsatkichlariga ta’siri o‘rganildi. Boyitish samaradorligi konsentratdagi metall miqdori, metall ajralib chiqishi va konsentrat chiqishi ko‘rsatkichlari asosida baholandi [8].

ISSN 3030-3907



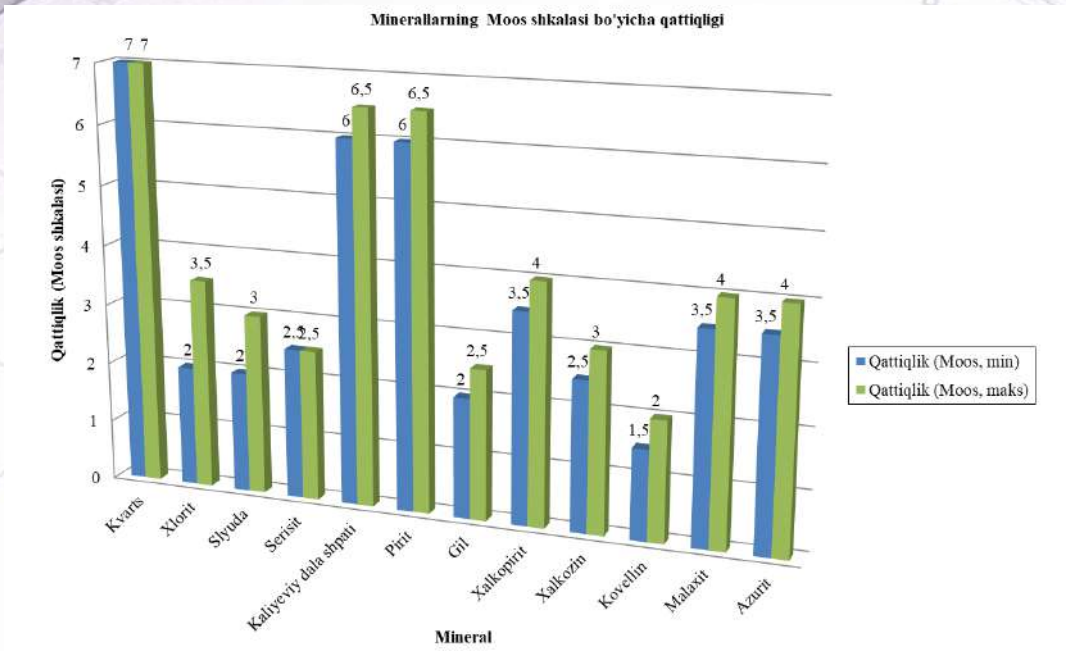
3-rasm. Qalmoqqir rudalarini flotatsion boyitish texnologik sxemasi

Olingan natijalarga matematik-statistik ishlov berish, modellashtirish va optimallashtirish usullari qo‘llanildi. Tadqiqot natijalari asosida rudalarning texnologik xususiyatlari, foydali komponentlarning mineral fazalarda taqsimlanishi hamda ularni samarali ajratib olishga ta’sir qiluvchi asosiy fizik-kimyoviy omillar aniqlandi. Shuningdek, rudalarni kompleks qayta ishlashning ilmiy asoslangan texnologik parametrlari ishlab chiqildi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA.

Tadqiqot natijalari Qalmoqqir koni rudalarining murakkab mineralogik va kimyoviy tarkibga ega ekanligini ko‘rsatdi. Rentgenfazaviy va kimyoviy tahlillar natijasida rudalar tarkibida granodiorit-porfirlar, siyenit-dioritlar hamda kvarts-seritsit metasomatitlar asosiy jins hosil qiluvchi kompleks sifatida aniqlangan. Rudalarning oksidli tarkibi bo‘yicha SiO_2 miqdori 48.1 % dan 79.54 % gacha o‘zgarishi kuzatildi. Granodiorit-porfir jinslarida kremniy oksidining yuqori miqdorda uchrashi ularning qattiqligi va maydalanuvchanligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Kvarts-seritsit metasomatitlarda Fe_2O_3 va oltingugurt miqdorining nisbatan yuqoriligi sulfid minerallarining konsentratsiyasi ortganligini ko‘rsatdi.

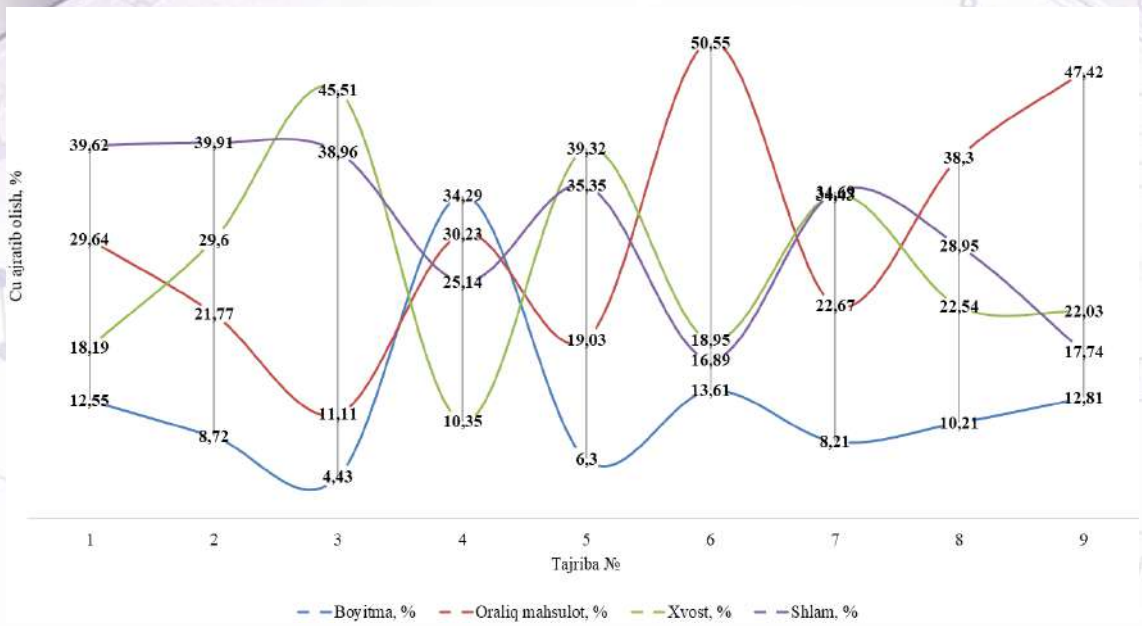
ISSN 3030-3907



4-rasm. Qalmoqqir koni rudalarida uchraydigan asosiy minerallarning Moos shkalasi bo‘yicha qattiqlik ko‘rsatkichlari

Mineralogik tadqiqotlar natijasida asosiy rudali minerallar sifatida xalkopirit, molibdenit va pirit minerallari ustunlik qilishi aniqlandi. Ayrim namunalarda bornit, xalkozin hamda oksidlangan zonalarda malaxit va kuprit minerallari ham kuzatildi. SEM–EDS tahlillari mis va molibden minerallarining ko‘pchilik holatlarda kvarts va sulfid minerallari bilan murakkab assotsiatsiyalarda joylashganligini ko‘rsatdi. Metallarning mayda dispers holatda tarqalganligi foydali komponentlarning ochilish darajasini pasaytirishi va boyitish jarayonini murakkablashtirishi aniqlandi. Elektron mikroskopik kuzatuvlar natijasida molibdenit zarrachalarining ayrim hollarda mikroyoriqlar bo‘ylab joylashganligi aniqlanib, maydalash yirikligini optimallashtirish orqali ularning ochilish darajasini oshirish mumkinligi qayd etildi.

ISSN 3030-3907



5-rasm. Qalmoqqir rudalarini flotatsion boyitish jarayonida mahsulotlar bo‘yicha misning ajralib chiqish ko‘rsatkichlari

Flotatsion boyitish tajribalari davomida maydalash yirikligi, pulpa zichligi, pH muhiti va reagent sarfining texnologik ko‘rsatkichlarga ta’siri o‘rganildi. Tajriba natijalari maydalash mahsulotining 74 mkm gacha yanchilishi mis va molibden minerallarining ochilish darajasini sezilarli oshirishini ko‘rsatdi. pH muhitining 9–11 oralig‘ida bo‘lishi kollektor reagentlarning selektivligini yaxshilab, foydali minerallarning flotatsion faolligini oshirdi. Rougher, scavenger va cleaner bosqichlarining ketma-ket qo‘llanilishi konsentrat sifatini yaxshilashi hamda foydali komponentlarning ajralib chiqish ko‘rsatkichlarini oshirishi aniqlandi. Ayniqsa cleaner flotatsiya bosqichida mis va molibden konsentratlaridagi begona jinslar miqdorining kamayishi kuzatildi.

Texnologik sxema asosida olib borilgan tajribalar natijasida rudalarni flotatsion boyitish jarayonining samaradorligi mineral tarkib va rudaning fazaviy bog‘lanish darajasiga bevosita bog‘liq ekanligi aniqlandi. Sulfid minerallarining kvarts va silikat minerallari bilan murakkab bog‘langanligi ayrim hollarda metall yo‘qotilishlariga sabab bo‘ldi. Biroq maydalash va klassifikatsiya parametrlarini optimallashtirish orqali foydali komponentlarning ochilish darajasi oshirildi hamda flotatsion boyitish samaradorligi yaxshilandi. Tadqiqot natijalari Qalmoqqir koni rudalarini kompleks qayta ishlashda mineralogik omillarni hisobga olish texnologik jarayonlarning samaradorligini sezilarli oshirishini ko‘rsatdi.

Olingan natijalar asosida Qalmoqqir rudalarini boyitishda optimal texnologik parametrlar tavsiya qilindi. Tadqiqot davomida rudalarning kimyoviy va mineralogik tarkibini chuqur o‘rganish foydali komponentlarning ajralib chiqish darajasini oshirish, reagent sarfini kamaytirish hamda konsentrat sifatini

ISSN 3030-3907

yaxshilash imkonini berishi aniqlandi. Mazkur natijalar kon-metallurgiya korxonalarida rudalarni qayta ishlash samaradorligini oshirish va texnologik yo‘qotishlarni kamaytirishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega hisoblanadi.

XULOSA.

Mazkur tadqiqot natijalari Qalmoqqir koni rudalarining murakkab mineralogik va fizik-kimyoviy tarkibga ega ekanligini hamda foydali komponentlarning sulfid va silikat minerallari bilan murakkab assotsiatsiyalarda joylashganligini ko‘rsatdi. Rentgenfazaviy, kimyoviy va SEM–EDS tahlillar rudalarda xalkopirit, molibdenit va pirit minerallari ustunlik qilishini, metallarning mayda dispers holatda tarqalganligini hamda ularning ochilish darajasi maydalash parametrlariga bevosita bog‘liqligini tasdiqladi. Tadqiqot davomida rudalarning oksidli tarkibi, mineral fazalarning qattiqlik darajasi va texnologik faolligi flotatsion boyitish samaradorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Ayniqsa maydalash mahsulotining 74 mkm gacha yanchilishi hamda pH muhitining 9–11 oralig‘ida ushlab turilishi foydali komponentlarning flotatsion faolligini oshirib, mis va molibden minerallarining ajralib chiqish ko‘rsatkichlarini yaxshilashi kuzatildi.

Olib borilgan texnologik tajribalar rougher, scavenger va cleaner flotatsiya bosqichlarini kompleks qo‘llash orqali konsentrat sifatini oshirish va metall yo‘qotilishlarini kamaytirish mumkinligini ko‘rsatdi. Rudalarning mineralogik xususiyatlarini chuqur o‘rganish asosida optimal maydalash, klassifikatsiyalash va flotatsiya parametrlarini tanlash boyitish jarayonining samaradorligini sezilarli oshirish imkonini berdi. Tadqiqot natijalari Qalmoqqir koni rudalarini kompleks qayta ishlashning ilmiy asoslarini takomillashtirish, foydali komponentlarni ajratib olish darajasini oshirish hamda kon-metallurgiya korxonalarida resurslardan samarali foydalanishni ta’minlashda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Abramov, A. A. (2016). *Flotation methods of mineral processing*. Moscow: Mining Book Publishing House.
2. Bulatovic, S. M. (2010). *Handbook of flotation reagents: Chemistry, theory and practice* (Vol. 2). Elsevier.
3. Fuerstenau, M. C., Jameson, G. J., & Yoon, R. H. (2007). *Froth flotation: A century of innovation*. Society for Mining, Metallurgy and Exploration.
4. Gaudin, A. M. (2015). *Principles of mineral dressing*. McGraw-Hill Education.
5. Glembotskii, V. A., Klassen, V. I., & Plaksin, I. N. (2014). *Flotation*. Moscow: Nedra Publishers.
6. Klimpel, R. R. (1995). The influence of reagent chemistry on flotation process efficiency. *Minerals Engineering, 8*(3), 201–215.

ISSN 3030-3907

7. Lotter, N. O., Bradshaw, D. J., & Becker, M. (2018). Modern process mineralogy: An integrated multi-disciplined approach to flowsheeting. *Minerals Engineering, 116*, 149–157.
8. Mitchell, C. J., & Finch, J. A. (2011). A review of froth flotation control. *International Journal of Mineral Processing, 100*(3–4), 57–71.
9. Pease, J. D., Curry, D. C., & Young, M. F. (2006). Designing flotation circuits for high fines recovery. *Minerals Engineering, 19*(6–8), 831–840.
10. Rao, S. R. (2004). *Surface chemistry of froth flotation* (Vol. 1). Springer.
11. Sutherland, K. L., & Wark, I. W. (2013). *Principles of flotation*. Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
12. Wills, B. A., & Finch, J. (2016). *Wills' mineral processing technology: An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery* (8th ed.). Butterworth-Heinemann.
13. Yusupov, E. R., & Karimov, U. K. (2021). Mineralogical characteristics of copper-molybdenum ores of the Kalmakyr deposit. *Mining Journal of Uzbekistan, 4*(2), 45–52.
14. Zhang, W., Honaker, R., & Groppo, J. (2017). Improving flotation recovery of copper sulphide ores by advanced reagent regimes. *Minerals Engineering, 110*, 15–24.
15. Zhukov, V. P., & Chanturiya, V. A. (2019). Physicochemical fundamentals of sulfide ore beneficiation. *Journal of Mining Science, 55*(5), 742–751.

ISSN 3030-3907

QOPLAMALI KANALLARNING GIDRAVLIK HISOBI

T.U.Apakxujayeva
Toshkent arxitektura-qurilish universiteti T.f.f.d, dots
M.Mamajonov
"TIQXMMI" MTU magistranti

Abstract. This study is aimed at evaluating the hydraulic and economic efficiency of alternative materials to traditional concrete linings in irrigation canals. The research provides an in-depth analysis of geomembranes, sand-bentonite mixtures, asphalt, and stone linings in terms of filtration coefficient, Manning's roughness coefficient, lining thickness, and their impact on water losses. The results showed that geomembrane linings minimize seepage and improve hydraulic efficiency. However, their mechanical stability was found to be limited. Although concrete linings possess high structural strength, they are characterized by high economic costs. The findings indicate that combined lining systems provide an optimal balance between hydraulic efficiency and economic feasibility.

Keywords: irrigation canals, geomembrane, filtration, Manning coefficient, hydraulic optimization, water losses.

Аннотация. Данное исследование направлено на оценку гидравлической и экономической эффективности материалов, альтернативных традиционным бетонным покрытиям оросительных каналов. В научной работе проведён углублённый анализ геомембран, песчано-бентонитовых смесей, асфальтовых и каменных покрытий с точки зрения коэффициента фильтрации, коэффициента шероховатости Маннинга, толщины покрытия и их влияния на потери воды. Результаты показали, что геомембранные покрытия минимизируют фильтрацию и повышают гидравлическую эффективность. Однако было установлено, что их механическая устойчивость ограничена. Бетонные покрытия обладают высокой конструктивной прочностью, но отличаются высокими экономическими затратами. Результаты исследования показали, что комбинированные системы покрытий обеспечивают оптимальный баланс между гидравлической эффективностью и экономической целесообразностью.

Ключевые слова: оросительные каналы, геомембрана, фильтрация, коэффициент Маннинга, гидравлическая оптимизация, потери воды.

Annotatsiya. Mazkur tadqiqot sug'orish kanallarida an'anaviy beton qoplamalarga muqobil bo'lgan materiallarning gidravlik va iqtisodiy samaradorligini baholashga qaratilgan. Ilmiy ishda geomembrana, qum-bentonit aralashmalari, asfalt va tosh qoplamalarning filtratsiya koeffitsienti, Manning g'adir-budirlik koeffitsienti, qoplama qalinligi va suv yo'qotishlariga ta'siri

ISSN 3030-3907

chuqur tahlil qilingan. Natijalar geomembrana qoplamalarining filtratsiyani minimal darajaga tushirishini va gidravlik samaradorlikni oshirishini ko‘rsatdi. Biroq, ularning mexanik barqarorligi cheklanganligi aniqlandi. Beton qoplamalar yuqori konstruktiv mustahkamlikka ega bo‘lsa-da, iqtisodiy xarajatlari yuqori ekanligi bilan ajralib turadi. Tadqiqot natijalari kombinatsiyalangan qoplama tizimlari gidravlik samaradorlik va iqtisodiy maqbullik o‘rtasida optimal muvozanatni ta’minlashini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: sug‘orish kanallari, geomembrana, filtratsiya, Manning koeffitsienti, gidravlik optimallashtirish, suv yo‘qotish.

KIRISH.

Suv resurslarining cheklanganligi va ulardan samarali foydalanish zarurati zamonaviy gidrotexnika sohasining asosiy muammolaridan biri hisoblanadi. Qishloq xo‘jaligi sohasida suv iste’molining yuqori ulushga egaligi sug‘orish tizimlarining samaradorligini oshirishni strategik ahamiyatga ega masalaga aylantirmoqda. Ochiq kanallar orqali suv yetkazib berish jarayonida yuzaga keladigan filtratsion yo‘qotishlar umumiy suv sarfining katta qismini tashkil etib, ayrim hollarda 50 foizgacha yetishi mumkin.[1]

Markaziy Osiyo, xususan O‘zbekiston sharoitida bu muammo yanada dolzarb bo‘lib, bu yerda yuqori bug‘lanish, filtratsiya va kanal infratuzilmasining yetarli darajada emasligi suvdan samarasiz foydalanishga olib keladi. An’anaviy beton qoplamalar ushbu muammoni hal etishda uzoq vaqt davomida asosiy vosita bo‘lib kelgan bo‘lsa-da, ularning yuqori qiymati, ekspluatatsiya jarayonida yoriqlar hosil bo‘lishi va texnik xizmat ko‘rsatish murakkabligi yangi materiallarni izlashni taqozo etmoqda.

So‘nggi yillarda geosintetik materiallar, xususan geomembranalar, shuningdek, tabiiy va kompozit qoplamalarga bo‘lgan qiziqish ortib bormoqda. Biroq ushbu materiallarning gidravlik samaradorligi va iqtisodiy maqbulligini kompleks baholashga bag‘ishlangan tadqiqotlar yetarli emas. Shu sababli mazkur ishda turli qoplama materiallarining gidravlik, filtratsion va iqtisodiy ko‘rsatkichlari tahlil qilindi.[1,8]

METODOLOGIYA. Kanallardagi oqim harakati va suv yo‘qotishlarini baholash uchun klassik gidravlik modellar qo‘llaniladi. Oqim tezligi Manning tenglamasi orqali aniqlandi:[3,6]

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$$

bu yerda,

n— g‘adir-budirlik koeffitsienti (qoplama turiga qarab olinadi);

I — kanal tubining nishabligi;

R— gidravlik radius (m), u quyidagi bog‘liqlikda topiladi:

ISSN 3030-3907

$$R = \frac{\omega}{\chi}$$

bu yerda, ω — tirik kesim yuzasi(m^2), χ — ho‘llangan perimetr (m).

Qoplamaning silliqligi ortishi bilan g‘adir-budirlik koeffitsienti kamayadi, bu esa bir xil kesimda ko‘proq suv o‘tkazish yoki kesim o‘lchamlarini ixchamlashtirish imkonini beradi.

Kanal tubi va yon bag‘irlari orqali sizib chiqayotgan suv miqdorini aniqlashda **Darsi qonuni** va **Kostyakov formulasi**dan foydalaniladi.[2,6] Solishtirma filtratsiya sarfi quyidagi empirik formula orqali ifodalanishi mumkin:

$$q = \frac{\sigma Q^m}{100}$$

Bu yerda: σ -kanal qoplamasining holatini hisobga oluvchi koeffitsient;
m-o‘tkazuvchanlik darajasini ko‘rsatuvchi parametr.

Materiallarning uzoq muddatli samaradorligini baholash uchun **Hayotiy sikl xarajatlari (Life Cycle Cost - LCC)** usuli qo‘llanildi.[4] Umumiy xarajatlar (LCC) quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$LCC = C_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t} - \frac{S}{(1+r)^n}$$

Bu yerda: C_0— dastlabki investitsiya (qurilish) xarajatlari;
C_t — yillik ekspluatatsiya va ta’mirlash xarajatlari;
r— diskontlash stavkasi;
n— inshootning xizmat muddati;
S — qoldiq qiymat.

Modellashtirish orqali turli qoplama variantlari uchun suv yo‘qotishlari, oqim tezligi va energetik gradientlar hisoblab chiqildi. Shu bilan birga, iqtisodiy tahlilda hayotiy sikl xarajatlari (Life Cycle Cost Analysis) usuli qo‘llanilib, materiallarning uzoq muddatli samaradorligi baholanadi.

TAHLIL VA NATIJALAR. Sug‘orish kanallarida qo‘llaniladigan turli qoplama materiallarining samaradorligini baholashda gidravlik va iqtisodiy ko‘rsatkichlar asosiy ahamiyat kasb etadi. Xususan, filtratsiya koeffitsienti, Manning g‘adir-budirlik koeffitsienti va suv yo‘qotishlar darajasi kanalning umumiy gidravlik samaradorligini belgilaydi. Shu bilan birga, materialning iqtisodiy qiymati va ekspluatatsiya muddati ham tanlov jarayonida muhim omil hisoblanadi.

Betonning gidravlik xossalari uning sirt tuzilishi, mikro-yoriqlar darajasi, beton sinfi, zichligi, suv shimuvchanligi, eskirish jarayonlari va montaj sifati bilan bog‘liq. Beton qoplamalarda **Manning *n*=0.013–0.017** diapazonda bo‘ladi.[3,4] Bu qiymat boshqa qoplama materiallari bilan taqqoslanganda o‘rtacha gidravlik

ISSN 3030-3907

silliqlikni bildiradi. Ekspluatatsiya davomida quyidagi jarayonlar tufayli g‘adir-budurlik oshadi:

- **Karbonatlanish va yuvilish** natijasida yuzaning mikrotuzilishi g‘adir-budur holatga keladi.
- **Kimyoviy eroziya** (tuproqdagi sulfatlar, pH o‘zgarishi) yuzani yemiradi.
- **Mexanik eroziya** – suv oqimining quyqa, qum va loyqa bilan ishqalanishi.
- **Mikro-yoriqlarning paydo bo‘lishi** – bu kontakt sirtini notekislashtiradi.

Ekspluatatsiyaning 5–10 yili ichida ko‘pgina kanallarda ***n*=0.015–0.017** ga ko‘tariladi.[6] Bu oqim tezligi va o‘tkazuvchanlikni 8–15% ga kamaytiradi. Shu sababli, beton kanallarni loyihalashda boshlang‘ich n emas, balki **ekspluatatsion n** hisobga olinadi.

HDPE geomembrana — irrigatsiya kanallarining gidravlik samaradorligini keskin oshiruvchi zamonaviy geosintetik materialdir.[1,8] U polietilen asosida tayyorlanadi va yuqori elastiklik, silliq sirt, past qo‘polik hamda nolga yaqin filtratsiya bilan ajralib turadi. O‘zbekiston amaliyotida asosan **HDPE geomembrana** keng tarqalgan.

HDPE geomembrana qoplamalarda zichlik $\rho = 930-970\ \mathrm{kg/m^3}$, qalinligi 0.7–2.0 mm, sirt: juda silliq, suv o‘tkazuvchanlik: deyarli 0 va UV nurga chidamliligi juda yuqori.

HDPE geomembrana qoplamalarning cho‘zilish mustahkamligi 15–30 MPa va uzayish darajasi 500–900%. Egiluvchanligi yuqori va teshilishga chidamliligi 150–300 N/mm. Bu material kanal deformatsiyasiga moslasha oladi, shuning uchun yoriq hosil qilmaydi.



1-rasm. Geomembrana qoplamasi

Geomembrana sirtining silliq bo‘lishi oqim tezligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Odatda:

ISSN 3030-3907

- Geomembrana bilan qoplangan kanalning o‘tkazuvchanligi **15–25% ortadi [5]**
- Gelmint va suv o‘tlari sirtga yopishmaydi, sirtning g‘adir-budurligi o‘zgarmaydi
- Yillik ekspluatatsiyada sirt silliqligi saqlanib qoladi, n o‘zgarmaydi (betonda o‘zgaradi)

Geotekstil qoplamalar eroziyaga qarshi himoya sifatida qo‘llanadi. Geotekstil qoplamalar gidravlik jihatdan geomembrana va betondan farqli o‘laroq, suvni o‘tkazsada, kanal yoki qirg‘oqning yuvilishiga yo‘l qo‘ymaydi.[8]

Suv o‘tkazish xususiyati bilan geometrik barqarorlik o‘rtasida optimal muvozanat yaratiladi.

Geotekstil qoplamalarni cho‘zilishga chidamliligi 8–20 kN/m. Yirtilishga chidamliligi yuqori. Egilish qobiliyati juda yaxshi

Geotekstil to‘qima yoki to‘qilmagan shaklda bo‘lib, uning sirt tuzilishi g‘adir-budurligi yuqori, **Manning *n* = *0.018–0.025*. [5,8]** Bu geomembrana va beton bilan taqqoslaganda 2–2.5 baravar yuqoriligini ko‘ratadi. Bu qiymatlar quyidagi faktorlar bilan belgilanadi:

- Tola tuzilmasining notekisligi.
- Teshiklar (g‘ovaklar)ning o‘zaro tartibsiz joylashuvi.
- Tola uchlari oqimga qarshilik tug‘diradi.
- Oqim tarkibidagi qattiq zarralar to‘rga osongina yopishadi.

Natijada yo‘qotilishlar sezilarli bo‘lib, kichik kanallarda oqim tezligini 10–20% ga kamaytiradi.

Geotekstilning asosiy afzalligi — u **suvni o‘tkazadi**, lekin **grunt zarralarini ushlab qoladi**. Filtratsiya qobiliyati:

- Geotekstil orqali filtratsiya mavjud, lekin boshqariladigan
- G‘ovaklik 25–45%
- Suv o‘tkazuvchanlik koeffitsienti yuqori
- Zarralarning kanaldan yuvilib ketishiga to‘sqinlik qiladi

Quyida turli qoplama materiallarining asosiy gidravlik va iqtisodiy ko‘rsatkichlari keltirilgan (1-jadval).

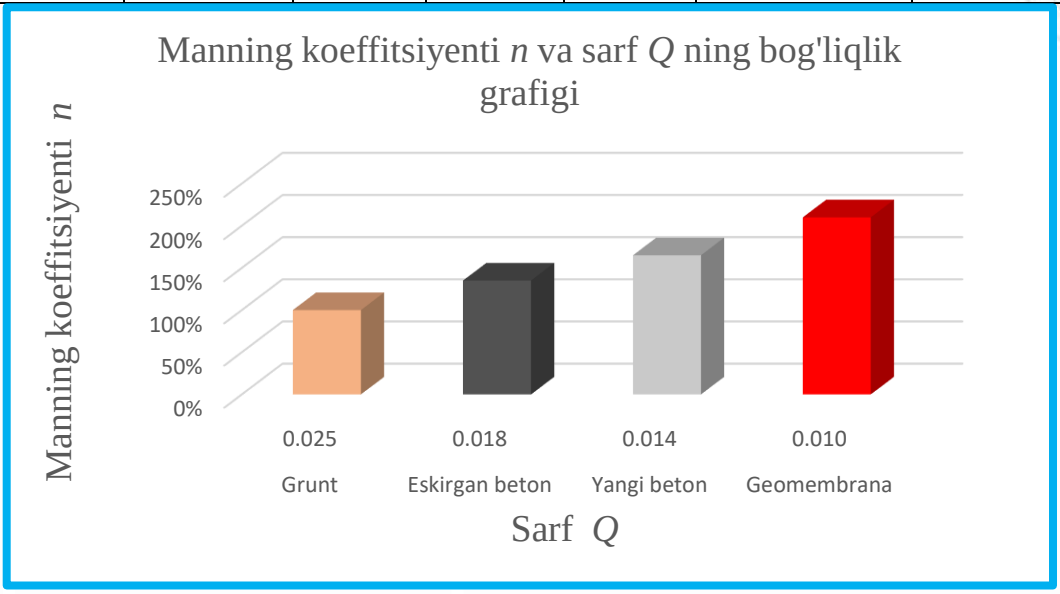
1-jadval

Turli qoplama materiallarining gidravlik va iqtisodiy ko‘rsatkichlari

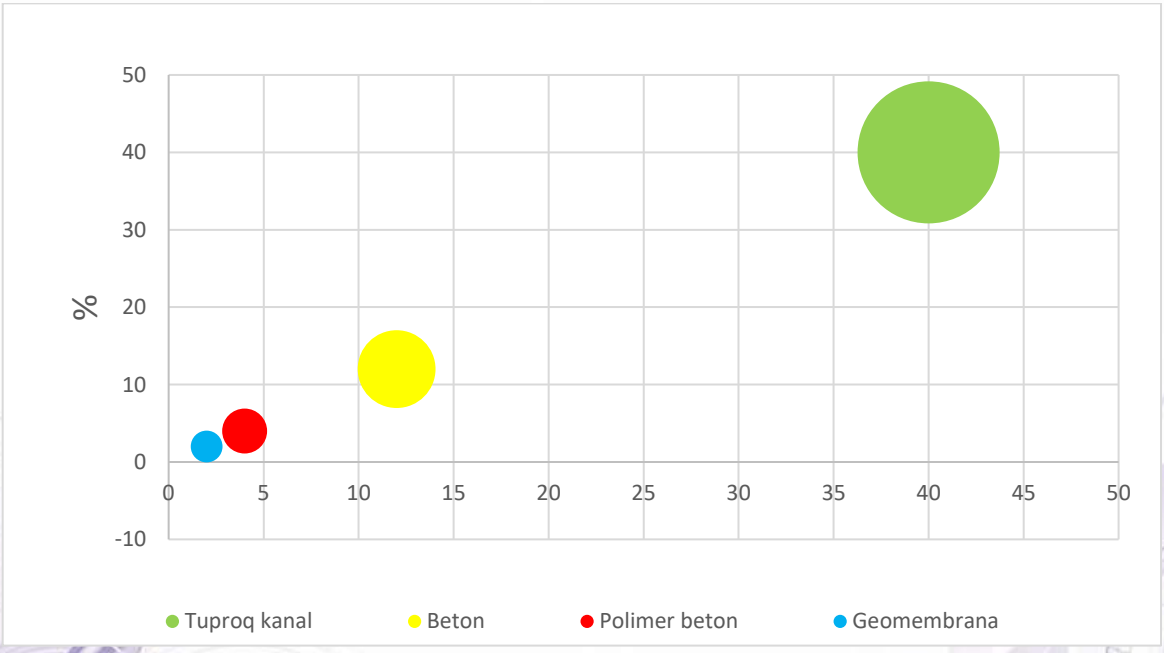
Material	Filtratsiya koeffitsienti	Manning n	Suv yo‘qotish (%)	Iqtisodiy bahosi	Afzalligi	Kamchiligi
Geomembrana	Juda past	0.010–0.013	5–10	O‘rtacha	Yuqori gidroizolyatsiya	Mexanik shikastlanish

ISSN 3030-3907

Beton	Past	0.013–0.017	10–20	Yuqori	Yuqori mustahkamlik	Qimmat
Bentonit	O‘rtacha	0.018–0.025	20–30	Past	Arzon	Barqaror emas
Asfalt	O‘rtacha	0.015–0.022	15–25	O‘rtacha	O‘rtacha samaradorlik	Deformatsiya
Tosh qoplama	Yuqori	0.025–0.035	30–40	Juda past	Arzon	Gidroizolyatsiya yo‘q



2-rasm. Manning koeffitsiyenti va sarf ning bog‘liqlik grafigi



3-rasm. Filtratsiya bo‘yicha taqqoslash grafigi

ISSN 3030-3907

Olingan natijalar turli materiallar o‘rtasida jiddiy farqlar mavjudligini ko‘rsatdi. Geomembrana qoplamalar eng past filtratsiya koeffitsientiga ega bo‘lib, deyarli to‘liq gidroizolyatsiyani ta’minlaydi. Bu holat suv yo‘qotishlarini minimallashtirishga olib keladi va kanalning gidravlik samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Shu bilan birga, uning yuzasi silliq bo‘lganligi sababli Manning koeffitsienti ham past bo‘lib, oqim tezligi yuqori bo‘ladi.

Beton qoplamalarda esa filtratsiya nisbatan past bo‘lishiga qaramasdan, vaqt o‘tishi bilan mikrodeformatsiyalar va yoriqlar paydo bo‘lishi natijasida suv sizib chiqish ehtimoli ortadi. Bu esa uning uzoq muddatli samaradorligini pasaytiradi. Shuningdek, beton qoplamalarning yuqori kapital xarajatlari ularni iqtisodiy jihatdan cheklaydi.

Qum-bentonit aralashmalari filtratsiyani kamaytirishda ma’lum samara bersa-da, ularning mexanik barqarorligi past va vaqt o‘tishi bilan degradatsiyaga uchraydi.[9] Asfalt qoplamalar esa o‘rtacha gidravlik xususiyatlarga ega bo‘lib, harorat ta’sirida deformatsiyalanish ehtimoli bilan cheklanadi.[10] Tosh qoplamalar esa asosan konstruktiv barqarorlikni ta’minlash uchun xizmat qilib, gidroizolyatsiya nuqtai nazaridan samarasiz hisoblanadi.

XULOSA. Tahlil natijalaridan kelib chiqib shuni xulosa qilish mumkinki, kanal qoplamasini tanlashda birgina gidravlik samaradorlikni emas, balki iqtisodiy va ekspluatatsion omillarni ham hisobga olish zarur. Geomembrana eng samarali gidroizolyatsiyani ta’minlasa-da, uning mexanik himoyaga muhtojligi uni mustaqil qoplama sifatida cheklaydi. Shu nuqtai nazardan kombinatsiyalangan qoplama tizimlari, ya’ni geomembrana va himoya qatlamlarining birgalikda qo‘llanilishi eng maqbul yechim sifatida namoyon bo‘ladi.

Bunday yondashuv nafaqat filtratsiyani minimallashtiradi, balki konstruktiv barqarorlikni ham ta’minlaydi. Shuningdek, hayotiy sikl xarajatlari tahlili shuni ko‘rsatadiki, boshlang‘ich xarajatlar yuqori bo‘lsa-da, uzoq muddatli istiqbolda bunday yechimlar iqtisodiy jihatdan ham samarali hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Han, X., et al. (2020). Hydraulic performance of geomembrane-lined irrigation canals. *Water*, 12(9), 2343. https://doi.org/10.3390/w12092343
2. Elkamhawy, E., et al. (2021). Numerical modeling of seepage losses in lined canals. *Water*, 13(21), 3135. https://doi.org/10.3390/w13213135
3. Singh, B. K. (2024). Effect of lining thickness on hydraulic efficiency of irrigation channels. *Journal of Offshore Structure and Technology*.
4. Rahimov, Q., et al. (2024). Beton qoplamalarning iqtisodiy samaradorligini baholash. *Texnika fanlari ilmiy jurnali*.

ISSN 3030-3907

5. Fatxulloev, J., & Gafarova, M. (2025). Hydraulic performance evaluation of canal lining materials. *Water Resources Management*.
6. O‘zbekiston Respublikasi Suv xo‘jaligi vazirligi normativ hujjatlari (2022). Sug‘orish kanallarini loyihalash va ekspluatatsiya qilish bo‘yicha texnik talablar. Toshkent.
7. Xudayberdiyev, A. (2018). Irrigation systems efficiency in arid regions of Uzbekistan. Toshkent: Fan nashriyoti.
8. Raxmatov, B. (2020). Geosynthetic materials in canal lining systems. Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash instituti ilmiy ishlari.
9. Karimov, Sh. (2016). Bentonite-based sealing materials for hydraulic structures. *Uzbek Journal of Engineering*.
10. Yo‘ldoshev, N. (2019). Thermal stability of asphalt linings in hydraulic canals. *Construction and Building Materials Research*.

ISSN 3030-3907

MAGISTRAL KANALLARDAGI SUZUVCHI MIKRO-GESLAR KASKADINI INTELLEKTUAL BOSHQARISH TIZIMLARI

Qosimov Oybek Abdumannon o‘g‘li
Andijan davlat texnika instituti
ORCID: https://orcid.org/0009-0006-5504-6980

Annotatsiya. Ushbu maqolada magistral kanallarda olinadigan suzuvchi mikro stansiyalar (mikro-GES) kassadagi intellektual boshqaruv tizimlariga asoslangan samarali muammolarni ko‘rib chiqishga asoslangan gidroelektr. Tadqiqotda suv o‘tkazish parametrlari, yuklama o‘zgarishlari va energetik samaradorlikni real rejimda nazorat qilish natijasida tahlil qilingan,avtomatlashtirilgan vositalar yordamida mikro-GESlarning optimal ish rejimini ta'minlash, energiya ishlab chiqarishni yaxshilash va suv resurslaridan tashish usullari yoritilgan. Intellektual boshqaruv algoritmlarini qo‘llash energiya yo‘qotishlarini o‘rnatish, ishonchliligini aniqlash va tuzatishni ta'minlash uchun asoslab berilgan. Magistr magistral kanallar resurslaridan qayta tiklanadigan energiya manbalarini rivojlantirishda muhim kasb etadi.

Kalit so‘zlar: suzuvchi mikro-GES, magistral kanal, gidroenergetika, intellektual boshqaruv tizimi, mikro gidroelektr, qayta tiklanadigan energiya manbalari, SCADA tizimi, IoT texnologiya, avtomatlashtirilgan boshqaruv, energiya ishlab chiqarish, sensor.

Abstract. This article is a study of the effective problems of intelligent control systems for floating micro-hydropower plants (micro-hydropower plants) in the main canals. The study analyzes the parameters of water transfer, load changes and energy efficiency in real-time monitoring, and discusses the methods of ensuring the optimal operation of micro-hydropower plants using automated means, improving energy production and transportation from water resources. The use of intelligent control algorithms is justified to establish, determine the reliability and ensure the correction of energy losses. The main canal plays an important role in the development of renewable energy sources from the resources of the main canals.

Keywords: floating micro-hydropower plants, main canal, hydropower, intelligent control system, micro-hydropower, renewable energy sources, SCADA system, IoT technology, automated control, energy production, sensor.

Аннотация. В данной статье рассматриваются эффективные проблемы интеллектуальных систем управления плавучими микрогидро-электростанциями (микрогидроэлектростанциями) в главных каналах. В исследовании анализируются параметры водоперекачки, изменения нагрузки и энергоэффективности в режиме реального времени, а также обсуждаются методы обеспечения оптимальной работы

ISSN 3030-3907

микрогидроэлектростанций с использованием автоматизированных средств, повышения выработки и транспортировки энергии из водных ресурсов. Обосновывается использование алгоритмов интеллектуального управления для установления, определения надежности и обеспечения коррекции потерь энергии. Главный канал играет важную роль в развитии возобновляемых источников энергии из ресурсов главных каналов.

Ключевые слова: плавучие микрогидроэлектростанции, главный канал, гидроэнергетика, интеллектуальная система управления, микрогидроэнергетика, возобновляемые источники энергии, система SCADA, технология IoT, автоматизированное управление, выработка энергии, датчик.

KIRISH.

Hozirgi kunda elektr energiyasiga bo‘lgan talabning ortib borishi va an'anaviy energiya resurslarining kamayishi tufayli qayta tiklanadigan energiya manbalaridan muhim etkazib berish masalaga aylandi. energiya, gidroenergetika ekologik toza va iqtisodiy samarali energiya manbai hisoblanadi. O‘zbekistonda mavjud magistral kanallar va sug‘orish tizimlari. Suzuvchi mikro-GESlar suv qurilmalarining kinetik energiyadan elektr energiya ishlab chiqarish kichik quvvatli quvvatidir. Ularning asosiy afzalligi, yoki irrig‘on gidrotexnikni qurishni talab qilmaydi. Qurilmalar kanalga maxsus ponton yoki platformalar yordamida o‘ foydalanish va suv texnik ta'sirida aylantiradi. Magistral kanallarda bitta mikro-GES o‘rniga bir nechta jihozni ket-ketlar orqali mikro-GESKadi tashkil etish.

Kaskad usulida ishlash suv ishlatishdan maksimal darajada ishlaydi. Har bir mikro-GES ma'lum quvvatni ishlab chiqarish va umumiy tizimning quvvati ortadi. Masalan, 5–10 kanal bo‘yicha mikro-GES qurilmasi o‘ylab bir nechta ulanishni elektr energiyasi bilan ta'minlash mumkin bo‘ladi. Shu bilan, kaskad tizimida barcha jihozning o‘zaro birgalikda tayyorlangan holda ishlashi lozim . Masalan, kanaldagi suv boshqaruvi kamayganda boshqaruv tizimi turbina tuzatishni moslashtirish yoki ayrim jihozlarni vaqtincha o‘chiradi.

Suv o‘rnatish ortganda esa qo‘shimcha generatorlar ishga tushiriladi. foydali tizimning foydali ish koeffitsienti oshadi va energiya ishlab chiqariladi. Bundan, tizimli avariyaviy vaziyatlarni yanada aniq qilib beradi. Xozirgi kunda IoT texnologiyalari, SCADA tizimlari va sun'iy intellekt algoritmlaridan energiya ishlab chiqarish keng ishlab chiqarilmoqda. Ush qurilmalari mikro-GESlarni masofadan boshqarish, real vaqt rejimida monitoring qilish va energiya ishlab chiqarish jarayonini optimallashtirish mumkin.

Ushbu maqolada magistral kanallarda suzuvchi mikro-GESlar kaskadining ishlash prinsipi, mijoz texnik ko‘rsatkichlari hamda intellektual boshqaruv usullari ishlab chiqarishni boshqarish usullari tahlil qiladi. , avtomatlashtirilgan

ISSN 3030-3907

boshqaruv algoritmlarining energiya ishlab chiqarish jarayoniga ta'siri va amaliy qo‘llash orqali ko‘rib chiqiladi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI VA USULLARI. Ushbu tadqiqotda magistral kanallarda suzuvchi mikro gidroelektr stansiyalar (mikro-GES) kaskadini intellektual boshqaruv tizimlari asosida samarali ishlab chiqarishni o‘rganish nazariy, analitik va amaliy tadqiqotlar usullaridan foydalanildi. tadqiqot dasturiy mikro-ESlarning ishlash prinsipi, suvning ishlashi energetik va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarining kompleks ravshan tahlil rejasi.

Tadqiqotning birinchi bosqichida magistral kanallarning gidravlik parametrlari o‘rganildi. Bunda suv foydalanishning ahamiyati, suv sarfi, suv sarfi, chuqurligi va ahamiyati kabi parametrlar tahlili. Mikro-GESlarning ishlashi bevosita suvga bog‘liq bo‘lganligi sababli ushbu ko‘rsatkichlarni muhim hisolandi.

$$P=\eta\rho\, g\, Q\, H \qquad (1)$$

Bu yerda:
P— mikro-GES quvvati
η- foydali ish koeffitsienti;
ρ— suv zichligi(1000 kg/m^3
g— erkin tushish tezlanishi(9.81)
Q— suv sarfi m^3/s
H— suv yoki katta farqi(m)

Suzuvchi mikro-GESlarning konstruktiv modeli sifatida suv qabul qilishda ishlovchi turbina, generator, ponton platforma va boshqaruv blokidan tashkil topgan tizim tanlandi. Tadqiqotda bir nechta mikro-GESlarni Intellektual boshqaruv yo‘riqnomasida sensor texnologiyalari va mikroprotsessorli boshqaruv qurilmalaridan foydalanilgan

Tadqiqotda mikro-GESlar ish rejimini optimallashtirish uchun avtomatik boshqaruv algoritmlari ishlab chiqildi. Bunda suv ishlatish kamayganda generator yuklamasini pasaytirish, suv sarfi ortganda esa qo‘shimcha qurilmalarni ishga tushirish algoritmlari qo‘llanildi. Tizimning avtomatik boshqaruv modeli PID regulyatori va adaptiv boshqaruvlari asosida tashkil etildi.

Generator ishlab chiqarayotgan elektr quvvatini hisoblashda elektr zaryad formulasi qo‘llanildi:

$$P=U\, I\cos\varphi \qquad (2)$$

Bu yerda:
P— faol quvvat;
U— kuchlanish;
I— tok kuchi;
cosφ— quvvat koeffitsienti.

ISSN 3030-3907

Tadqiqot mikro-GESlar yordamida monitoring qilish uchun SCADA va IoT texnologiyasidan ko‘rib chiqish ham o‘rganildi. SCADA tizimi yordamida barcha mikro-GES markazlashgan holda nazorat qilinib, tizim parametrlari kompyuter orqali kuzatildi. IoT texnologiyalari orqali sensor ma'lumotlarini masofadan uzatish va mobil vositalar yordamida monitoring qilish tahlil qilish.

Tadqiqotda mikro-GESlarning energiyani aniqlash uchun baholash va statistik tahlil usullaridan aniqlandi. Oddiy boshqaruv tizimi va intellektual boshqaruv tizimi asosida ishlovchi mikro-GESlar ko‘rsatkichlari o‘zaradi

TADQIQOT NATIJALARI. Tadqiqot magistral kanallarda suzuvchi mikro gidroelektr stansiyalar (mikro-GES) kaskadini Investitsiya ob'ektiga suv ajratishning o‘rtacha darajasi1.8–2.5 m/s bo‘lgan magistral kanal modeli tanlandi. Kanalning o‘rtachaligi 2–3 metrni, suv sarfi esa 4–6 m³/s ni tashkil qildi. Hisob-kitoblar aniqlanishicha, ushbu parametrlar mikro-GESlarning samarali foydalanish uchun yetarli bo‘ladi. Tadqiqotda har bir alohida generator va turbine tizimiga ega bo‘ladi. Micro-GESlarning namunaviy quvvati.

$$P=\eta\ \rho\ g\ Q\ H \qquad (3)$$

Hisoblash natijalariga ko‘ra:

-suv sarfi: Q=5 m^3/s

-Foydali ish koeffitsienti: η=0.78

Suv bosimi H=1.2 bar bo‘lganida mikro-GESning o‘rtacha quvvati 5–7 kVt oralig‘ida aniqlandi. Kaskad 6 ta mikro-GES o‘chirishda umumiy ishlab chiqarish quvvati 35–40 kVt gacha yetishi kuzatildi. Bu ko‘rsatkich kichik fermer xo‘jaliklari, nasos stansiyalari yoki qishloq elektr quvvatini elektr energiyasi bilan ta'minlash uchun yetarli

TAJRIBA NATIJALARI. Intellektual boshqaruv tizimi qo‘llanilganda esa tizimning ishlashi yuqori darajada yaxshilandi. Sensorlar yordamida suv sathi, suv tezligi turbina chastotasi, generator tezligi va tok parametrlari real vaqt rejimida nazorat. Olingan ma'lumotlar mikroprotsessorli boshqaruv blokida qayta ishlanib, tizimning optimal ish rejimi avtomatik ravishda ravshanlashdi.

-intellektual boshqaruv ishlash algoritmlari bosqichlarda amalga oshirildi:

-sensorlardan ma'lumotlarni yig‘ish;

-suv olish parametrlarini tahlil qilish;

-generator yuklamasini aniqlash;

-optimal rejalashtirishni aniqlash;

-turbina va generator ish rejimini avtomatik boshqarish;

-avariya holatlarini va himoya rejimini ishga tushirish.

-tajriba yordamga ko‘ra, intellektual boshqaruv tizimi qo‘llanganda:

-energiya ishlab chiqarish 12–18% ga oshdi;

-energiya yo‘qotishlari 10–14% ga qolmaydi;

ISSN 3030-3907

-generatorning qizib ketish joyi qolmaydi;
-bolaning yashashligi yaxshilandi;
-tizimning umumiy foydali ish koeffitsienti 0.78 dan 0.86 gacha oshdi.

Tajriba vaqtida generatori 220–380 V oralig‘ida saqlangani kuzatildi. Tok kuchining o‘ziga suv ulashga mos ravshan avtomatik boshqarildi. Quvvat koeffitsienti esa 0,85–0,92 oralig‘ida bo‘lib, tizimning elektr yuqori sifatli ko‘rinadi

SCADA tizimi yordamida barcha mikro-GES markazlashgan platforma orqali nazorat. Operator monitor yordamida parametrlarni saqlashga ega bo‘ldi:
-suv sathi;
-suv oqim tezligi;
-generator quvvati;
-tok va kuchlanish narxlari;
-turbina aylanish tezligi;
-avariya va nosozliklar.

IoT texnologiyalaridan tarmoq orqali internet orqali masofadan turib boshqarish yaratildi. Sensor ma'lumotlari bulutli serverga uzatildi va mobil qurilmalar orqali monitoring amalga oshirildi. Bu esa texnik xizmat ko‘rsatish vaqtini o‘zgartirib, ekspluatatsiya mahsulotlarini kamaytirdi.

Tadqiqot natijalari asosida mikro-GESlar kasadining iqtisodiy yo‘nalishi ham baholandi. Hisob-kitoblarga ko‘ra, bitta mikro-GES qurilmalarining o‘rnatish xarajati yirik gidroelektr stansiyalarga nisbatan ancha past bo‘lib, tizim 3–5 yil davomida o‘zini himoya qilishi aniqlandi. Bundan tashqari, tizimning ekspluatatsiya olishi kam bo‘lgani tufayli uzoq iqtisodiy samaradorlik yuqori bo‘lishi kuzatildi.

XULOSA.

Ushbu tadqiqot magistral kanallarda suzuvchi mikro gidroelektr stansiyalar (mikro-GES) kaskadini intellektual boshqaruv tizimlari asosida tashkil etish va boshqarish masalalari o‘rganildi. Tadqiqot magistral kanallardagi suv o‘tkazishning kinetik energiyadan samarali yo‘li bilan qo‘shimcha elektr energiyasini ishlab chiqarish quvvatini oshirish. Suzuvchi mikro-GESlar ekologik quvvat, iqtisodiy jihatdan samarali va kichik quvvatli qayta tiklanadigan energiya manbalaridan yuqori natijaga ega bo‘lgan aniqlandi.Tadqiqot jarayonida mikro-GESlar kaskadining ishlashi suv ustida ish olib borish, suv sarfi va generatoriga bevosita bog‘liq voqealar tahlili. Oddiy boshqaruv tizimlarida suv ishlatishning o‘z energiyasini ishlab chiqarish quvvatiga ta'sir ko‘rsatishi kuzatildi. Intellektual boshqaruv tizimlarini qo‘llash orqali asosiy tizim parametrlarini real vaqt rejimida nazorat qilish, generatorning optimal ish rejimini va energiya ishlab chiqarishni nazorat qilish yaratildi.Sensorlar, mikroprotsessorli boshqaruv qurilmalari,

ISSN 3030-3907

SCADA hamda IoT texnologiyalaridan ishlab chiqarish mikro-GESlar avtomatlashtirilgan holda va masofadan monitoring qilish asboblari yaratildi. Bu esa tizimning ishonchliligini oshirib, avariyaviy holatlarning olish imkonini berdi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Allayev KR Energetika tizimlari va tarmoqlari. – Toshkent: O‘qituvchi, 2019. – 356 b.
2. Axmedov R.H., Karimov JU Qayta tiklanuvchi energiya manbalari. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2021. – 284 b.
3. Aripov N. M. Kichik gidroelektr stansiyalar va ishlov berish prinsiplari. – Toshkent: Energiya, 2020. – 198 b.
4. Boymatov S.T. Gidroenergetik jihozlarni avtomatlashtirish asoslari. – Samarqand: Zarafshon, 2018. – 240 b.
5. Bazarov DR, Tursunov XA “Mikro-GESlarda energiyani yo‘qotish usullari” // *Energetika va resurs te resurs.*. – Toshkent, 2022. – No 3. – B. 45–52.
6. Singh P., Nestmann F. Mikro-gidroenergetika tizimlarining samaradorligini eksperimental tadqiq qilish. – *Qayta tiklanadigan energiya jurnali* , 2011. – 36-jild. – 297–305-betlar.
7. Paish O. Kichik gidroenergetika: Texnologiya va hozirgi holat. – *Qayta tiklanadigan va barqaror energiya sharhlari* , 2002. – 6-jild. – 537–5-betlar.
8. Ahmad A., Rahmon M. Qayta tiklanadigan energiya qo‘llanmalari uchun aqlli boshqaruv tizimlari. – London: Springer, 2019. – 312 b.
9. SCADA tizimlari bo‘yicha texnik qo‘llanma. – Toshkent axborot texnologiyalari universiteti nashri, 2021. – 176 b.
10. O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi ma'lumotlari asosida qayta tiklanadigan energiya manbalari statistik tahlili. – Toshkent, 2024 yil.
11. Kothari DP, Singal KC Qayta tiklanadigan energiya manbalari va rivojlanayotgan texnologiyalar. – Yangi Dehli: PHI Learning, 2018. – 412 b.
12. IoT asosida energetik monitoring tizimlari bo‘yicha ilmiy maqolalar to‘plami. – Toshkent, 2023 yil.

ISSN 3030-3907

ANALYZING THE DIGITAL ECONOMY INFRASTRUCTURE OF UZBEKISTAN IN THE CONTEXT OF GLOBAL PROCESSES

Usmanova Nasiba Yunusovna
Senior lecturer of the "Economics and Management" department of the Bukhara Engineering-Technology Institute

Abstract. This paper evaluates the current state and development trajectory of Uzbekistan's digital economy infrastructure amid the rapidly evolving global digital transformation. Emphasis is placed on the institutional, technological, and human capital dimensions of the country's digital readiness, while highlighting the influence of global economic integration, cybersecurity risks, and digital sovereignty concerns. Through analysis of statistical data, national programs, and international benchmarks, the article identifies strengths, bottlenecks, and future priorities in Uzbekistan's transition to a sustainable and inclusive digital economy.

Keywords: Uzbekistan, digital infrastructure, digital economy, global integration, e-governance, ICT.

Annotatsiya. Ushbu maqolada jadal rivojlanayotgan global raqamli transformatsiya sharoitida O‘zbekiston raqamli iqtisodiyoti infratuzilmasining hozirgi holati va rivojlanish trayektoriyasi baholanadi. Tadqiqotda mamlakatning raqamli tayyorgarligi institutsional, texnologik va inson kapitali omillari asosida tahlil qilinadi. Global iqtisodiy integratsiya, kiberxavfsizlik xatarlari va raqamli suverenitet masalalarining ta’siri alohida yoritiladi. Statistik ma’lumotlar, milliy dasturlar va xalqaro mezonlar tahlili orqali O‘zbekistonning barqaror hamda inklyuziv raqamli iqtisodiyotga o‘tish jarayonidagi ustun jihatlari, mavjud cheklovlari va istiqboldagi ustuvor yo‘nalishlari aniqlanadi.

Kalit so‘zlar: O‘zbekiston, raqamli infratuzilma, raqamli iqtisodiyot, global integratsiya, elektron boshqaruv, AKT.

Аннотация. В данной статье оцениваются современное состояние и траектория развития инфраструктуры цифровой экономики Узбекистана в условиях стремительно развивающейся глобальной цифровой трансформации. Основное внимание уделяется институциональным, технологическим и кадровым аспектам цифровой готовности страны. Отдельно рассматривается влияние глобальной экономической интеграции, рисков кибербезопасности и вопросов цифрового суверенитета. На основе анализа статистических данных, национальных программ и международных индикаторов выявляются сильные стороны, существующие ограничения и перспективные приоритеты перехода Узбекистана к устойчивой и инклюзивной цифровой экономике.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: Узбекистан, цифровая инфраструктура, цифровая экономика, глобальная интеграция, электронное управление, ИКТ.

INTRODUCTION.

In the 21st century, the digital economy has become a decisive factor in determining the competitiveness and resilience of nations. For developing countries like Uzbekistan, building robust digital infrastructure is not only a technological endeavor but a strategic imperative in an increasingly interconnected world. With digitalization permeating every sector—from finance and manufacturing to health and education—governments must align their internal infrastructure with global trends while addressing domestic challenges such as the digital divide, policy lag, and institutional inertia.

Uzbekistan has undertaken significant reforms to digitalize public services, expand internet coverage, and stimulate ICT-based entrepreneurship. Nevertheless, the path toward a fully functional digital economy requires comprehensive evaluation, especially in light of accelerating global processes like cloud migration, data localization debates, and the platformization of commerce and labor.

MATERIALS AND METHODS.

Uzbekistan's digital economy is underpinned by several pillars: internet connectivity, ICT legislation, digital literacy, public-private innovation, and e-government services. According to 2023 data from the Ministry for Development of Information Technologies and Communications (MITC), the number of internet users in Uzbekistan surpassed 27 million, with over 75% internet penetration [2]. Mobile broadband coverage has improved significantly due to 4G expansion, and pilot projects for 5G deployment have commenced in urban areas like Tashkent and Samarkand.

RESULTS AND DISCUSSION.

A critical determinant of digital economy success is the level of ICT literacy and education. Uzbekistan has made strides in integrating computer science into school curricula and has opened specialized institutions like the Inha University in Tashkent and the IT Park Uzbekistan. By 2024, over 50,000 youth have completed state-supported digital skills training programs [1].

Despite this progress, challenges remain. A gap persists between theoretical knowledge and industry practice, particularly in areas such as artificial intelligence, cybersecurity, and blockchain technologies. English language proficiency, a prerequisite for global ICT engagement, remains limited outside major cities.

The ICT sector contributes around 2.2% to Uzbekistan's GDP as of 2023. IT Park Uzbekistan, with over 1,200 resident companies and multiple regional

ISSN 3030-3907

branches, has become the core hub for tech startups and foreign IT outsourcing. Tax incentives, venture capital development, and international partnerships (e.g., with Japan, South Korea, and India) are promoting innovation [3].

However, Uzbekistan faces stiff regional competition from Kazakhstan, Georgia, and Azerbaijan in attracting global tech firms. A key bottleneck is limited integration with global digital platforms, partly due to infrastructural constraints and regulatory ambiguity.

Global digital trends—such as the rise of the gig economy, AI automation, and cross-border data flows—have reshaped expectations for digital infrastructure. Uzbekistan's engagement with international organizations like the ITU, the World Bank, and UNDP has helped secure technical expertise and funding for large-scale digitalization.

Still, geopolitical tensions (e.g., internet sovereignty vs. open web access) and foreign tech dependencies (e.g., reliance on imported software/hardware) expose structural vulnerabilities. These factors highlight the importance of developing digital sovereignty through local innovation, open-source adaptation, and cloud infrastructure resilience.

In assessing Uzbekistan's digital economy infrastructure, one cannot overlook its environmental impact—a concern that is increasingly relevant in global digital governance discussions. The proliferation of data centers, fiber-optic networks, and ICT hardware inevitably raises questions about energy consumption, e-waste management, and the carbon footprint of digital expansion [4].

Currently, Uzbekistan is taking steps toward greening its ICT sector. The Ministry of Ecology, Environmental Protection, and Climate Change has collaborated with digital stakeholders to promote energy-efficient hardware and environmentally friendly disposal protocols. Nevertheless, data centers in the country often rely on conventional energy sources, and there is limited integration of renewable energy into the digital infrastructure.

To align with global standards such as the UN Sustainable Development Goals (SDG 9 and SDG 13), Uzbekistan must invest in green ICT infrastructure, such as solar-powered data farms, low-energy server systems, and e-waste recycling programs. Partnerships with countries experienced in green digitalization (e.g., Germany, Finland) could accelerate these transitions.

While digital transformation brings immense economic opportunity, it also risks deepening social inequality if access to infrastructure and training is not equitably distributed. In Uzbekistan, gender disparity in the ICT workforce remains a concern. Although women constitute over 48% of the total university

ISSN 3030-3907

population, their representation in tech-related programs and startups is significantly lower [5].

Government programs such as “Girls in ICT” and vocational training scholarships for rural girls have begun to address this gap, but long-term change requires more systemic efforts [7]:

- Inclusion of female tech mentors in education
- Flexible work policies for women in tech
- Gender-sensitive design of e-services and platforms

Moreover, digital inclusivity must account for persons with disabilities, ethnic minorities, and older populations, who often face structural barriers in accessing digital tools and platforms. Creating accessible e-government services, promoting content in multiple languages, and integrating assistive technologies are critical for ensuring that digital development is not only expansive, but also inclusive.

Uzbekistan’s digital infrastructure shows strong growth in urban centers, yet rural and remote areas still lag behind. According to 2023 estimates, approximately 28% of rural households lack stable broadband access. This creates a dual-speed economy, where urban populations benefit from digital services (e-commerce, telemedicine, digital banking), while rural communities remain largely disconnected.

Bridging this gap is essential not only for national economic integration but also for social cohesion. The government has begun deploying Universal Service Funds (USF) to finance rural broadband projects, and low-orbit satellite solutions (e.g., Starlink trials) are being considered to enhance connectivity in mountainous and desert regions [8].

CONCLUSION.

Uzbekistan stands at a pivotal point in its digital evolution. Considerable achievements have been made in expanding internet access, building human capital, and launching digital public services. However, a full transition to a modern digital economy necessitates sustained investment in rural connectivity, digital governance, cybersecurity readiness, and ICT talent pipelines.

In the context of global processes—such as data globalization, artificial intelligence, and cross-border e-commerce—Uzbekistan must accelerate its policy reforms, nurture local tech ecosystems, and forge deeper digital trade alliances. A forward-looking, inclusive, and resilient digital infrastructure will ensure that Uzbekistan is not merely a passive participant but an active contributor in the global digital future.

ISSN 3030-3907

REFERENCES

1. Ministry for Development of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan. (2020). Digital Uzbekistan 2030 Strategy. Tashkent.
2. Presidential Decree of the Republic of Uzbekistan No. PQ-412 (2023, July 17). On the approval of the Strategy for the Development of the Digital Economy for 2023–2025.
3. United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). (2023). Digital Economy Report 2023: Cross-border Data Flows and Development. Geneva: United Nations.
4. World Bank. (2021). Uzbekistan Digital Economy Country Assessment. Washington, D.C.: World Bank Group. Retrieved from: https://www.worldbank.org
5. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2020). Measuring the Digital Transformation: A Roadmap for the Future. Paris: OECD Publishing.
6. International Telecommunication Union (ITU). (2023). Measuring Digital Development: Facts and Figures 2023. Geneva: ITU. Retrieved from: https://www.itu.int
7. Asian Development Bank (ADB). (2022). Digital Uzbekistan: Accelerating Digital Government and Economy. Report No. 54219-001. Manila: ADB.
8. European Commission. (2023). Digital Economy and Society Index (DESI) 2023. Brussels. Retrieved from: https://digital-strategy.ec.europa.eu

ISSN 3030-3907

GIDROFOB BETON MATERIALLARINING OLINISH TEXNOLOGIYASI

Imamov Suxrob Solexovich
Buxoro davlat texnika universiteti tayanch doktoranti
Ilhomov Javohir In'omjonovich
Buxoro davlat texnika universiteti talabasi

Annotatsiya. Mazkur maqolada gidrofob beton materiallarining olinishi, ularning tarkibi, sement gidratatsiyasi jarayonlari hamda gidrofob qo'shimchalarning betonning fizik-mexanik xossalariga ta'siri tahlil qilingan. Beton tarkibiga kremniyorganik moddalar, gidrofobizatorlar va mineral qo'shimchalar kiritish orqali suv shimuvchanlikni kamaytirish, sovuqqa chidamlilikni oshirish hamda uzoq muddatli mustahkamlikni yaxshilash imkoniyatlari o'rganildi. Shuningdek, sement klinkerining mineral tarkibi va gidratatsiya jarayonining beton qotishiga ta'siri yoritilgan. Tadqiqot natijalari gidrofob betonlarning gidrotexnika inshootlari, transport qurilishi va nam muhitda ishlatiladigan konstruksiyalar uchun samarali material ekanligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: gidrofob beton, sement gidratatsiyasi, suv shimuvchanlik, gidrofobizator, beton mustahkamligi, klinker, mineral qo'shimcha.

Аннотация. В статье рассмотрены технологии получения гидрофобных бетонных материалов, процессы гидратации цемента и влияние гидрофобных добавок на физико-механические свойства бетона. Исследованы возможности снижения водопоглощения, повышения морозостойкости и долговечности бетона за счёт введения кремнийорганических соединений и минеральных добавок. Освещены процессы формирования структуры цементного камня и роль минералогического состава клинкера. Показано, что гидрофобные бетоны являются эффективными материалами для гидротехнических сооружений и конструкций, эксплуатируемых во влажной среде.

Ключевые слова: гидрофобный бетон, гидратация цемента, водопоглощение, гидрофобизатор, прочность бетона, клинкер, минеральные добавки.

Abstract. This article discusses the technology of producing hydrophobic concrete materials, cement hydration processes, and the influence of hydrophobic additives on the physical and mechanical properties of concrete. The possibilities of reducing water absorption, increasing frost resistance, and improving durability through the use of organosilicon compounds and mineral additives were investigated. The role of clinker mineral composition and hydration mechanisms in concrete hardening is also described. The obtained results show that

hydrophobic concrete materials are highly effective for hydraulic structures and constructions operating in humid environments.

Keywords: hydrophobic concrete, cement hydration, water absorption, hydrophobic additive, concrete strength, clinker, mineral additive.

KIRISH.

Qurilish sanoati rivojlanib borayotgan hozirgi davrda bino va inshootlarning mustahkamligi hamda uzoq muddat xizmat qilishi asosiy talablardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, namlik yuqori bo‘lgan hududlarda qurilgan konstruksiyalarda suv ta’sirida emirilish, armaturalarning zanglashi va betonning ichki tuzilishida yoriqlar hosil bo‘lishi kabi muammolar tez-tez uchraydi. Shu sababli suv ta’siriga chidamli qurilish materiallarini yaratish muhim ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etmoqda. Bunday materiallar ichida gidrofob beton alohida o‘rin egallaydi.

Gidrofob beton oddiy betonga nisbatan suvni kam singdirishi bilan ajralib turadi. Uning tarkibiga maxsus gidrofob qo‘shimchalar kiritilishi natijasida betonning kapillyar g‘ovaklari kamayadi va suvning ichki qatlamlarga kirib borishi cheklanadi. Natijada betonning xizmat muddati uzayadi, sovuqqa chidamliligi ortadi hamda agressiv muhitlarga bardoshliligi yaxshilanadi. So‘nggi yillarda gidrofob betonlardan gidrotexnika inshootlari, ko‘priklar, yo‘l qoplamalari, er osti qurilmalari va sanoat obyektlari qurilishida keng foydalanilmoqda.

Betonning gidrofob xususiyatlarini oshirish uchun turli kimyoviy modifikatorlar va polimer qo‘shimchalardan foydalaniladi. Ular sement zarralari bilan o‘zaro ta’sirlashib, beton tarkibida suvni qaytaruvchi himoya qatlam hosil qiladi. Shu orqali betonning suv shimuvchanligi keskin kamayadi va mexanik xossalari yaxshilanadi. Zamonaviy qurilish texnologiyalarida bunday betonlarning qo‘llanilishi iqtisodiy samaradorlikni oshirish bilan birga, inshootlarning ishonchliligini ham ta’minlaydi.

Quyidagi rasmda suv ta’siriga uchragan oddiy beton va gidrofob betonning tuzilishidagi farqlar ko‘rsatilgan.

ASOSIY QISM. Beton qurilishda eng ko‘p ishlatiladigan sun’iy tosh material hisoblanadi. U sement, suv, qum va shag‘alning ma’lum nisbatda aralashtirilishi natijasida hosil qilinadi. Oddiy betonning asosiy kamchiligi uning kapillyar-g‘ovak tuzilishga ega ekanligidir. Aynan shu g‘ovaklar orqali suv beton ichiga kiradi va vaqt o‘tishi bilan konstruksiyaning emirilishiga olib keladi. Namlikning beton ichiga kirishi qishda muzlash-erish jarayonlarini kuchaytiradi, natijada ichki bosim ortib, mikro yoriqlar paydo bo‘ladi. Bu holat betonning mustahkamligini pasaytiradi.

ISSN 3030-3907

Gidrofob beton olish texnologiyasida asosiy e’tibor betonning suv o‘tkazuvchanligini kamaytirishga qaratiladi. Buning uchun beton tarkibiga maxsus gidrofoblashtiruvchi moddalar qo‘shiladi. Ushbu moddalar sement zarralari atrofida yupqa himoya qatlam hosil qilib, kapillyar kanallarni yopadi. Natijada suv beton ichiga chuqur kirib bora olmaydi. Gidrofobizator sifatida ko‘pincha suyuq shisha, kremniyorganik birikmalar, stearatlar, siloksan emulsiyalari va turli polimer qo‘shimchalardan foydalaniladi.

Gidrofob beton ishlab chiqarish jarayoni xomashyolarni tayyorlashdan boshlanadi. Dastlab sementning faolligi, qumning tarkibi va shag‘alning mustahkamligi laboratoriya sharoitida tekshiriladi. Beton tarkibida ishlatiladigan suv tarkibida zararli tuzlar va organik aralashmalar bo‘lmasligi kerak. Chunki bunday moddalar sementning normal qotishiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Gidrofob qo‘shimchalar esa ma’lum konsentratsiyada eritma holatiga keltirilib, beton qorishmasiga qo‘shiladi.

Beton qorishmasini tayyorlash jarayonida avvalo quruq komponentlar aralashtiriladi. Shundan keyin suv va gidrofob qo‘shimcha qo‘shiladi. Aralashtirish davomida barcha komponentlarning bir tekis taqsimlanishi muhim hisoblanadi. Agar qo‘shimcha beton tarkibida bir xil taqsimlanmasa, tayyor mahsulotning sifat ko‘rsatkichlari pasayadi. Tayyorlangan qorishma maxsus qoliplarga joylashtirilib, vibratsion usulda zichlanadi. Vibratsiya natijasida beton tarkibidagi ortiqcha havo chiqarib yuboriladi va materialning zichligi oshadi.

Quyidagi rasmda gidrofob beton tayyorlash jarayonidagi texnologik uskunalar tasvirlangan.



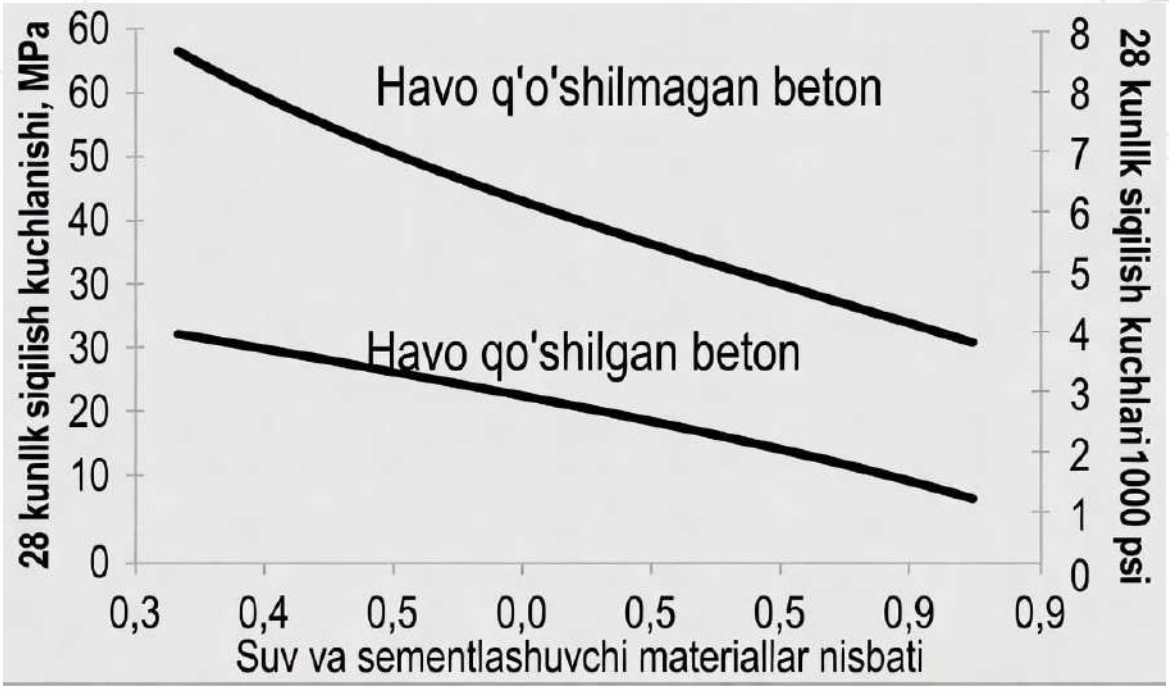
1-rasm. Gidrofob betonning mikrostrukturasi va suvni qaytarish mexanizmi

Gidrofob betonning fizik-mexanik xususiyatlari oddiy betonga nisbatan ancha yuqori bo‘ladi. Tadqiqotlar natijalariga ko‘ra, gidrofob qo‘shimchalar qo‘shilgan betonning suv shimuvchanligi bir necha barobar kamayadi. Oddiy

ISSN 3030-3907

betonlarda suv shimuvchanligi o‘rtacha 4–8 foizni tashkil etsa, gidrofob betonlarda bu ko‘rsatkich 1–2 foiz atrofida bo‘ladi. Suvning kam singishi betonning sovuqqa chidamliligini oshiradi va uning xizmat muddatini uzaytiradi.

Bundan tashqari, gidrofob qo‘shimchalar betonning siqilishdagi mustahkamligiga ham ijobiy ta’sir ko‘rsatadi. Beton tarkibidagi g‘ovaklarning kamayishi natijasida material zichlashadi va tashqi yuklamalarga bardosh berish qobiliyati ortadi. Ayniqsa, gidrotexnika inshootlari va ko‘priklarda ishlatiladigan betonlarda bunday xususiyatlar juda muhim hisoblanadi.



2-rasm. Betonning 28 kunlik siqilishda mustahkamligi suv-sement nisbati bilan bog‘liqligi

1-jadval

Quyidagi jadvalda oddiy beton va gidrofob betonning ayrim xossalari taqqoslangan.

Ko‘rsatkich	Oddiy beton	Gidrofob beton
Suv shimuvchanligi	4–8 %	0.5–2 %
Siqilish mustahkamligi	25–30 MPa	35–45 MPa
Sovuqqa chidamliligi	O‘rtacha	Yuqori
Xizmat muddati	30–40 yil	50 yildan ortiq

Gidrofob betonlar amaliyotda juda keng qo‘llaniladi. Suv omborlari, kanallar, tunnel va metro qurilishida betonning namlikka chidamliligi asosiy talab hisoblanadi. Bundan tashqari, avtomobil yo‘llari va aerodrom qoplamalarida ham gidrofob betonlardan foydalanish samarali natija beradi. Chunki bunday qoplamalar atmosfera yog‘inlari ta’sirida kam emiriladi va uzoq muddat xizmat qiladi.

ISSN 3030-3907

2-jadval

Material	Miqdori (kg)	Izoh
Sement	350-400	Portlend CEM I
Qum	650-750	Fraktsiya 0-5 mm
Shag‘al	1100-1200	Fraktsiya 5-20 mm
Suv	140-180	W/C = 0,45
Gidrofob qo‘shimcha	3,0	Suyuq shisha, Pva, Akril emulsiyasi (sementga nisbatan %)

Bir kubometr gidrofob beton tayyorlash uchun asosiy materiallarning miqdori va tavsiflari quyidagilardan iborat. Sementning miqdori odatda 350–400 kg oralig‘ida olinadi. Portlend tsementining CEM I turi ishlatiladi, chunki u yuqori mustahkamlik va yaxshi gidrofob qo‘shimchalar bilan moslikni ta’minlaydi.

To‘ldirgichlar sifatida qum (fraktsiyasi 0–5 mm) 650–750 kg miqdorda va shag‘al (fraktsiyasi 5–20 mm) 1100–1200 kg miqdorda qo‘shiladi. Ushbu agregatlarning toza va sifatli bo‘lishi betonning mustahkamligi va chidamliligini ta’minlashda muhim ahamiyatga ega.

Suv miqdori 140–180 kg oralig‘ida tanlanadi. Suv-sement nisbati (W/C) 0,45 darajasida saqlanishi tavsiya etiladi. Bu nisbat betonning ishchanligini saqlab, bir vaqtning o‘zida yuqori mustahkamlikka erishish imkonini beradi.

Gidrofob qo‘shimcha sement massasiga nisbatan 3,0 % miqdorda qo‘shiladi. Eng samarali variantlardan biri — Suyuq shisha, Pva va akril emulsiyasi hisoblanadi. Ushbu qo‘shimcha beton massasining ichki kapillyar tuzilishida gidrofob plyonka hosil qilib, suvning kirib kelishini sezilarli darajada kamaytiradi.

Ushbu tarkib M400 markali gidrofob beton olish uchun optimal hisoblanadi. Amalda materiallarning aniq miqdori laboratoriya sinovlari asosida aniqlashtirilishi va loyihaning talablariga mos ravishda tuzatilishi mumkin.

Bugungi kunda ekologik xavfsiz va iqtisodiy jihatdan samarali gidrofobizatorlarni yaratish bo‘yicha ko‘plab ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ayniqsa, mahalliy xomashyolar asosida ishlab chiqarilgan modifikatorlardan foydalanish beton tannarxini kamaytirishga imkon beradi. Shu bilan birga, zamonaviy nanotexnologiyalar asosida ishlab chiqarilayotgan gidrofob qo‘shimchalar betonning mikrostrukturasi va chidamliligini yanada yaxshilamoqda.

Quyidagi rasmda gidrofob beton qo‘llanilgan zamonaviy inshootlar ko‘rsatilgan.

ISSN 3030-3907

XULOSA. Gidrofob beton materiallari zamonaviy qurilish sanoatida muhim ahamiyatga ega bo‘lgan istiqbolli materiallardan biri hisoblanadi. Ularning asosiy afzalligi suvni kam singdirishi va tashqi muhit ta’siriga yuqori darajada chidamliligidadir. Maxsus gidrofob qo‘shimchalardan foydalanish betonning zichligini oshiradi, kapillyar g‘ovaklarini kamaytiradi va natijada materialning mexanik hamda ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilaydi.

O‘tkazilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, gidrofob betonlardan foydalanish qurilish konstruksiyalarining xizmat muddatini sezilarli darajada uzaytiradi. Ayniqsa, namlik yuqori bo‘lgan hududlarda, gidrotexnika inshootlarida va er osti qurilmalarida bunday betonlarning qo‘llanilishi katta iqtisodiy samaradorlik beradi. Shu sababli kelgusida yangi avlod gidrofobizatorlarini yaratish va mahalliy xomashyolar asosida samarali texnologiyalarni ishlab chiqish qurilish materiallari sanoatining dolzarb yo‘nalishlaridan biri bo‘lib qoladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Axmedov K.S. Qurilish materiallari. – Toshkent: O‘qituvchi, 2019.
2. Mirzayev Sh.R. Beton va temirbeton texnologiyasi. – Toshkent, 2021.
3. Neville A.M. Properties of Concrete. – London: Pearson Education, 2018.
4. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties and Materials. – McGraw-Hill, 2017.
5. Taylor H.F.W. Cement Chemistry. – Thomas Telford Publishing, 1997.
6. Kosmatka S.H. Design and Control of Concrete Mixtures. – Portland Cement Association, 2016.
7. Кудратов Т.А. Цемент технологияси асослари. – Тошкент, 2020.
8. Ramachandran V.S. Concrete Admixtures Handbook. – Noyes Publications, 2015.
9. Siddique R. Special Structural Concretes. – Woodhead Publishing, 2017.
10. Gorchakov G.I. Строительные материалы. – Москва: Стройиздат, 2012.
11. Zhao Y., et al. Study of superhydrophobic concrete with integral hydrophobic modification // Construction and Building Materials. – 2023. – № 378. – P. 131–142.
12. Al-Kheetan M.J., Rahman M.M., Chamberlain D.A. Development of hydrophobic concrete by adding dual-crystalline admixture // Structural Concrete. – 2018. – Vol. 19. – № 5. – P. 1504–1511.
13. Макридин Н.И., Калашников В.И. Технология бетона, строительных изделий и конструкций. – Пенза: ПГУАС, 2014.
14. Гидрофобный цемент и бетон: свойства и технология применения. – СПб.: Ударник, 2021.
15. GOST 12730.5-84. Betonlar. Suv o‘tkazmasligini aniqlash usullari.

ISSN 3030-3907

16. F.F.Raximov.; V.N.Axmedov -Gidrofob qurilish materiallarining olinish texnologiyasi//O‘zbekiston kompozitsion materiallar ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali №3 2020 82-88 b

ISSN 3030-3907

TA’LIM JARAYONIDA DATA ANALYTICS VA MACHINE LEARNING TEXNOLOGIYALARI ASOSIDA O‘QUVCHILAR AKADEMIK NATIJALARINI PROGNOZLASH MODELI

Gulmuradova Lolaxon Shavkatovna
Osiyo Xalqaro Universiteti magistri

Annotatsiya. Mazkur maqolada ta’lim jarayonida Data Analytics va Machine Learning texnologiyalaridan foydalanish orqali o‘quvchilarning akademik natijalarini prognozlash modeli ishlab chiqish masalalari yoritilgan. Zamonaviy raqamli ta’lim muhiti katta hajmdagi ma’lumotlarni shakllantirayotgani sababli, ushbu ma’lumotlarni tahlil qilish va ulardan samarali foydalanish pedagogik faoliyatning muhim yo‘nalishiga aylanmoqda. Tadqiqotda o‘quvchilarning davomati, fanlarni o‘zlashtirish darajasi, test natijalari, topshiriqlarni bajarish faolligi, elektron platformalardagi ishtiroki hamda ijtimoiy-psixologik omillari asosida akademik muvaffaqiyatni oldindan aniqlash imkoniyatlari ko‘rib chiqiladi. Shuningdek, regression, decision tree, random forest, support vector machine va neural network kabi Machine Learning algoritmlarining ta’lim sohasidagi amaliy ahamiyati tahlil etiladi. Tadqiqot davomida ma’lumotlarni yig‘ish, tozalash, klassifikatsiya qilish, modelni o‘qitish va natijalarni baholash bosqichlari ilmiy-uslubiy jihatdan asoslab berilgan. Akademik natijalarni prognozlash modeli o‘quvchilarning bilim darajasidagi pasayish xavfini erta aniqlash, individual yondashuvni shakllantirish hamda ta’lim sifatini oshirishda muhim vosita bo‘lib xizmat qilishi ta’kidlangan. Shu bilan birga, sun’iy intellekt texnologiyalarining ta’lim tizimiga integratsiyasi adaptiv ta’lim muhitini yaratish, o‘quv jarayonini avtomatlashtirish va pedagogik qarorlar qabul qilish samaradorligini oshirishga yordam berishi ilmiy jihatdan asoslangan. Tadqiqot natijalari kelajakda raqamli pedagogika, aqlli ta’lim tizimlari va predictive analytics texnologiyalarini rivojlantirish uchun muhim metodologik asos bo‘lib xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: Data Analytics, Machine Learning, sun’iy intellekt, akademik natijalar, prognozlash modeli, raqamli ta’lim, predictive analytics, ta’lim texnologiyalari, neyron tarmoqlar, o‘quvchilar faoliyati.

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы разработки модели прогнозирования академических результатов обучающихся на основе технологий Data Analytics и Machine Learning в образовательном процессе. В условиях цифровизации образования формируется большой объём данных, анализ которых становится важным направлением современной педагогики и образовательного менеджмента. В исследовании изучаются возможности прогнозирования успеваемости учащихся на основе показателей посещаемости, уровня освоения учебных дисциплин,

ISSN 3030-3907

результатов тестирования, активности выполнения заданий, участия в электронных образовательных платформах, а также социально-психологических факторов. Особое внимание уделяется применению алгоритмов Machine Learning, включая regression, decision tree, random forest, support vector machine и neural network, которые позволяют повысить точность прогнозирования академических результатов. В работе научно обоснованы этапы сбора, очистки, обработки и классификации данных, а также процессы обучения и оценки эффективности моделей. Отмечается, что использование predictive analytics в образовательной среде способствует раннему выявлению риска снижения успеваемости, формированию индивидуальных образовательных траекторий и повышению качества обучения. Кроме того, интеграция технологий искусственного интеллекта в систему образования позволяет создавать адаптивные образовательные среды, автоматизировать учебный процесс и повышать эффективность принятия педагогических решений. Результаты исследования могут служить научно-методологической основой для дальнейшего развития цифровой педагогики, интеллектуальных образовательных систем и технологий анализа больших данных в сфере образования.

Ключевые слова: Data Analytics, Machine Learning, искусственный интеллект, академические результаты, модель прогнозирования, цифровое образование, predictive analytics, образовательные технологии, нейронные сети, анализ данных.

Annotation. This article discusses the development of a predictive model for students' academic performance based on Data Analytics and Machine Learning technologies in the educational process. The rapid digitalization of education generates large volumes of data, making data analysis an essential component of modern pedagogy and educational management. The study examines the possibility of predicting academic achievement using indicators such as attendance, subject mastery, examination scores, assignment completion activity, participation in digital learning platforms, and socio-psychological factors. Particular attention is paid to the application of Machine Learning algorithms including regression, decision tree, random forest, support vector machine, and neural network models, which significantly improve the accuracy of educational predictions. The research scientifically substantiates the stages of data collection, preprocessing, classification, model training, and evaluation of predictive efficiency. The proposed academic forecasting model enables early identification of students at risk of low performance, supports individualized learning strategies, and contributes to improving the quality of education. Furthermore, the integration of artificial intelligence technologies into educational systems

facilitates the creation of adaptive learning environments, automation of educational processes, and enhancement of pedagogical decision-making efficiency. The findings of the study provide a methodological foundation for the further development of digital pedagogy, intelligent educational systems, and predictive analytics technologies in modern education. The research also highlights the strategic importance of big data analysis and intelligent algorithms in increasing educational effectiveness and ensuring sustainable development of digital learning ecosystems.

Keywords: Data Analytics, Machine Learning, artificial intelligence, academic performance, predictive model, digital education, predictive analytics, educational technologies, neural networks, student analytics.

KIRISH.

Jahon miqyosida ta’lim tizimini raqamlashtirish jarayonlari jadallashib borayotgan hozirgi davrda ta’lim sifatini oshirish, o‘quvchilar bilimini samarali baholash hamda individual ta’lim trajektoriyalarini shakllantirish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining rivojlanishi natijasida ta’lim muassasalarida katta hajmdagi ma’lumotlar bazasi shakllanmoqda. Ushbu ma’lumotlar tarkibiga o‘quvchilarning davomat ko‘rsatkichlari, fanlarni o‘zlashtirish darajasi, test natijalari, mustaqil topshiriqlarni bajarish faolligi, elektron platformalardagi ishtiroki, onlayn ta’lim jarayonidagi faoliyati hamda psixologik va ijtimoiy omillar kiradi. Mazkur ma’lumotlarni an’anaviy usullar orqali tahlil qilish murakkab va ko‘p vaqt talab etadigan jarayon bo‘lib, zamonaviy Data Analytics hamda Machine Learning texnologiyalaridan foydalanishni taqozo etadi.So‘nggi yillarda sun’iy intellekt texnologiyalarining rivojlanishi turli sohalar qatorida ta’lim tizimida ham yangi imkoniyatlarni yuzaga keltirdi. Xususan, Data Analytics texnologiyalari yordamida katta hajmdagi ta’lim ma’lumotlarini qayta ishlash, ulardagi yashirin qonuniyatlarni aniqlash hamda o‘quvchilarning akademik faoliyatini chuqur tahlil qilish imkoniyati paydo bo‘ldi. Machine Learning algoritmlari esa mavjud ma’lumotlar asosida kelajakdagi natijalarni prognoz qilish, o‘quvchilarning muvaffaqiyat darajasini oldindan baholash va ehtimoliy xavf omillarini aniqlashda muhim vosita sifatida namoyon bo‘lmoqda. Bunday texnologiyalar ta’lim jarayonining samaradorligini oshirish, pedagogik qarorlar qabul qilishni optimallashtirish hamda adaptiv o‘qitish tizimlarini shakllantirishda katta ahamiyat kasb etadi.Ilmiy tadqiqotlarda akademik natijalarni prognozlash masalasi pedagogika, informatika, statistik tahlil va sun’iy intellekt yo‘nalishlarining kesishgan nuqtasida o‘rganilmoqda. Xalqaro tajribalar shuni ko‘rsatadiki, predictive analytics texnologiyalaridan foydalanish orqali o‘quvchilarning o‘zlashtirish darajasi pasayishi xavfini erta aniqlash, individual

ISSN 3030-3907

yondashuv asosida ta’lim strategiyalarini ishlab chiqish hamda ta’lim sifatini monitoring qilish imkoniyati kengaymoqda. Ayniqsa, AQSH, Janubiy Koreya, Singapur, Xitoy va Yevropa davlatlari ta’lim tizimlarida sun’iy intellektga asoslangan tahliliy platformalardan foydalanish amaliyoti sezilarli natijalarni bermoqda. Ushbu tajribalar ta’limda ma’lumotlar tahlili va intellektual tizimlarning ahamiyati tobora ortib borayotganini ko‘rsatadi.Machine Learning texnologiyalarining ta’lim tizimiga tatbiq etilishi nafaqat akademik natijalarni prognozlash, balki o‘quvchilarning o‘quv jarayonidagi xatti-harakatlarini o‘rganish, motivatsiya darajasini aniqlash, o‘qitish metodlarini moslashtirish va ta’lim resurslarini samarali boshqarish imkonini beradi. Ayniqsa, regression, decision tree, random forest, support vector machine hamda neural network algoritmlarining qo‘llanilishi prognozlash aniqligini oshirish bilan bir qatorda katta hajmdagi ma’lumotlar bilan ishlash samaradorligini ham ta’minlaydi. Shu sababli zamonaviy ta’lim tizimida intellektual tahliliy platformalarni yaratish va ularni amaliyotga joriy etish strategik vazifalardan biri sifatida qaralmoqda.Raqamli transformatsiya jarayonida ta’lim muassasalarida Learning Management System (LMS), elektron jurnal, masofaviy ta’lim platformalari va onlayn test tizimlari orqali uzluksiz ravishda ma’lumotlar yig‘ilib bormoqda. Ushbu ma’lumotlardan samarali foydalanish esa faqatgina statistik hisob-kitoblar bilan cheklanib qolmasdan, chuqur analitik yondashuvni talab etadi. Data Analytics texnologiyalari o‘quvchilarning o‘quv faoliyatiga oid ma’lumotlarni tizimlashtirish, segmentatsiya qilish va tahliliy vizualizatsiya yaratishga xizmat qilsa, Machine Learning algoritmlari mazkur ma’lumotlar asosida prognozlash modellarini shakllantirish imkonini beradi. Bu esa ta’lim sifatini oshirishga qaratilgan ilmiy asoslangan qarorlarni ishlab chiqishda muhim omil hisoblanadi.Bugungi kunda O‘zbekiston ta’lim tizimida ham raqamli texnologiyalarni joriy etish, elektron ta’lim muhitini rivojlantirish va sun’iy intellekt imkoniyatlaridan foydalanishga katta e’tibor qaratilmoqda. “Raqamli O‘zbekiston – 2030” strategiyasi doirasida ta’lim tizimining raqamli transformatsiyasi ustuvor yo‘nalishlardan biri sifatida belgilangan. Shu nuqtai nazardan, o‘quvchilarning akademik natijalarini prognozlashga oid intellektual modellarni ishlab chiqish va amaliyotga tatbiq etish zamonaviy pedagogik tadqiqotlarning dolzarb yo‘nalishiga aylanmoqda. Mazkur mavzu nafaqat ta’lim sifatini oshirish, balki kelajakdagi aqlli ta’lim tizimlarini shakllantirish, individual ta’limni rivojlantirish hamda pedagogik boshqaruv samaradorligini ta’minlashda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega hisoblanadi.

Zamonaviy ta’lim tizimida raqamli texnologiyalarni keng joriy etilishi natijasida ta’lim muassasalarida katta hajmdagi ma’lumotlar oqimi shakllanmoqda. Ushbu ma’lumotlar o‘quvchilarning akademik faoliyati,

ISSN 3030-3907

davomati, baholash natijalari, elektron platformalardagi ishtiroki, topshiriqlarni bajarish darajasi, fanlarga qiziqishi hamda o‘quv jarayonidagi xatti-harakatlarini o‘z ichiga oladi. Mazkur ma’lumotlarni an’anaviy statistik usullar yordamida tahlil qilish ko‘plab holatlarda yetarli samaradorlik bermaydi. Shu sababli Data Analytics va Machine Learning texnologiyalaridan foydalanish ta’lim jarayonini modernizatsiya qilishning muhim yo‘nalishlaridan biri sifatida qaralmoqda. Ushbu texnologiyalar orqali katta hajmdagi ma’lumotlarni qayta ishlash, yashirin bog‘liqliklarni aniqlash hamda akademik natijalarni prognozlash imkoniyati yuzaga keladi.Data Analytics — bu katta hajmdagi ma’lumotlarni yig‘ish, saqlash, qayta ishlash va ulardan foydali xulosalar chiqarishga xizmat qiluvchi texnologiyalar hamda metodlar majmuasidir. Ta’lim tizimida Data Analytics texnologiyalarining qo‘llanilishi o‘quvchilarning o‘zlashtirish ko‘rsatkichlarini monitoring qilish, individual ta’lim yo‘nalishlarini shakllantirish, ta’lim sifatini baholash va boshqaruv qarorlarini optimallashtirishga yordam beradi. Ayniqsa, Learning Management System (LMS), elektron jurnal tizimlari, Moodle, Google Classroom, Canvas, Blackboard kabi platformalar orqali yig‘ilayotgan ma’lumotlar tahlil uchun muhim manba bo‘lib xizmat qiladi. Ushbu tizimlarda o‘quvchilarning darsga kirish chastotasi, topshiriqlarni bajarish vaqti, test natijalari, video darslarni ko‘rish davomiyligi hamda platformadagi umumiy faolligi qayd etiladi. Bunday ma’lumotlar o‘quvchilarning o‘quv jarayonidagi xulq-atvorini chuqur tahlil qilish va akademik natijalarni oldindan prognozlash imkonini beradi.Machine Learning esa sun’iy intellektning muhim yo‘nalishlaridan biri bo‘lib, kompyuter tizimlariga ma’lumotlar asosida mustaqil o‘rganish va qaror qabul qilish imkonini beradi. Ta’lim jarayonida Machine Learning algoritmlaridan foydalanish o‘quvchilarning muvaffaqiyat darajasini prognozlash, bilimdagi bo‘shliqlarni aniqlash va individual yondashuv asosida tavsiyalar ishlab chiqishda muhim ahamiyat kasb etadi. Akademik natijalarni prognozlashda supervised learning algoritmlaridan keng foydalaniladi. Ushbu algoritmlar tarixiy ma’lumotlar asosida modelni o‘qitish va kelajakdagi natijalarni bashorat qilish imkonini beradi. Regression algoritmlari o‘quvchilarning yakuniy baholarini aniqlashda, decision tree algoritmlari esa muvaffaqiyatga ta’sir qiluvchi omillarni aniqlashda samarali hisoblanadi. Random forest algoritmi bir nechta qaror daraxtlari asosida ishlashi sababli prognozlash aniqligini oshiradi hamda ortiqcha moslashish xavfini kamaytiradi. Support Vector Machine (SVM) algoritmi esa ma’lumotlarni klassifikatsiya qilishda yuqori aniqlikni ta’minlaydi. Neural network texnologiyalari murakkab va ko‘p qatlamli ma’lumotlarni qayta ishlash imkoniyatiga ega bo‘lib, katta hajmdagi ta’lim ma’lumotlarini tahlil qilishda samarali natijalar beradi.Akademik natijalarni prognozlash modeli bir necha bosqichlardan iborat bo‘ladi. Dastlab ma’lumotlarni yig‘ish jarayoni

ISSN 3030-3907

amalga oshiriladi. Bu bosqichda o‘quvchilarning fanlardan olgan baholari, davomat ko‘rsatkichlari, mustaqil ishlar natijalari, test sinovlari, platformadagi faoliyati hamda ijtimoiy-demografik ma’lumotlari yig‘iladi. Keyingi bosqichda ma’lumotlarni tozalash va preprocessing jarayoni amalga oshiriladi. Chunki amaliyotda ma’lumotlar bazasida yetishmayotgan qiymatlar, takroriy yozuvlar yoki noto‘g‘ri ma’lumotlar uchrashi mumkin. Ma’lumotlarni tozalash model aniqligini oshirish uchun muhim hisoblanadi. Bundan tashqari, normalization va feature selection jarayonlari ham bajariladi. Feature selection orqali prognozlashga eng katta ta’sir ko‘rsatuvchi omillar ajratib olinadi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, davomat, topshiriqlarni o‘z vaqtida bajarish va platformadagi faol ishtirok akademik muvaffaqiyatga eng kuchli ta’sir qiluvchi omillar hisoblanadi.Modelni yaratish jarayonida training va testing datasetlardan foydalaniladi. Odatda ma’lumotlarning 70–80 foizi modelni o‘qitish uchun, qolgan qismi esa modelni sinovdan o‘tkazish uchun ajratiladi. Accuracy, precision, recall va F1-score kabi metrikalar model samaradorligini baholashda qo‘llaniladi. Yuqori aniqlikka ega model o‘quvchilarning akademik natijalarini oldindan bashorat qilish va xavf guruhidagi o‘quvchilarni aniqlash imkonini beradi. Shu orqali pedagoglar o‘z vaqtida qo‘shimcha yordam ko‘rsatishi, individual yondashuvni qo‘llashi hamda ta’lim jarayonini moslashtirishi mumkin bo‘ladi.Ta’limda predictive analytics texnologiyalaridan foydalanish o‘quvchilar bilan ishlash samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Masalan, akademik ko‘rsatkichlari pasayish ehtimoli mavjud bo‘lgan o‘quvchilarni erta aniqlash orqali ularning motivatsiyasini oshirish, qo‘shimcha mashg‘ulotlar tashkil qilish va individual konsultatsiyalar o‘tkazish imkoniyati paydo bo‘ladi. Bu esa ta’lim sifati va o‘zlashtirish darajasining oshishiga olib keladi. Shu bilan birga, prognozlash modellari o‘qituvchilarning ish yuklamasini optimallashtirish hamda resurslarni samarali taqsimlashga yordam beradi. Zamonaviy universitetlar va maktablarda learning analytics platformalari orqali real vaqt rejimida o‘quvchilarning faoliyati monitoring qilinmoqda va natijalar asosida avtomatik tavsiyalar ishlab chiqilmoqda.Dunyo tajribasida Data Analytics va Machine Learning texnologiyalaridan foydalanishga asoslangan aqlli ta’lim tizimlari keng rivojlanmoqda. AQSH universitetlarida student success analytics platformalari yordamida talabalar muvaffaqiyati monitoring qilinadi va dropout xavfi mavjud talabalar aniqlanadi. Janubiy Koreyada sun’iy intellekt asosidagi adaptiv ta’lim platformalari o‘quvchilarning bilim darajasiga mos individual topshiriqlarni avtomatik shakllantiradi. Singapur va Xitoy ta’lim tizimlarida esa big data texnologiyalaridan foydalanish orqali o‘quvchilarning rivojlanish dinamikasi tahlil qilinadi va ta’lim strategiyalari optimallashtiriladi. Ushbu tajribalar Data Analytics va Machine Learning texnologiyalarining ta’lim samaradorligini

ISSN 3030-3907

oshirishdagi amaliy ahamiyatini tasdiqlaydi.O‘zbekiston ta’lim tizimida ham raqamli transformatsiya jarayonlari jadallashmoqda. Elektron ta’lim platformalari, masofaviy ta’lim tizimlari va raqamli baholash mexanizmlarining rivojlanishi katta hajmdagi ta’lim ma’lumotlarini shakllantirmoqda. Shu sababli mazkur ma’lumotlarni tahlil qilish va ulardan samarali foydalanish dolzarb vazifaga aylanmoqda. Data Analytics texnologiyalarini joriy etish ta’lim sifatini monitoring qilish, o‘quvchilarning bilim darajasini baholash va pedagogik boshqaruvni takomillashtirishga xizmat qiladi. Machine Learning algoritmlaridan foydalanish esa o‘quvchilarning akademik natijalarini yuqori aniqlikda prognozlash imkonini beradi.

Bu esa kelajakda aqlli ta’lim tizimlarini yaratish, individual ta’lim muhitini rivojlantirish hamda ta’lim sifatini xalqaro standartlar asosida takomillashtirish uchun muhim asos bo‘lib xizmat qiladi.Shuningdek, akademik natijalarni prognozlashda etik va xavfsizlik masalalariga ham alohida e’tibor qaratilishi zarur. O‘quvchilarning shaxsiy ma’lumotlarini himoya qilish, ma’lumotlar maxfiyligini ta’minlash hamda algoritmik xatoliklarning oldini olish muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Sun’iy intellekt asosidagi tizimlar noto‘g‘ri ma’lumotlar asosida qaror qabul qilishi ehtimoli mavjudligi sababli, modelni muntazam ravishda yangilab borish va monitoring qilish talab etiladi. Shu bilan birga, algoritmlarning shaffofligi va tushuntiriluvchanligi pedagogik faoliyatda muhim omil hisoblanadi. O‘qituvchilar va ta’lim muassasalari sun’iy intellekt tizimlari tomonidan shakllantirilgan natijalarni to‘g‘ri talqin qila olishi lozim.Umuman olganda, Data Analytics va Machine Learning texnologiyalarining ta’lim tizimiga integratsiyasi akademik natijalarni prognozlash samaradorligini oshirish, o‘quvchilarning individual ehtiyojlarini aniqlash va ta’lim sifatini yangi bosqichga olib chiqishga xizmat qiladi. Ushbu texnologiyalar kelajakda aqlli ta’lim ekotizimlarini shakllantirish, adaptiv ta’lim muhitini rivojlantirish va pedagogik boshqaruvni avtomatlashtirishning muhim omiliga aylanishi kutilmoqda.

Ta’lim jarayonida Data Analytics va Machine Learning texnologiyalaridan foydalanish o‘quvchilarning akademik natijalarini prognozlash, ta’lim sifatini oshirish hamda individual yondashuvni shakllantirishda katta imkoniyatlar yaratmoqda. Biroq ushbu texnologiyalarni amaliyotga joriy etish jarayonida bir qator tashkiliy, texnologik, metodologik va etik muammolar yuzaga kelmoqda. Mazkur muammolarni ilmiy asosda o‘rganish va samarali yechimlarni ishlab chiqish zamonaviy pedagogika hamda raqamli ta’lim tizimining dolzarb masalalaridan biri hisoblanadi. Chunki sun’iy intellekt va ma’lumotlar tahliliga asoslangan tizimlarning samaradorligi nafaqat texnik imkoniyatlarga, balki

ISSN 3030-3907

ma’lumotlarning sifati, pedagogik yondashuvlar va inson omiliga ham bevosita bog‘liqdir.

Akademik natijalarni prognozlash tizimlarida uchraydigan asosiy muammolardan biri ma’lumotlar sifati bilan bog‘liq hisoblanadi. Ta’lim muassasalarida yig‘ilayotgan ma’lumotlar ko‘pincha to‘liq emas, takroriy yozuvlarga ega yoki noto‘g‘ri shakllantirilgan bo‘ladi. Masalan, ayrim o‘quvchilarning davomat ma’lumotlari muntazam kiritilmasligi, elektron platformalarda faoliyatning yetarli darajada qayd etilmasligi yoki test natijalaridagi texnik xatolar prognozlash modelining aniqligiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Machine Learning algoritmlari ma’lumotlar sifatiga juda sezgir bo‘lgani sababli, noto‘g‘ri yoki yetarli bo‘lmagan ma’lumotlar model natijalarini ishonchsiz holatga olib kelishi mumkin. Shu sababli ma’lumotlarni preprocessing qilish, cleaning texnologiyalaridan foydalanish, missing value va noisy data muammolarini bartaraf etish muhim ahamiyatga ega.

Zamonaviy ETL (Extract, Transform, Load) texnologiyalari va avtomatlashtirilgan data validation tizimlaridan foydalanish ma’lumotlar sifatini oshirishga xizmat qiladi.Yana bir muhim muammo — ta’lim tizimida yagona ma’lumotlar infratuzilmasining yetarli darajada shakllanmaganidir. Ko‘plab ta’lim muassasalarida ma’lumotlar turli platformalarda alohida saqlanadi va ular o‘rtasida integratsiya mavjud emas. Natijada o‘quvchi haqidagi ma’lumotlarni kompleks tahlil qilish qiyinlashadi. Masalan, elektron jurnal tizimi, masofaviy ta’lim platformasi va test markazlari ma’lumotlari bir-biri bilan bog‘lanmagan bo‘lishi mumkin. Bu esa predictive analytics tizimlarining samaradorligini pasaytiradi. Ushbu muammoni hal qilish uchun yagona raqamli ta’lim ekotizimini yaratish, cloud computing texnologiyalaridan foydalanish va barcha ta’lim platformalarini integratsiyalash zarur hisoblanadi.

API va Big Data texnologiyalari asosida markazlashtirilgan ma’lumotlar bazasini shakllantirish akademik prognozlash tizimlari uchun mustahkam asos yaratadi.Machine Learning algoritmlarini ta’lim jarayoniga joriy etishda yuzaga keladigan muammolardan biri modelning interpretatsiya qilinishi bilan bog‘liqdir. Ayrim murakkab algoritmlar, ayniqsa deep learning va neural network modellarining qaror qabul qilish mexanizmi aniq tushuntirib berilmaydi. Pedagoglar va ta’lim boshqaruvi vakillari model nima sababdan ma’lum natijani berganini tushunmasligi mumkin.

Bu esa sun’iy intellekt tizimlariga nisbatan ishonchsizlikni yuzaga keltiradi. Shu sababli Explainable AI (XAI) texnologiyalarini rivojlantirish muhim hisoblanadi. Ushbu texnologiyalar algoritm qarorlarini tushuntirish, prognozlashga ta’sir qiluvchi omillarni ko‘rsatish va model faoliyatining shaffofligini ta’minlash imkonini beradi. Ayniqsa ta’lim tizimida qarorlarning

ISSN 3030-3907

pedagogik asoslanganligi muhim bo‘lgani sababli tushuntiriladigan sun’iy intellekt tizimlari dolzarb ahamiyat kasb etadi.Akademik natijalarni prognozlashda yana bir muhim muammo algoritmik bias, ya’ni modelning ayrim guruhlarga nisbatan noto‘g‘ri yoki adolatsiz natija chiqarish ehtimoli bilan bog‘liqdir. Agar modelni o‘qitishda foydalanilgan ma’lumotlarda notekislik mavjud bo‘lsa, algoritm ham ma’lum guruhlarga nisbatan noto‘g‘ri xulosa chiqarishi mumkin.

Masalan, ijtimoiy-iqtisodiy sharoiti past bo‘lgan o‘quvchilar yoki texnologik imkoniyatlari cheklangan hududlarda yashovchi o‘quvchilar haqida noto‘g‘ri prognozlar shakllanishi ehtimoli mavjud. Bu esa ta’limda tenglik tamoyillariga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Ushbu muammoni bartaraf etish uchun fairness-aware machine learning metodlarini qo‘llash, ma’lumotlarni balanslashtirish hamda modelni muntazam audit qilish talab etiladi. Shu bilan birga, etik tamoyillar asosida sun’iy intellekt tizimlarini boshqarish mexanizmlarini ishlab chiqish muhim hisoblanadi.Ta’lim tizimida texnologik infratuzilmaning yetarli emasligi ham dolzarb muammolardan biridir. Ayrim hududlardagi maktab va oliy ta’lim muassasalarida internet tezligining pastligi, server quvvatlarining cheklanganligi yoki zamonaviy texnik vositalarning yetishmasligi Data Analytics tizimlarini samarali joriy etishga to‘sqinlik qiladi. Ayniqsa katta hajmdagi ma’lumotlarni real vaqt rejimida qayta ishlash uchun yuqori hisoblash resurslari talab etiladi. Ushbu muammoning yechimi sifatida cloud computing, distributed computing va edge computing texnologiyalaridan foydalanish tavsiya etiladi.

Bulutli texnologiyalar ma’lumotlarni markazlashtirilgan holda saqlash va qayta ishlash imkonini beradi hamda texnik xarajatlarni kamaytiradi.Akademik natijalarni prognozlash tizimlarida ma’lumotlar xavfsizligi va maxfiylik masalalari ham alohida ahamiyat kasb etadi. O‘quvchilarning shaxsiy ma’lumotlari, baholari, psixologik holati va xulq-atvoriga oid ma’lumotlar maxfiy hisoblanadi. Ushbu ma’lumotlarning noqonuniy tarqalishi yoki kiberhujumlarga uchrashi jiddiy oqibatlarga olib kelishi mumkin. Shu sababli cybersecurity va data privacy tamoyillariga qat’iy rioya qilish talab etiladi. Shifrlash texnologiyalari, ko‘p bosqichli autentifikatsiya tizimlari va ma’lumotlarga ruxsat darajasini boshqarish mexanizmlaridan foydalanish xavfsizlikni ta’minlashda muhim vosita hisoblanadi. Shuningdek, GDPR kabi xalqaro ma’lumotlarni himoya qilish standartlari asosida milliy normativ-huquqiy bazani takomillashtirish zarur.Ta’limda Data Analytics va Machine Learning texnologiyalaridan foydalanishda metodologik muammolar ham mavjud.

Ko‘plab tadqiqotlarda algoritmlarning texnik samaradorligi tahlil qilinayotgan bo‘lsa-da, pedagogik natijalarga ta’siri yetarli darajada chuqur

ISSN 3030-3907

o‘rganilmagan. Ya’ni yuqori accuracy ko‘rsatkichiga ega model har doim ham ta’lim sifati oshishiga olib kelmasligi mumkin. Shu sababli texnologik va pedagogik yondashuvlarni integratsiyalash zarur. Predictive analytics tizimlari faqat texnik vosita sifatida emas, balki pedagogik boshqaruvni qo‘llab-quvvatlovchi mexanizm sifatida qaralishi kerak. O‘qituvchi, psixolog va data analyst mutaxassislarining hamkorligi asosida kompleks yondashuvni shakllantirish samarali natija beradi.Shuningdek, sun’iy intellekt texnologiyalarining haddan tashqari avtomatlashtirilishi pedagogik jarayonda inson omilining kamayishiga olib kelishi mumkin. Ta’lim jarayonida o‘qituvchi nafaqat bilim beruvchi, balki tarbiyachi, motivator va ijtimoiy ko‘makchi sifatida ham muhim rol o‘ynaydi. Shu sababli Machine Learning tizimlari pedagogni to‘liq almashtiruvchi vosita emas, balki uning faoliyatini qo‘llab-quvvatlovchi yordamchi texnologiya sifatida qo‘llanishi lozim. Inson va sun’iy intellekt o‘rtasidagi muvozanatni saqlash zamonaviy ta’lim tizimining asosiy tamoyillaridan biri bo‘lishi kerak.

Umuman olganda, Data Analytics va Machine Learning texnologiyalariga asoslangan akademik prognozlash tizimlari ta’lim sifatini oshirish, individual yondashuvni rivojlantirish va pedagogik boshqaruv samaradorligini kuchaytirishda katta imkoniyatlarga ega. Biroq ushbu texnologiyalarni muvaffaqiyatli joriy etish uchun ma’lumotlar sifati, etik me’yorlar, texnologik infratuzilma, kadrlar malakasi va xavfsizlik masalalariga kompleks yondashish talab etiladi. Ilmiy asoslangan va strategik yondashuv orqali sun’iy intellekt texnologiyalarining ta’lim tizimidagi salohiyatidan samarali foydalanish mumkin bo‘ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Artificial Intelligence: A Modern Approach / Russell S., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. — 4th ed. — Pearson Education, 2021.
2. Deep Learning / Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning*. — MIT Press, 2016.
3. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques / Witten I.H., Frank E., Hall M.A., Pal C.J. *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. — Morgan Kaufmann, 2016.
4. Romero C., Ventura S. Educational Data Mining: A Review of the State of the Art // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. — 2020. — Vol. 40(6). — pp. 601–618.
5. Baker R.S., Inventado P.S. Educational Data Mining and Learning Analytics // *Learning Analytics*. — Springer, 2019. — pp. 61–75.
6. Siemens G., Long P. Penetrating the Fog: Analytics in Learning and Education // *EDUCAUSE Review*. — 2018. — Vol. 46(5). — pp. 30–40.

ISSN 3030-3907

7. UNESCO. *Artificial Intelligence in Education: Guidance for Policy-makers*. — Paris: UNESCO Publishing, 2021.
8. OECD. *Digital Education Outlook 2023: Towards Smart Educational Ecosystems*. — Paris: OECD Publishing, 2023.
9. Han J., Kamber M., Pei J. *Data Mining: Concepts and Techniques*. — 4th ed. — Morgan Kaufmann, 2022.

ISSN 3030-3907

MODIFIKATSIYALANGAN GIDROFOB BETONLARNING XOSSALARINI OSHIRISH TEXNOLOGIYASI

Imamov Suxrob Solexovich
Buxoro davlat texnika universiteti tayanch doktoranti
Abdukarimov Ahmat Kamol o‘g‘li
Buxoro davlat texnika universiteti talabasi
Nematov Behzod Ikromjon o‘g‘li
Buxoro davlat texnika universiteti talabasi

Annotatsiya. Mazkur maqolada beton materiallarini gidrofob modifikatsiyalash texnologiyasi, gidrofob qo‘shimchalarning betonning fizik-mexanik xossalariga ta’siri hamda suvga chidamlilik ko‘rsatkichlarini oshirish usullari tahlil qilingan. Betonning g‘ovak tuzilishini kamaytirish va kapillyar suv o‘tkazuvchanligini pasaytirish orqali uning ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilash masalalari yoritilgan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, gidrofob modifikatorlardan foydalanish betonning suv shimuvchanligini kamaytirishi, sovuqqa chidamliligini oshirishi va uzoq muddat xizmat qilishini ta’minlashi aniqlangan. Shuningdek, maqolada gidrofob betonlarning zamonaviy qurilishdagi qo‘llanilish istiqbollari va iqtisodiy samaradorligi ham bayon etilgan.

Kalit so‘zlar: gidrofob beton, modifikatsiya, suv shimuvchanlik, beton texnologiyasi, gidrofobizator, mustahkamlik, suv o‘tkazmaslik, polimer qo‘shimcha, betonning mikrostrukturasi, qurilish materiallari.

Аннотация. В данной статье рассмотрены технологии гидрофобной модификации бетонных материалов, влияние гидрофобных добавок на физико-механические свойства бетона, а также методы повышения водостойкости. Освещены вопросы уменьшения пористой структуры бетона и снижения капиллярного водопоглощения. Результаты исследований показали, что применение гидрофобных модификаторов способствует снижению водопоглощения бетона, повышению морозостойкости и увеличению срока службы конструкций. Кроме того, в статье рассмотрены перспективы применения гидрофобных бетонов в современном строительстве и их экономическая эффективность.

Ключевые слова: гидрофобный бетон, модификация, водопоглощение, технология бетона, гидрофобизатор, прочность, водонепроницаемость, полимерная добавка, микроструктура бетона, строительные материалы.

Abstract. This article discusses the technology of hydrophobic modification of concrete materials, the influence of hydrophobic additives on the physical and mechanical properties of concrete, and methods for improving water resistance. The issues of reducing the porous structure of concrete and decreasing capillary water absorption are analyzed. Research results showed that the use of

hydrophobic modifiers significantly reduces water absorption, increases frost resistance, and extends the service life of concrete structures. In addition, the article describes the prospects for the application of hydrophobic concrete in modern construction and its economic efficiency.

Keywords: hydrophobic concrete, modification, water absorption, concrete technology, hydrophobic agent, strength, waterproofness, polymer additive, concrete microstructure, construction materials.

KIRISH.

Bugungi kunda qurilish sanoatida foydalanilayotgan beton va temirbeton konstruksiyalarning mustahkamligi hamda uzoq muddat xizmat qilishi asosiy texnik talablardan biri hisoblanadi. Beton o‘zining yuqori siqilish mustahkamligi, texnologik qulayligi va iqtisodiy samaradorligi sababli dunyoda eng ko‘p ishlatiladigan qurilish materiali sifatida e’tirof etiladi. Biroq betonning kapillyar-g‘ovak tuzilishga egaligi uning asosiy kamchiliklaridan biri hisoblanadi. Aynan shu g‘ovaklar orqali suv va agressiv eritmalar beton ichiga kirib boradi. Natijada betonning ichki strukturasida yemirilish jarayonlari boshlanadi, armaturalarda korroziya hosil bo‘ladi hamda konstruksiyaning xizmat muddati qisqaradi.

Suvning beton ichiga kirishi ayniqsa sovuq iqlim sharoitida jiddiy muammolarni yuzaga keltiradi. Muzlash va erish jarayonlari davomida beton tarkibidagi namlik hajmi ortadi va ichki bosim paydo bo‘ladi. Bu esa mikro yoriqlar hosil bo‘lishiga olib keladi. Shu sababli betonning suvga chidamliligini oshirish va g‘ovak tuzilishini kamaytirish zamonaviy qurilish materialshunosligining dolzarb masalalaridan biri hisoblanadi.

So‘nggi yillarda betonlarni gidrofob modifikatsiyalash texnologiyasiga katta e’tibor qaratilmoqda. Gidrofob modifikatsiya beton tarkibiga maxsus kimyoviy qo‘shimchalar kiritish orqali uning suv o‘tkazuvchanligini kamaytirish va ekspluatatsion xossalarini yaxshilashga qaratilgan texnologik jarayon hisoblanadi. Bunday modifikatorlar sement zarralari va kapillyar g‘ovaklar yuzasida suvni qaytaruvchi himoya qatlam hosil qiladi. Natijada suvning beton ichiga singishi sezilarli kamayadi.

Zamonaviy qurilish amaliyotida gidrofob betonlardan gidrotexnika inshootlari, ko‘priklar, tunnellar, metro qurilishlari, suv omborlari va sanoat obyektlarida keng foydalanilmoqda. Bu esa gidrofob modifikatsiyalangan betonlarning ilmiy-amaliy ahamiyatini yanada oshirmoqda.

ASOSIY QISM. Beton materiallarini gidrofob modifikatsiyalash texnologiyasi beton tarkibidagi g‘ovak va kapillyar tuzilmani kamaytirish orqali suv o‘tkazuvchanlikni pasaytirishga asoslanadi. Oddiy beton tarkibida mikroskopik g‘ovaklar mavjud bo‘lib, ular orqali suv va turli agressiv moddalar ichki qatlamlarga kirib boradi. Bu jarayon betonning mustahkamligi va

ISSN 3030-3907

chidamliligiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Gidrofob qo‘shimchalar esa betonning ichki strukturasini zichlashtirib, suvning harakatlanishiga to‘sqinlik qiladi.

Gidrofob modifikatorlar sifatida turli kimyoviy moddalar ishlatiladi. Ular orasida suyuq shisha, silikon emulsiyalari, siloksanlar, stearatlar, polimer birikmalar va kremniyorganik moddalar keng qo‘llaniladi. Ushbu moddalar sement gidratatsiyasi jarayonida faol qatnashib, beton tarkibida suvni qaytaruvchi qatlam hosil qiladi. Ayniqsa silikon asosidagi modifikatorlar beton yuzasida yuqori gidrofob effekt hosil qilishi bilan ajralib turadi.

Beton qorishmasini tayyorlash jarayonida dastlab sement, qum va shag‘al aralashtiriladi. Keyinchalik ma’lum miqdorda suv va gidrofob qo‘shimcha kiritiladi. Aralashtirish jarayonining sifatli bajarilishi modifikatorning beton tarkibida bir xil taqsimlanishini ta’minlaydi. Bu esa tayyor betonning fizik-mexanik xossalariga bevosita ta’sir ko‘rsatadi.

Quyidagi rasmda gidrofob betonning mikrostrukturasi va suvni qaytarish mexanizmi tasvirlangan.



1-rasm.Gidrofob sement asosidagi materiallarning xarakteristikasi, tayyorlanishi va xossalari

Gidrofob modifikatsiyaning samaradorligi betonning suv shimuvchanligi orqali baholanadi. Oddiy beton namlikni tez shimadi, gidrofob beton esa suv tomchilarini o‘z yuzasidan qaytaradi. Natijada betonning ichki qismi quruq holatda saqlanadi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, gidrofob qo‘shimchalar ishlatilganda betonning suv shimuvchanligi 3–5 barobar kamayadi.

ISSN 3030-3907

Betonning suvga chidamliligi bilan bir qatorda sovuqqa chidamliligi ham ortadi. Chunki beton tarkibida suv miqdori kamayishi muzlash paytida ichki bosim hosil bo‘lishining oldini oladi. Bu esa betonning yorilish ehtimolini kamaytiradi. Shu sababli gidrofob betonlar sovuq iqlimli hududlarda quriladigan inshootlarda keng qo‘llaniladi.

Gidrofob modifikatsiya betonning mexanik mustahkamligiga ham ijobiy ta’sir ko‘rsatadi. Beton tarkibidagi bo‘shliqlarning kamayishi materialning zichlashishiga olib keladi. Natijada siqilishdagi mustahkamlik ko‘rsatkichlari oshadi. Tajribalar natijasida gidrofob qo‘shimchalar qo‘shilgan betonlarning siqilishdagi mustahkamligi oddiy betonlarga nisbatan 15–25 foiz yuqori bo‘lishi aniqlangan.



2-rasm.Oddiy betonning suv o‘tkazuvchanligi sxemasi

Quyidagi jadvalda oddiy va gidrofob modifikatsiyalangan betonning ayrim xossalari taqqoslangan.

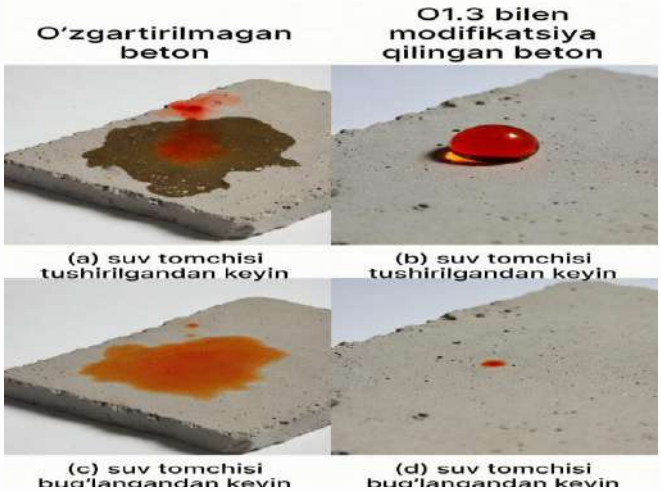
1-jadval

Ko‘rsatkich	Oddiy beton	Gidrofob beton
Suv shimuvchanligi	4–8 %	0.5–2 %
Siqilish mustahkamligi	25–30 MPa	35–45 MPa
Sovuqqa chidamliligi	O‘rtacha	Yuqori
Suv o‘tkazmaslik markasi	W2–W4	W8–W12
Xizmat muddati	30–40 yil	50 yildan ortiq

Gidrofob betonlarning iqtisodiy samaradorligi ham yuqori hisoblanadi. Dastlab modifikatorlarning narxi ma’lum darajada xarajat talab qilsa ham, uzoq muddat davomida ta’mirlash ishlari kamayishi natijasida umumiy iqtisodiy foyda

ISSN 3030-3907

yuzaga keladi. Ayniqsa ko‘priklar, suv inshootlari va sanoat obyektlarida bunday betonlardan foydalanish ekspluatatsion xarajatlarni kamaytiradi.



3-rasm.Gidrofoblashtirishning samaradorligi: suv tomchisi testi

Hozirgi vaqtda nanomodifikatorlar asosida yangi avlod gidrofob betonlarini yaratish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Nanozarrachalar betonning mikrostrukturasi bilan faol o‘zaro ta’sirlashib, g‘ovaklarni yanada kamaytiradi. Bu esa betonning suvga chidamliligini va mustahkamligini oshirish imkonini beradi.

XULOSA. Mazkur tadqiqot ishining ilmiy yangiligi beton materiallarini gidrofob modifikatsiyalashda zamonaviy gidrofob qo‘shimchalarning betonning mikrostrukturasi va ekspluatatsion xossalariga ta’sirini kompleks baholashdan iborat. Tadqiqot davomida beton tarkibidagi kapillyar g‘ovaklarning kamayishi va suv shimuvchanlik ko‘rsatkichlarining pasayishi o‘rtasidagi bog‘liqlik aniqlangan. Shuningdek, gidrofob modifikatorlar qo‘llanilganda betonning sovuqqa chidamliligi va siqilishdagi mustahkamligi oshishi ilmiy jihatdan asoslab berilgan.

Bundan tashqari, maqolada mahalliy xomashyolar asosida gidrofob qo‘shimchalar qo‘llash imkoniyatlari ko‘rib chiqilgan bo‘lib, bu qurilish materiallari tannarxini kamaytirish hamda import o‘rnini bosuvchi mahsulotlar ishlab chiqarishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Beton materiallarini gidrofob modifikatsiyalash zamonaviy qurilish sanoatining eng muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Maxsus gidrofob qo‘shimchalardan foydalanish betonning suv o‘tkazuvchanligini kamaytiradi, g‘ovak tuzilishini zichlashtiradi hamda uning mexanik va ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilaydi. Natijada betonning sovuqqa chidamliligi ortadi, armaturalarning korroziyasi kamayadi va konstruksiyalarning xizmat muddati uzayadi.

Tadqiqotlar natijasi shuni ko‘rsatadiki, gidrofob modifikatsiyalangan betonlardan foydalanish iqtisodiy va texnik jihatdan samarali hisoblanadi.

ISSN 3030-3907

Ayniqsa gidrotexnika inshootlari, ko‘priklar, metro va yer osti qurilishlarida bunday betonlarning qo‘llanilishi katta amaliy ahamiyatga ega.

Kelajakda ekologik xavfsiz, arzon va yuqori samaradorlikka ega bo‘lgan yangi avlod gidrofob modifikatorlarini ishlab chiqish qurilish materiallari texnologiyasining ustuvor yo‘nalishlaridan biri bo‘lib qoladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Mirzayev S.M., Axmedov K.S. Qurilish materiallari texnologiyasi. – Toshkent: O‘qituvchi, 2020. – 356 b.
2. Adilxodjayev A.I. Beton va temirbeton texnologiyasi. – Toshkent: Tafakkur-Bo‘stoni, 2019. – 420 b.
3. Ismatullayev P.R., Karimov B.X. Zamonaviy betonlar va ularning xossalari. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2021. – 284 b.
4. Баженов Ю.М. Технология бетона. – Москва: Издательство АСВ, 2016. – 528 с.
5. Невилль А.М. Свойства бетона. – Москва: Стройиздат, 2018. – 640 с.
6. GOST 7473–2010. Beton aralashmalari. Texnik shartlar.
7. GOST 26633–2015. Og‘ir va mayda donali betonlar. Texnik shartlar.
8. Karimov J.A., Rasulov F.M. “Betonlarning suv o‘tkazmaslik xossalarini oshirish usullari”. // *Qurilish materiallari va buyumlari*. – Toshkent, 2022. – №3. – B. 44–49.
9. Nurmatov A.T. “Gidrofob qo‘shimchalarning beton mikrostrukturasiga ta’siri”. // *Architecture and Construction Problems*. – Samarqand, 2021. – №2. – B. 58–63.
10. Muminov O.S., Tursunov D.Q. “Modifikatsiyalangan betonlarning fizik-mexanik xossalari”. // *Ilm-fan va innovatsiya*. – Toshkent, 2023. – №5. – B. 91–97.
11. Shevchenko V.P. Hydrophobic Concrete and Waterproofing Technologies. – Moscow: Stroybeton, 2019. – 312 p.
12. Xolmirzayev U.X. Qurilish materiallarining fizik-kimyoviy asoslari. – Toshkent: Voris-Nashriyot, 2020. – 298 b.
13. Usmonov B.N., Eshonqulov S.J. “Betonning gidrofob modifikatsiyasi va uning samaradorligi”. // *Innovatsion texnologiyalar*. – Buxoro, 2024. – №1. – B. 72–78.

ISSN 3030-3907

BOSHLANG‘ICH TA’LIMDA XALQARO BAHOLASH DASTURLARI ASOSIDA TA’LIM SIFATINI OSHIRISH OMILLARI

Xushvaqtova Nilufar Xasan qizi
Samarqand davlat pedagogika instituti 2- kurs magistranti
E-mail: isomivanilufar@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada boshlang‘ich ta’lim tizimida xalqaro baholash dasturlarining ahamiyati, ularning ta’lim sifatini oshirishdagi o‘rni hamda zamonaviy pedagogik jarayonlarga ta’siri ilmiy jihatdan tahlil qilingan. Xususan, xalqaro baholash dasturlarining boshlang‘ich ta’limdagi samaradorligi, o‘quvchilarning funksional savodxonligini rivojlantirishga ta’siri, o‘qituvchilarning kasbiy kompetensiyalarini mustahkamlashdagi ahamiyati va ta’lim sifati monitoringini takomillashtirishdagi imkoniyatlari yoritilgan. Shuningdek, rivojlangan mamlakatlar tajribasi hamda O‘zbekistonda xalqaro baholash tizimlarini joriy etish bo‘yicha amalga oshirilayotgan islohotlar tahlil qilinib, boshlang‘ich ta’lim sifatini oshirishga xizmat qiluvchi metodik, tashkiliy va pedagogik omillar yuzasidan ilmiy takliflar ishlab chiqilgan.

Kalit so‘zlar: boshlang‘ich ta’lim, ta’lim sifati, xalqaro baholash dasturlari, funksional savodxonlik, TIMSS, PIRLS, kompetensiyaviy yondashuv, pedagogik texnologiyalar, innovatsion ta’lim, baholash tizimi.

Abstract. This article scientifically analyzes the significance of international assessment programs in the primary education system, their role in improving educational quality, and their impact on contemporary pedagogical processes. In particular, the study highlights the effectiveness of international assessment programs in primary education, their contribution to the development of students’ functional literacy, their importance in strengthening teachers’ professional competencies, and their potential for improving educational quality monitoring systems. Furthermore, the experiences of developed countries, as well as ongoing reforms in Uzbekistan aimed at implementing international assessment systems, are examined. Based on the analysis, scientific recommendations are proposed regarding methodological, organizational, and pedagogical factors that contribute to enhancing the quality of primary education.

Keywords: primary education, educational quality, international assessment programs, functional literacy, TIMSS, PIRLS, competency-based approach, pedagogical technologies, innovative education, assessment system.

Аннотация. В данной статье проведён научный анализ значения международных программ оценивания в системе начального образования, их роли в повышении качества образования, а также влияния на современные педагогические процессы. В частности, раскрываются эффективность международных программ оценивания в начальном

образовании, их влияние на развитие функциональной грамотности учащихся, значение в укреплении профессиональных компетенций педагогов и возможности совершенствования мониторинга качества образования. Кроме того, проанализирован опыт развитых стран, а также реформы, реализуемые в Узбекистане в направлении внедрения международных систем оценивания. На основе проведённого анализа разработаны научные рекомендации по методическим, организационным и педагогическим факторам, способствующим повышению качества начального образования.

Ключевые слова: начальное образование, качество образования, международные программы оценивания, функциональная грамотность, TIMSS, PIRLS, компетентностный подход, педагогические технологии, инновационное образование, система оценивания.

KIRISH.

Globallashuv jarayonlarining jadallashuvi, xalqaro mehnat bozorida raqobatning kuchayishi hamda bilimga asoslangan iqtisodiyotning shakllanishi ta’lim tizimiga bo‘lgan talablarni tubdan o‘zgartirmoqda. Zamonaviy sharoitda ta’lim sifati mamlakat taraqqiyotining muhim strategik omillaridan biri sifatida baholanmoqda. Ayniqsa, boshlang‘ich ta’lim bosqichi inson kapitalini shakllantirishning dastlabki poydevori sifatida alohida ahamiyat kasb etadi. Chunki aynan mazkur bosqichda o‘quvchilarda o‘qish, tushunish, tahlil qilish, mantiqiy fikrlash va amaliy muammolarni hal etish ko‘nikmalari shakllanadi.

Bugungi kunda ta’lim sifatini aniqlash va monitoring qilishning samarali mexanizmlaridan biri xalqaro baholash dasturlaridir. Mazkur dasturlar o‘quvchilarning bilimini faqat nazariy jihatdan emas, balki real hayotiy vaziyatlarda qo‘llash kompetensiyasi asosida baholash imkonini beradi. Xalqaro baholash tizimlari orqali davlatlar ta’lim sifatini xalqaro standartlar bilan solishtirish, mavjud muammolarni aniqlash va ta’lim siyosatini takomillashtirish imkoniyatiga ega bo‘ladi.

Boshlang‘ich ta’lim tizimida ayniqsa o‘quvchilarning matnni tushunish, o‘qib anglash, matematik hamda tabiiy-ilmiy savodxonligini baholashga qaratilgan xalqaro dasturlar muhim hisoblanadi. Ularning natijalari o‘quv dasturlari, pedagogik yondashuvlar, o‘qituvchilar malakasi va baholash mezonlarini qayta ko‘rib chiqishga xizmat qiladi.

Shu nuqtayi nazardan, boshlang‘ich ta’limda xalqaro baholash dasturlari asosida ta’lim sifatini oshirish omillarini ilmiy tahlil qilish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI. Mazkur tadqiqotni amalga oshirish jarayonida ilmiy bilishning nazariy va empirik usullaridan foydalanildi. Xususan,

ISSN 3030-3907

pedagogik tahlil, qiyosiy taqqoslash, statistik tahlil, kontent-tahlil hamda tizimli yondashuv metodlari qo‘llanildi. Tadqiqot davomida xalqaro baholash dasturlarining konseptual asoslari, ularning boshlang‘ich ta’lim sifatiga ta’siri hamda rivojlangan davlatlar tajribasi ilmiy manbalar asosida o‘rganildi.

Shuningdek, xalqaro baholash tizimlarida yuqori natijalarga erishgan davlatlar tajribasi qiyosiy ravishda tahlil qilinib, ularning boshlang‘ich ta’lim tizimida qo‘llanayotgan metodik yondashuvlari o‘rganildi. Tadqiqot jarayonida kompetensiyaviy ta’lim modeli, funksional savodxonlikni rivojlantirish strategiyalari va innovatsion pedagogik texnologiyalarning samaradorligi baholandi.

Boshlang‘ich ta’lim sifatini oshirish omillarini aniqlashda pedagogik monitoring, ta’lim jarayonining diagnostikasi hamda o‘quvchilarning o‘quv faoliyatini baholash mezonlari ham ilmiy tahlil obyekti sifatida o‘rganildi.

NATIJALAR. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, xalqaro baholash dasturlari ta’lim sifatini oshirishda bir qator muhim omillarni yuzaga chiqaradi. Birinchidan, xalqaro baholash tizimlari o‘quvchilarning bilimini reproduktiv tarzda emas, balki amaliyotga yo‘naltirilgan kompetensiyalar asosida baholaydi. Bu esa o‘quvchilarni mustaqil fikrlash, tahlil qilish va muammoli vaziyatlarga yechim topishga yo‘naltiradi.

Boshlang‘ich ta’lim tizimida ayniqsa PIRLS dasturining ahamiyati yuqori bo‘lib, u boshlang‘ich sinf o‘quvchilarining matnni tushunish va o‘qib anglash ko‘nikmalarini baholashga xizmat qiladi. Mazkur baholash tizimi natijalari o‘quvchilarning funksional savodxonlik darajasini aniqlash imkonini beradi. O‘qish savodxonligining rivojlanganligi esa boshqa fanlarni o‘zlashtirish samaradorligiga ham bevosita ta’sir ko‘rsatadi.

TIMSS dasturi esa boshlang‘ich sinf o‘quvchilarining matematika va tabiiy fanlar bo‘yicha bilimlarini baholash orqali ularning analitik fikrlash qobiliyatini aniqlashga yordam beradi. Ushbu dastur natijalari asosida o‘quv dasturlarini modernizatsiya qilish, o‘quv-metodik ta’minotni takomillashtirish hamda ta’lim sifatini oshirish strategiyalarini ishlab chiqish imkoniyati yaratiladi.

Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, xalqaro baholash natijalari yuqori bo‘lgan davlatlarda quyidagi omillar ustuvor ahamiyat kasb etadi:

- o‘qituvchilarning yuqori kasbiy kompetensiyasi;
- ta’lim jarayonida kompetensiyaviy yondashuvning ustuvorligi;
- individual va differensial ta’lim texnologiyalarining joriy etilishi;
- o‘quvchilarni mantiqiy va kreativ fikrlashga yo‘naltiruvchi metodlardan foydalanish;
- zamonaviy baholash mexanizmlarining qo‘llanilishi;
- ta’lim jarayonining muntazam monitoring qilinishi.

ISSN 3030-3907

Tadqiqot natijalari O‘zbekistonda ham xalqaro baholash dasturlariga tayyorgarlik doirasida muhim islohotlar olib borilayotganini ko‘rsatadi. Jumladan, boshlang‘ich ta’lim mazmunining kompetensiyaviy model asosida yangilanayotgani, o‘qituvchilar malakasini oshirish dasturlarining takomillashtirilayotgani hamda yangi baholash tizimlari joriy qilinayotgani ta’lim sifatini oshirishga xizmat qilmoqda.

MUHOKAMA. Boshlang‘ich ta’lim tizimida xalqaro baholash dasturlaridan samarali foydalanish masalasi bugungi kunda pedagogika fanining muhim yo‘nalishlaridan biri sifatida namoyon bo‘lmoqda. Chunki zamonaviy ta’lim jarayonida o‘quvchilarning nafaqat nazariy bilimlari, balki ularni real hayotiy vaziyatlarda qo‘llash kompetensiyasini rivojlantirish ustuvor vazifaga aylanmoqda. Shu nuqtayi nazardan, xalqaro baholash dasturlari ta’lim sifatini aniqlashning samarali mexanizmi bo‘lib xizmat qiladi.

Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, xalqaro baholash natijalari yuqori bo‘lgan davlatlarda ta’lim mazmuni asosan funksional savodxonlikni rivojlantirishga yo‘naltirilgan. Bunda o‘quvchilarning matn bilan ishlash, muammoni tahlil qilish, axborotni qayta ishlash, dalillar asosida xulosa chiqarish hamda mustaqil fikr yuritish ko‘nikmalariga alohida e’tibor qaratiladi. Bu esa boshlang‘ich ta’lim bosqichidan boshlab yuqori intellektual salohiyatni shakllantirish imkonini beradi.

Boshlang‘ich ta’limda xalqaro baholash dasturlari asosida ta’lim sifatini oshirish omillaridan biri sifatida pedagoglarning kasbiy kompetensiyasini rivojlantirish muhim ahamiyat kasb etadi. O‘qituvchining metodik tayyorgarligi, innovatsion pedagogik texnologiyalarni qo‘llay olish qobiliyati, interaktiv metodlardan foydalanish ko‘nikmasi hamda zamonaviy baholash tizimlarini tushunishi o‘quvchilarning natijalariga bevosita ta’sir qiladi. Shu sababli pedagoglarni xalqaro baholash standartlari asosida muntazam malaka oshirish tizimini rivojlantirish zarur hisoblanadi.

Shuningdek, ta’lim mazmunini xalqaro baholash mezonlariga moslashtirish ham ta’lim sifatini oshirishda muhim omil sifatida namoyon bo‘ladi. Amaliy tahlillar shuni ko‘rsatadiki, ayrim hollarda o‘quvchilarda nazariy bilimlar yetarli bo‘lsa-da, ularni kundalik hayotiy vaziyatlarda qo‘llash kompetensiyasi past darajada qolmoqda. Mazkur muammoning oldini olish uchun o‘quv topshiriqlarini hayotiy vaziyatlarga asoslangan holda tashkil etish, mantiqiy va tanqidiy fikrlashni rivojlantiruvchi mashqlardan foydalanish muhimdir.

Ta’lim sifatini oshirishning yana bir muhim omili – baholash tizimini takomillashtirish hisoblanadi. An’anaviy baholash tizimi ko‘proq bilimni eslab qolish va qayta tiklashga yo‘naltirilgan bo‘lsa, xalqaro baholash tizimlari bilimdan foydalanish, tahliliy fikrlash va amaliy kompetensiyalarni aniqlashga

ISSN 3030-3907

qaratilgan. Shu bois boshlang‘ich ta’lim tizimida formatif va summativ baholash usullaridan samarali foydalanish, diagnostik monitoring mexanizmlarini joriy etish zarur.

Xalqaro tajribalar shuni ko‘rsatadiki, yuqori natijalarga erishgan davlatlarda o‘quvchi markazli ta’lim modeli keng qo‘llaniladi. Bunday yondashuv o‘quvchining individual ehtiyojlari, qobiliyatlari va qiziqishlarini hisobga olishga asoslanadi. Bu esa ta’lim samaradorligini oshirish bilan bir qatorda o‘quvchilarda mustaqil ta’lim olish kompetensiyasini ham rivojlantiradi.

Boshlang‘ich ta’lim sifatini oshirishda ota-onalar bilan hamkorlikni kuchaytirish ham muhim omillardan biridir. O‘quvchilarning kitobxonlik madaniyatini rivojlantirish, mustaqil o‘qish ko‘nikmalarini shakllantirish va uy sharoitida ta’limni qo‘llab-quvvatlash o‘quv natijalariga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli xalqaro baholash dasturlari doirasida oilaviy muhitning ta’lim natijalariga ta’sirini hisobga olish dolzarb masalalardan biri sanaladi.

Tahlillar asosida quyidagi omillar boshlang‘ich ta’lim sifatini oshirishda ustuvor yo‘nalishlar sifatida belgilandi:

Boshlang‘ich ta’lim mazmunini xalqaro baholash mezonlari bilan uyg‘unlashtirish;

O‘qituvchilarning metodik va kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirish;

Funksional savodxonlikka asoslangan o‘quv topshiriqlarini keng joriy qilish;

Diagnostik va kompetensiyaviy baholash mexanizmlarini rivojlantirish;

Zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalanishni kengaytirish;

Ota-onalar va maktab hamkorligini mustahkamlash;

O‘quvchilarda tanqidiy, kreativ va mantiqiy fikrlash ko‘nikmalarini shakllantirish.

XULOSA. Mazkur tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, boshlang‘ich ta’lim tizimida xalqaro baholash dasturlaridan samarali foydalanish ta’lim sifatini oshirishning muhim omillaridan biri hisoblanadi. Xalqaro baholash dasturlari o‘quvchilarning nazariy bilimlarini emas, balki ularning bilimlarni amaliy vaziyatlarda qo‘llash kompetensiyasini aniqlash imkonini beradi. Shu jihatdan ular zamonaviy ta’lim sifati monitoringining samarali vositasi sifatida xizmat qiladi.

Tahlillar asosida aniqlanishicha, boshlang‘ich ta’lim sifatini oshirish uchun avvalo ta’lim mazmunini funksional savodxonlikka yo‘naltirish, o‘quvchilarning mantiqiy fikrlash qobiliyatini rivojlantirish, o‘qituvchilarning kasbiy salohiyatini oshirish hamda baholash tizimini modernizatsiya qilish zarur. Xususan, PIRLS va TIMSS kabi xalqaro baholash dasturlarining metodologik asoslarini o‘quv

ISSN 3030-3907

jarayoniga integratsiya qilish o‘quvchilarning bilim samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Shuningdek, boshlang‘ich ta’lim tizimida xalqaro tajribalarni milliy ta’lim modeli bilan uyg‘unlashtirish, innovatsion pedagogik texnologiyalarni keng qo‘llash va kompetensiyaviy ta’lim modelini rivojlantirish muhim strategik yo‘nalishlardan biri sifatida baholanadi. O‘quvchi shaxsiga yo‘naltirilgan ta’lim muhitini yaratish, individual yondashuvni rivojlantirish hamda oilaviy ta’lim omillarini mustahkamlash orqali boshlang‘ich ta’lim samaradorligini sezilarli oshirish mumkin.

Xulosa qilib aytganda, xalqaro baholash dasturlariga asoslangan ta’lim tizimi boshlang‘ich ta’lim sifatini yangi bosqichga olib chiqish, xalqaro raqobatbardosh inson kapitalini shakllantirish hamda ta’limning barqaror rivojlanishini ta’minlashga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti. Ta’lim-tarbiya tizimini yanada takomillashtirishga oid farmon va qarorlar to‘plami. – Toshkent: O‘zbekiston, 2023.
2. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi. Umumiy o‘rta ta’lim sifatini oshirish hamda xalqaro baholash dasturlarini joriy etishga oid me’yoriy hujjatlar to‘plami. – Toshkent, 2022.
3. O‘zbekiston Respublikasi Maktabgacha va maktab ta’limi vazirligi. Boshlang‘ich ta’lim davlat ta’lim standarti va o‘quv dasturlari. – Toshkent, 2023.
4. Boshlang‘ich ta’lim pedagogikasi, innovatsiya va integratsiyasi. O‘quv qo‘llanma. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2021.
5. Tolipov O‘., Usmonboyeva M. Pedagogik texnologiyalar: nazariya va amaliyot. – Toshkent: Fan, 2017.
6. Ishmuhamedov R., Yuldashev M. Ta’lim va tarbiyada innovatsion pedagogik texnologiyalar. – Toshkent: Nihol, 2020.
7. Azizxo‘jayeva N. Pedagogik texnologiya va pedagogik mahorat. – Toshkent: TDPU nashriyoti, 2019.
8. Xasanboyev J., To‘raqulov X., Haydarov M. Pedagogika nazariyasi va tarixi. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2020.
9. Musurmonova O. Pedagogik tadqiqot metodologiyasi. – Toshkent: O‘qituvchi, 2018.
10. Egamberdiyeva N. Pedagogik kompetentlik va innovatsion faoliyat asoslari. – Toshkent, 2021.

ISSN 3030-3907

УДК 69.059.32:72.025.4:624.138

ИНЪЕКЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УКРЕПЛЕНИИ КОНСТРУКЦИЙ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ: ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО АДАПТАЦИИ ДЛЯ ИСТОРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ БУХАРЫ И УЗБЕКИСТАНА

Файзуллаева З.Н.

Бухарский государственный технический университет, г. Бухара, Узбекистан

E-mail:zfayzullayeva@bstu.uz

Аннотация. В статье рассматриваются современные инъекционные технологии, применяемые для укрепления несущих конструкций памятников архитектуры. На основе анализа зарубежного опыта, прежде всего египетской практики реставрации исторических зданий Каира (мечеть Соргутамеш, церковь Абу-Серга, мечеть Ибн Тулуна), систематизированы ключевые методы: цементационное нагнетание, химические и эпоксидные инъекции, струйная цементация (Jet Grouting). Проведён анализ геотехнических расчётных моделей, применяемых при оценке несущей способности основания до и после укрепления. Обоснована возможность адаптации перечисленных технологий для объектов исторической застройки Бухары и Узбекистана с учётом местных инженерно-геологических условий, климатических особенностей и специфики традиционного строительного материала (пахса, жжёный кирпич, ганч). Результаты исследования могут быть использованы при разработке национальных норм реставрации объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО.

Ключевые слова: инъекционные технологии, геотехника, памятники архитектуры, реставрация, цементационное нагнетание, Jet Grouting, Бухара, Египет, несущая способность основания, исторические здания.

Abstract. This article examines contemporary grouting technologies used for strengthening load-bearing structures of architectural heritage monuments. Based on an analysis of international experience, primarily Egyptian practice in restoring historical buildings in Cairo (Sarghatmish Mosque, Abu Serga Church, Ibn Tulun Mosque), the key methods are systematized: cement grouting, chemical and epoxy injection, and Jet Grouting. Geotechnical calculation models used to assess bearing capacity before and after consolidation are analyzed. The feasibility of adapting these technologies to the historical buildings of Bukhara and Uzbekistan is substantiated, taking into account local engineering-geological conditions, climatic characteristics, and the specific properties of traditional building materials (pakhsa, fired brick, ganj). The findings can serve as the basis for developing national restoration standards for UNESCO World Heritage sites.

ISSN 3030-3907

Keywords: grouting technologies, geotechnics, architectural monuments, restoration, cement grouting, Jet Grouting, Bukhara, Egypt, bearing capacity, historical buildings.

Annotatsiya. Maqolada me’moriy yodgorliklarning yuk ko‘taruvchi konstruksiyalarini mustahkamlashda qo‘llaniladigan zamonaviy inyeksion texnologiyalar ko‘rib chiqiladi. Xorijiy tajribani, eng avvalo, Qohiraning tarixiy binolarini (Sorgutamesh masjidi, Abu-Serga cherkovi, Ibn Tulun masjidi) qayta tiklash bo‘yicha Misr amaliyotini tahlil qilish asosida asosiy usullar tizimlashtirildi: sementlash, kimyoviy va epoksid inyeksiyalari, reaktiv sementlash (Jet Grouting). Mustahkamlashdan oldin va keyin poydevorning yuk ko‘tarish qobiliyatini baholashda qo‘llaniladigan geotexnik hisoblash modellari tahlil qilindi. Mahalliy muhandislik-geologik sharoitlar, iqlim xususiyatlari va an'anaviy qurilish materiallarining o‘ziga xos xususiyatlarini (paxsa, kuygan g‘isht, ganch) hisobga olgan holda Buxoro va O‘zbekiston tarixiy qurilish ob'ektlari uchun sanab o‘tilgan texnologiyalarni moslashtirish imkoniyati asoslandi. Tadqiqot natijalaridan YUNESKOning Jahon merosi ob'ektlarini tiklash bo‘yicha milliy me'yorlarni ishlab chiqishda foydalanish mumkin.

Kalit so‘zlar: inyeksion texnologiyalar, geotexnika, me’moriy yodgorliklar, restavratsiya, sementlash, Jet Grouting, Buxoro, Misr, poydevorning yuk ko‘tarish qobiliyati, tarixiy binolar.

1. ВВЕДЕНИЕ.

Памятники архитектуры являются бесценным свидетельством материальной культуры человечества. Однако с течением времени под воздействием внешних нагрузок, изменений уровня грунтовых вод, сейсмической активности и биологических факторов несущие конструкции исторических зданий подвергаются деградации. Особую проблему представляют осадка оснований, трещинообразование в кладке и снижение несущей способности грунтовых оснований фундаментов.

В мировой практике для решения этих проблем широко применяются инъекционные (нагнетательные) технологии — метод принудительного заполнения пустот, пор и трещин конструктивных элементов и грунтового основания специальными укрепляющими растворами. Данный метод занимает особое место в реставрационной практике, поскольку при минимальном механическом вмешательстве обеспечивает существенное повышение прочности и стабильности конструкций.

Богатый опыт применения инъекционных технологий накоплен в Египте, где реставрации подвергаются объекты средневековой архитектуры исламского и коптского периодов. Климатические и геотехнические условия Египта — засушливый климат, наличие рыхлых аллювиальных

ISSN 3030-3907

отложений долины Нила, высокий уровень грунтовых вод в исторической части Каира — во многом сопоставимы с условиями Центральной Азии, что делает египетский опыт особенно актуальным для Узбекистана.

Бухара — один из древнейших городов мира, включённый в Список Всемирного наследия ЮНЕСКО. На её территории сосредоточены выдающиеся архитектурные ансамбли IX–XVII веков: мавзолей Саманидов, минарет Калян, ансамбль Пои-Калян, медресе Улугбека и Абдулазизхана, крепость Арк и многочисленные мечети и мавзолеи. Большинство этих объектов выполнены из пахсы и жжёного кирпича на известковом растворе, что предопределяет специфические требования к реставрационным технологиям.

Цель данной статьи — систематизировать существующие инъекционные методы укрепления конструкций, проанализировать египетский опыт их применения и обосновать пути адаптации этих технологий к условиям исторической застройки Бухары и Узбекистана.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ ИНЪЕКЦИОННЫХ МЕТОДОВ УКРЕПЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ.

2.1. Цементационное нагнетание.

Цементационное нагнетание является наиболее распространённым методом укрепления грунтовых оснований и заполнения крупных пустот в кладке. Технология предусматривает инъекцию цементного или цементно-известкового раствора под давлением через заранее пробурённые скважины. Метод эффективен для:

–крупнозернистых и среднезернистых песчаных грунтов;
–оснований с крупными кавернами и пустотами;
–ослабленных оснований исторических фундаментов.

ISSN 3030-3907

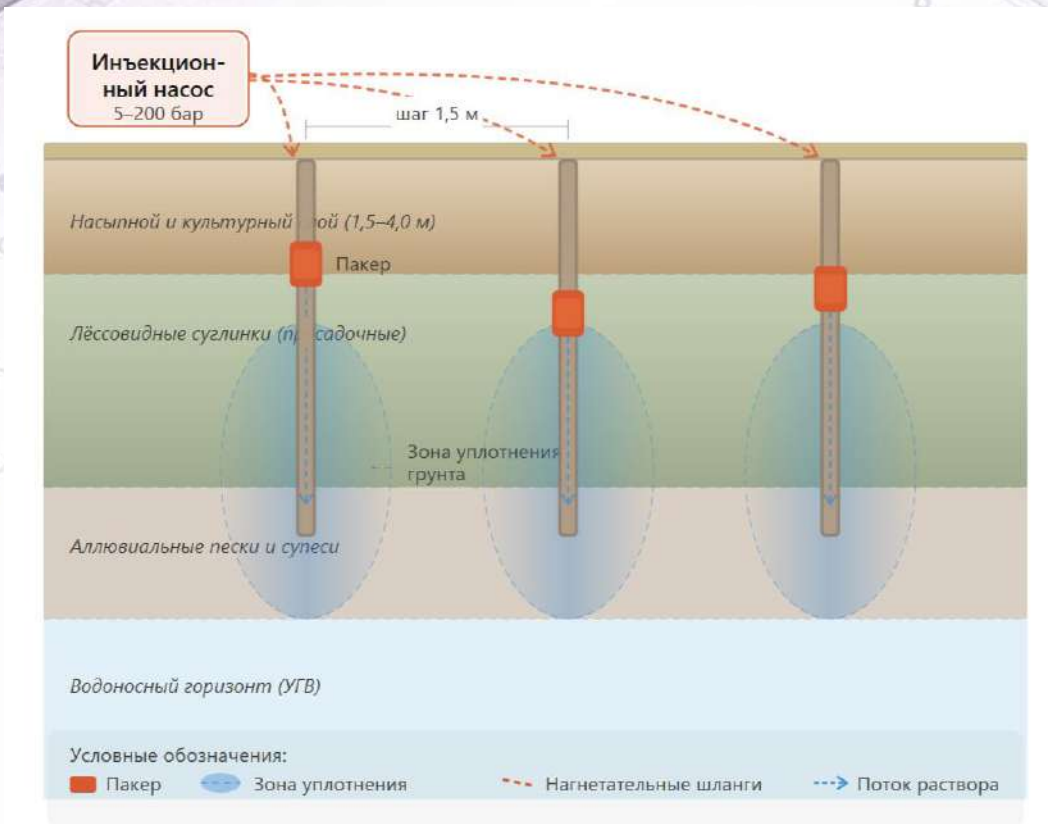


Рис.1. Схема цементационного нагнетания: расположение скважин, пакеров и зон уплотнения грунта (разрез)



Рис.2. План расположения инъекционных скважин относительно фундамента исторического здания (вид сверху)

2.2. Химические инъекции.

ISSN 3030-3907

Химические инъекции применяются при необходимости укрепления мелкозернистых грунтов, водонасыщенных оснований и тонких трещин в исторической кладке. В качестве инъекционных материалов используются силикатные гели, акриловые смолы и полиуретановые составы, обеспечивающие высокую проникающую способность и совместимость с традиционными строительными материалами.

2.3. Эпоксидные инъекции.

Эпоксидные системы применяются для заполнения структурных трещин в бетонных и каменных конструкциях. Метод обеспечивает полное восстановление монолитности элемента с прочностью соединения, превышающей прочность исходного материала. Для исторических объектов важна возможность подбора составов с низкой вязкостью, обеспечивающих проникновение в трещины шириной от 0,1 мм.

2.4. Струйная цементация.

Струйная цементация — высокоэффективный метод создания грунтоцементных колонн путём размыва и одновременного перемешивания грунта с цементным раствором под давлением 300–600 бар. Диаметр формируемых колонн составляет от 0,6 до 1,2 м. Метод обеспечивает значительное повышение несущей способности основания и может применяться при стеснённых условиях строительства, характерных для исторической застройки.

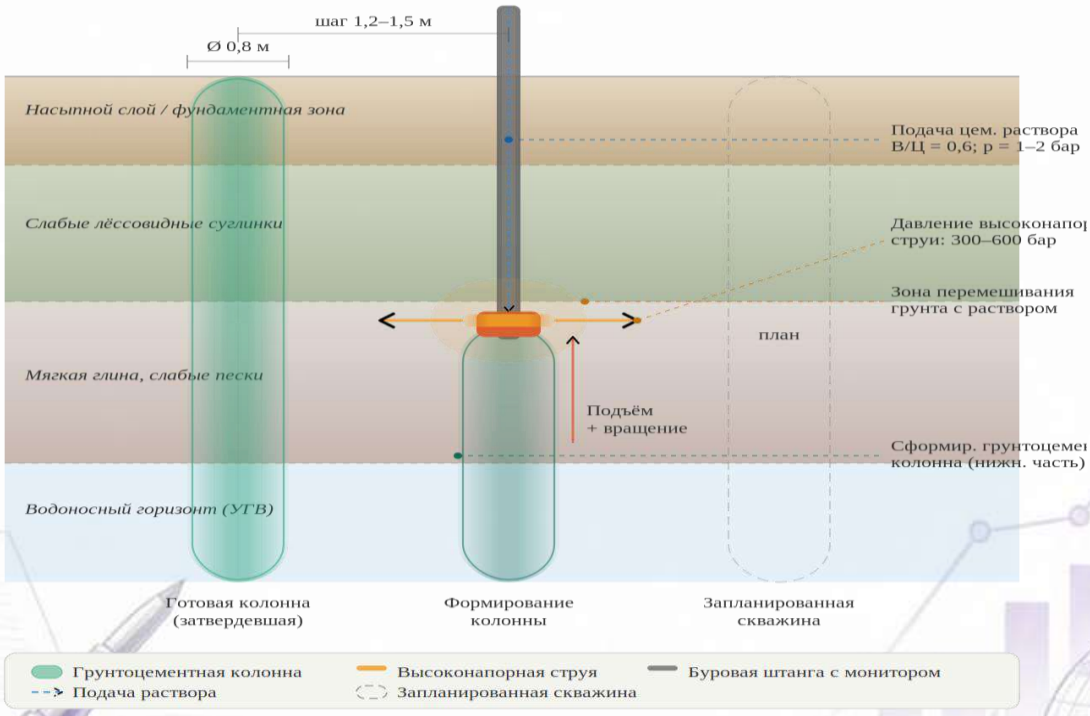


Рис. 3. Схема технологии Jet Grouting: этапы формирования грунтоцементных колонн (разрез)

ISSN 3030-3907

Таблица 1

Сравнительная характеристика инъекционных методов укрепления

Метод	Область применения	Рабочее давление	Эффективность	Совместимость с историч. кладкой
Cement Grouting	Песчаные грунты, крупные пустоты	5–50 бар	Высокая	Средняя
Chemical Grouting	Мелкие трещины, водонасыщ. грунты	2–20 бар	Средняя–высокая	Высокая
Epoxy Injection	Структурные трещины в бетоне и камне	0,5–5 бар	Высокая	Высокая
Jet Grouting	Слабые дисперсные грунты	300–600 бар	Очень высокая	Низкая (только основание)

3. РАСЧЁТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИНЪЕКЦИОННОГО УКРЕПЛЕНИЯ.

Геотехническое проектирование инъекционного усиления основывается на классических уравнениях механики грунтов. Основным критерием является условие несущей способности основания, определяемое по формуле Терцаги (1943):

$$qu = c \cdot Nc + \gamma \cdot Df \cdot Nq + 0{,}5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N\gamma, \quad (1)$$

где c — удельное сцепление грунта (кПа); γ — удельный вес грунта (кН/м³); Df — глубина заложения фундамента (м); B — ширина фундамента (м); Nc, Nq, Nγ — безразмерные коэффициенты несущей способности.

Осадка основания в линейно-деформируемом состоянии определяется по формуле:

$$S = (q \cdot H) / E_s, \quad (2)$$

где q — интенсивность нагрузки (кПа); H — мощность деформируемого слоя (м); E_s — модуль деформации грунта (кПа).

Эффективность инъекционного усиления оценивается коэффициентом улучшения грунта:

ISSN 3030-3907

$$k = E_{s,after} / E_{s,before}, \quad (3)$$

При k > 2,0 укрепление признаётся высокоэффективным; при k < 1,5 эффект усиления считается недостаточным и требует повторного нагнетания или применения альтернативного метода.

Контроль инъекционного процесса осуществляется посредством непрерывного мониторинга давления нагнетания. Предельное давление определяется из условия предотвращения гидравлического разрыва грунта:

$$P_{inj} \leq \sigma_v \cdot K_p + 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p}, \quad (4)$$

где σ_v — вертикальное напряжение от собственного веса грунта (кПа); Kp — коэффициент пассивного давления.

4. АНАЛИЗ ЕГИПЕТСКОГО ОПЫТА ИНЪЕКЦИОННОГО УКРЕПЛЕНИЯ ПАМЯТНИКОВ.

4.1. Мечеть Соргутамеш (Каир, XIV в.)

Мечеть Соргутамеш, возведённая в 1356 году, является выдающимся памятником архитектуры мамлюкского периода. В ходе обследования 2000-х годов были выявлены пустоты под полом молельного зала, значительный подъём уровня грунтовых вод вследствие утечек из городских коммуникаций, а также трещины в фундаментной кладке.

Реставрационная программа включала три взаимосвязанных этапа. На первом этапе проведена инструментальная диагностика с применением георадара (GPR — Ground Penetrating Radar), позволившая неразрушающим методом выявить зоны пустот и разуплотнённого грунта. На втором этапе выполнено численное моделирование методом конечных элементов (FEM) с целью прогнозирования поведения основания при нагнетании. На третьем этапе осуществлено цементационное нагнетание по сетке скважин с шагом 1,5 м. Применение данного комплексного подхода позволило снизить пористость грунтового основания и стабилизировать фундаменты без демонтажа исторических полов.

4.2. Церковь Абу-Серга (Старый Каир, V в.)

Церковь Абу-Серга — один из древнейших христианских храмов Египта — возведена на мягких аллювиальных отложениях долины Нила. Обследование выявило неравномерную осадку фундаментов, достигавшую 35 мм, и систему диагональных трещин, характерную для дифференциальных деформаций основания.

Для укрепления основания была применена технология Jet Grouting с формированием грунтоцементных колонн диаметром 0,8 м с шагом 1,2 м. Рабочее давление нагнетания составляло 380–420 бар. В качестве инъекционного материала использовался цементно-известковый раствор водоцементным отношением В/Ц = 0,6–0,8 с добавкой пуццоланового

ISSN 3030-3907

цемента, снижающего тепловыделение при твердении и обеспечивающего долгосрочную химическую совместимость с исторической кладкой.

По результатам геодезического мониторинга, проводившегося в течение двух лет после завершения работ, остаточная осадка не превысила 3 мм, что свидетельствует о высокой эффективности применённого решения.

4.3. Мечеть Ибн Тулуна (Каир, IX в.)

Мечеть Ибн Тулуна (876–879 гг.) — крупнейшая средневековая мечеть Каира. Реставрационная программа 2010-х годов столкнулась с задачей укрепления трещин в кирпичных стенах и сводах при недопустимости применения цементных составов, разрушающих историческую кладку за счёт кристаллизационного давления солей и различия модулей упругости.

В соответствии с принципом минимального вмешательства (minimal intervention), закреплённым в Венецианской хартии 1964 года и рекомендациях ICOMOS, были применены инъекционные растворы на основе гашёной извести с добавками пуццолановых материалов. Состав смесей подбирался с учётом коэффициента термического расширения исторической кладки и паропроницаемости стен. Предварительно выполнено удаление позднейших цементных ремонтных швов, ухудшавших состояние кладки, с заменой их на известковый раствор традиционного состава.

5. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ БУХАРЫ.

Бухара расположена в пределах Зарафшанской аллювиальной равнины на высоте 225–230 м над уровнем моря. Инженерно-геологический разрез в пределах исторического центра города характеризуется следующим строением:

1) насыпной и культурный слой мощностью 1,5–4,0 м, представленный строительным мусором, золой, органическими включениями;
2) лёссовидные суглинки мощностью 5–12 м, характеризующиеся просадочностью при замачивании (просадочность II типа);
3) аллювиальные пески и супеси на глубине более 10 м;
4) уровень грунтовых вод колеблется в пределах 2,5–6,0 м в зависимости от сезона и состояния ирригационных систем.

Строительные материалы исторических зданий Бухары имеют следующие характеристики: жжёный кирпич средневекового периода обладает прочностью на сжатие 5–15 МПа и высокой открытой пористостью (25–35%); пахсовая кладка характеризуется прочностью 1,5–

ISSN 3030-3907

4,0 МПа и значительной анизотропией свойств; традиционный известковый раствор (ганч) — прочностью 2–6 МПа при повышенной водопоглощаемости.

Основными угрозами для конструкций являются: капиллярное засоление, обусловленное подъёмом минерализованных грунтовых вод; просадка оснований при изменении влажностного режима; сейсмические воздействия (расчётная сейсмичность 7–8 баллов по MSK-64); биологические повреждения (водоросли, лишайники, микроорганизмы).

6. АДАПТАЦИЯ ЕГИПЕТСКОГО ОПЫТА ДЛЯ ПАМЯТНИКОВ БУХАРЫ И УЗБЕКИСТАНА.

6.1. Принципы адаптации.

Адаптация зарубежного опыта инъекционного укрепления к условиям Узбекистана должна осуществляться на основе следующих принципов:

–совместимость инъекционного материала с историческим субстратом по прочности, модулю упругости и паропроницаемости;

–обратимость вмешательства в соответствии с принципами международных реставрационных хартий;

–предварительная неразрушающая диагностика (GPR, ультразвуковое томографирование, термография);

–численное моделирование напряжённо-деформированного состояния системы «конструкция–основание» до начала работ.

6.2. Рекомендуемые технологические решения.

Для укрепления грунтовых оснований фундаментов исторических объектов Бухары, возведённых на просадочных лёссовидных суглинках, оптимальным является применение силикатизации — метода, хорошо зарекомендовавшего себя в Центральной Азии и аналогичного по принципу химическим инъекциям. Нагнетание раствора натриевого жидкого стекла с отвердителем (хлоридом кальция) обеспечивает значительное снижение просадочности грунта и повышение его несущей способности.

Для укрепления трещин в кирпичной кладке и сводчатых конструкциях рекомендуется применение известковых инъекционных смесей типа NHL (Natural Hydraulic Lime) с добавками пуццоланового материала, аналогично решениям, апробированным при реставрации мечети Ибн Тулуна. Указанные составы характеризуются модулем упругости 1,5–3,5 ГПа, близким к показателям исторической кладки Бухары, что исключает концентрацию напряжений на границе «старый материал — инъект».

Для объектов, расположенных в зонах высокого уровня грунтовых вод (крепость Арк, Ляби-Хауз), по аналогии с опытом церкви Абу-Серга

ISSN 3030-3907

может быть применена технология Jet Grouting с формированием грунтоцементных экранов, препятствующих капиллярному подъёму воды к фундаментам.

6.3. Адаптация с учётом сейсмических воздействий.

Существенным отличием условий Узбекистана от египетских является высокая сейсмичность территории. Реставрационные решения должны обеспечивать не только статическую, но и динамическую устойчивость укреплённых конструкций. В этой связи при проектировании инъекционного усиления необходимо выполнять расчёт по несущей способности с учётом сейсмической нагрузки, а параметры инъекционных скважин и схема нагнетания должны обосновываться результатами нелинейного динамического анализа.

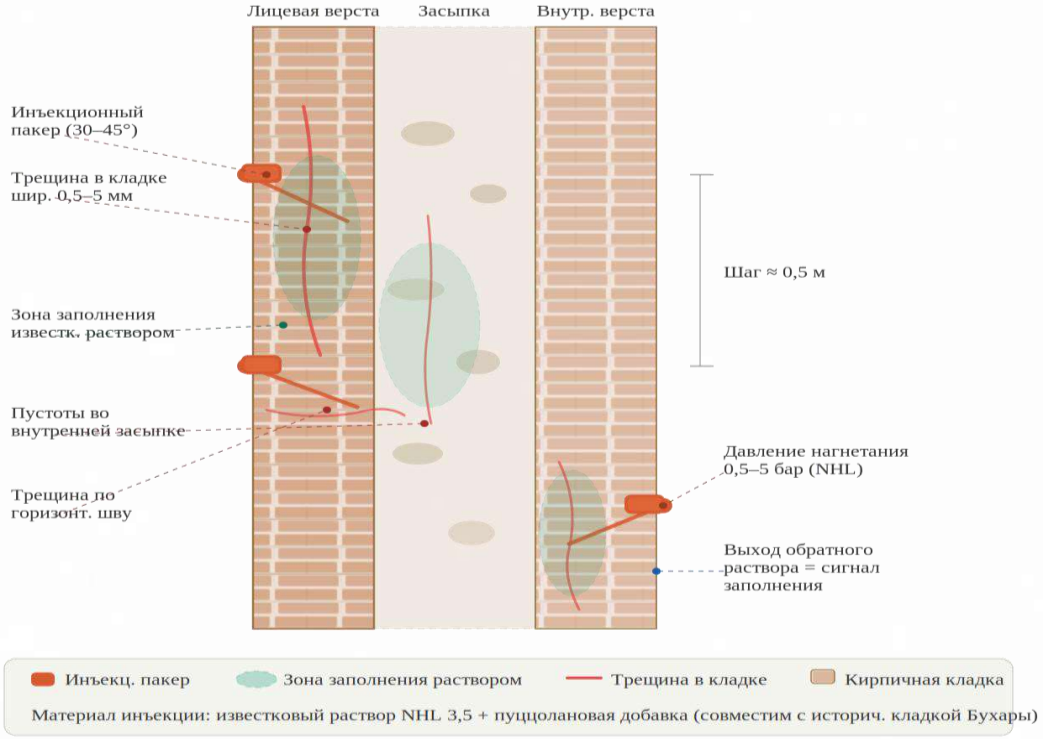


Рис. 4 Инъекционное укрепление кирпичной кладки исторических зданий: разрез трёхслойной стены с пакерами и зонами заполнения.

ISSN 3030-3907

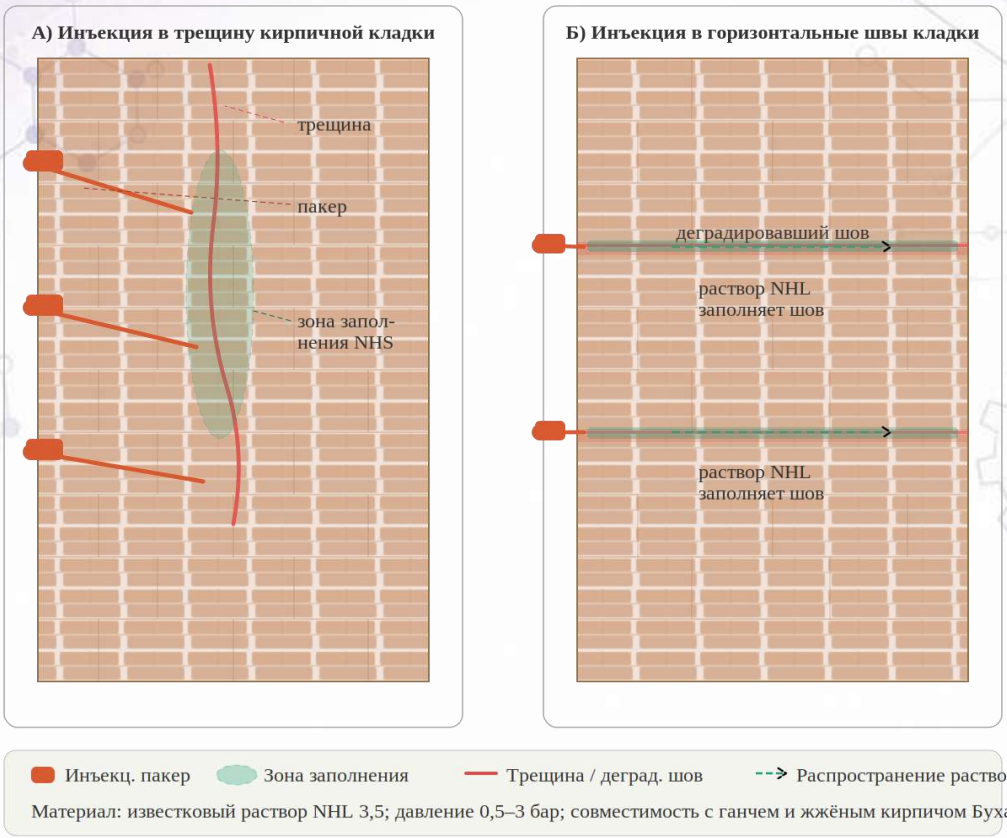


Рис. 5 — Типы инъекционного укрепления кирпичной кладки: А) инъекция в трещину; Б) инъекция в деградировавший горизонтальный шов

Таблица 2

Соответствие египетского опыта объектам исторической застройки Бухары

Египетский объект	Применённый метод	Аналогичный объект в Бухаре	Обоснование аналогии
Мечеть Соргутамеш	GPR-диагностика + Cement Grouting	Мечеть Калян, медресе Мири Араб	Схожие условия: пустоты, подъём грунтовых вод
Церковь Абу-Серга	Jet Grouting	Крепость Арк, ансамбль Ляби-Хауз	Аллювиальные слабые грунты, высокий УГВ
Мечеть Ибн Тулуна	Известковые инъекционные смеси NHL	Мавзолей Саманидов,	Кирпичная кладка на известковом растворе

ISSN 3030-3907

Египетский объект	Применённый метод	Аналогичный объект в Бухаре	Обоснование аналогии
		медресе Улугбека	

7. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ.

Существующая нормативная база Узбекистана в области реставрации памятников архитектуры требует дополнения специальным разделом, регламентирующим применение инъекционных технологий. В качестве основных элементов такого раздела предлагается включить:

1) Классификацию инъекционных методов по областям применения применительно к традиционным строительным материалам Средней Азии (пахса, жжёный кирпич, ганч, известковый раствор).

2) Требования к составу и физико-механическим характеристикам инъекционных смесей с учётом совместимости с историческим субстратом и климата Узбекистана.

3) Порядок проведения предварительной диагностики (неразрушающие методы контроля) и геотехнического обследования оснований.

4) Методику геотехнического расчёта инъекционного усиления с учётом сейсмических воздействий.

5) Требования к послереставрационному мониторингу деформаций оснований и состояния конструкций.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Проведённый анализ показал, что инъекционные технологии представляют собой высокоэффективный и малоинвазивный инструмент укрепления конструкций памятников архитектуры, успешно апробированный в мировой реставрационной практике. Египетский опыт применения данных технологий на объектах средневековой архитектуры Каира имеет непосредственную ценность для Узбекистана вследствие сопоставимости инженерно-геологических условий и конструктивных особенностей исторических зданий.

Для успешной адаптации зарубежного опыта к условиям Бухары и Узбекистана необходимо соблюдение следующих условий: обязательная предварительная диагностика неразрушающими методами; подбор состава инъекционных смесей, совместимых с традиционными строительными материалами региона; учёт сейсмических воздействий в расчётных

ISSN 3030-3907

обоснованиях; разработка специализированного нормативного документа, регламентирующего применение инъекционных технологий на объектах архитектурного наследия Узбекистана.

Реализация предложенных подходов позволит обеспечить долгосрочную сохранность выдающихся памятников Бухары, включённых в Список Всемирного наследия ЮНЕСКО, при соблюдении международных стандартов реставрационной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Terzaghi K. Theoretical Soil Mechanics. — New York: John Wiley & Sons, 1943. — 510 p.
2. Burland J.B., Broms B.B., de Mello V.F.B. Behaviour of foundations and structures: State of the Art Report // Proceedings of the 9th ICSMFE. — Tokyo, 1977. — Vol. 2. — P. 495–546.
3. Atzeni C., Pia G., Sanna U. Mechanical and hydraulic properties of traditional restoration mortars // Restoration of Buildings and Monuments. — 2007. — Vol. 13, No. 4. — P. 251–260.
4. Binda L., Saisi A., Tiraboschi C. Investigation procedures for the diagnosis of historic masonries // Construction and Building Materials. — 2000. — Vol. 14, No. 4. — P. 199–233.
5. El-Attar M.M., Saleh A.M., Zaher A. Rehabilitation of historic mosques in Cairo // Construction and Building Materials. — 2010. — Vol. 24, No. 5. — P. 672–682.
6. Lombillo I., Thomas C., Villegas L. Non-destructive testing of historic masonry structures: GPR and sonic testing // NDT & E International. — 2013. — Vol. 59. — P. 115–128.
7. Papayianni I., Pachta V., Stefanidou M. Analysis of ancient mortars and design of compatible repair mortars // Construction and Building Materials. — 2013. — Vol. 40. — P. 84–92.
8. Toumbakari E.E. Lime-Pozzolan-Cement Grouts and their Structural Effects on Composite Grouted Masonry: PhD Thesis. — Katholieke Universiteit Leuven, 2002. — 218 p.
9. Van Rickstal F. Grout Injection of Masonry, Scientific Approach and Testing: PhD Thesis. — Katholieke Universiteit Leuven, 2000. — 211 p.
10. Жумаев Б.Б. Конструктивные особенности средневековых зданий Бухары и проблемы их реставрации // Вестник архитектуры и строительства Узбекистана. — 2018. — № 2. — С. 45–53.
11. Хасанов Д.А. Геотехнические аспекты сохранения памятников архитектуры Центральной Азии // Строительство и архитектура. — 2020. — № 3. — С. 78–86.

ISSN 3030-3907

12. Маматов Ф.М. Особенности лёссовых просадочных грунтов Узбекистана и их влияние на состояние фундаментов исторических зданий // Геология и геофизика. — 2019. — Т. 60, № 4. — С. 112–121.
13. ICOMOS. Principles for the Preservation of Historic Timber Structures / adopted by the 12th General Assembly in Mexico. — 1999.
14. Venice Charter. International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites. — ICOMOS, 1964.
15. ШНК 2.01.03-19. Строительство в сейсмических районах. — Ташкент: Госстрой Узбекистана, 2019. — 106 с.

ISSN 3030-3907

HEAVY FEEDSTOCK VISBREKING PROCESS.

Samadov A.Kh.
Department of Technological Machines and Equipment, Associate Professor, Karshi State Technical University
M.Sh Meilieva
Department of Technological Machines and Equipment, assistant of the department Karshi State Technical University
Sh.O.Mallayev
Department of Technological Machines and Equipment, assistant of the department Karshi State Technical University

Annotation. Visbreaking, an important process in oil refining, plays a key role in improving the quality of fuel oil, reducing its viscosity and increasing the yield of lighter and more valuable products. This is achieved by medium thermal cracking, which breaks down large hydrocarbon molecules into smaller molecules, making it more liquid and easier to process. This article provides an in-depth analysis of the visbreaking process, its goals, comparison with other waste processing processes, existing technologies, operational control and environmental aspects.

Keywords: stable gasoline, liquefied, synthetic fuel, diesel fuel, associated gases, fractionation, condensation, cracking.

Аннотация. Висбрекинг, важный процесс в нефтепереработке, играет ключевую роль в улучшении качества мазута, снижая его вязкость и увеличивая выход более легких и ценных продуктов. Это достигается средним термическим крекингом, который расщепляет большие молекулы углеводородов на более мелкие молекулы, что делает его более жидким и легким для переработки. В данной статье представлен углубленный анализ процесса висбрекинга, его целей, сравнение с другими процессами переработки отходов, существующих технологий, оперативного контроля и экологических аспектов.

Ключевые слова: стабильный бензин, сжиженное, синтетическое топливо, дизельный топлива, попутные газы, фракционирование, конденсация, крекинг.

Annotatsiya. Neftni qayta ishlashdagi muhim jarayon bo‘lgan visbreking mazutning qovushqoqligini pasaytirish va yengil va qimmatbaho mahsulotlar chiqishini oshirishda muhim rol o‘ynaydi. Bu uglevodorodlarning katta molekulalarini kichikroq molekulalarga ajratadigan o‘rtacha termik kreking yordamida amalga oshiriladi, bu esa uni suyuqroq va qayta ishlash osonroq qiladi. Ushbu maqolada visbreking jarayoni, uning maqsadlari, chiqindilarni qayta ishlashning boshqa jarayonlari bilan taqqoslash, mavjud texnologiyalar, tezkor nazorat va ekologik jihatlar chuqur tahlil qilingan.

ISSN 3030-3907

Kalit so‘zlar: barqaror benzin, suyultirilgan, sintetik yoqilg‘i, dizel yoqilg‘isi, yo‘ldosh gazlar, fraksiyalash, kondensatsiya, kreking.

INTRODUCTION.

Visbreaking of heavy crude oil is a key process in modern oil refining, aimed at reducing viscosity and improving the performance properties of residual oil products. This process involves thermally treating heavy oil residues, such as tar and semi-tar, which results in the partial breakdown of high-molecular-weight hydrocarbons into lighter components. The primary goal of visbreaking is to produce fuel oil with reduced viscosity and to increase the yield of light petroleum products without significant coke formation.

The relevance of visbreaking stems from the need to efficiently utilize heavy crude oil and increase refining efficiency. Compared to other thermal processes, visbreaking is characterized by relatively mild operating conditions and lower capital costs. This makes it widely used in oil refineries to process residual feedstock and improve production efficiency.

In the processing of oil residues — semihudrons and tar — the target product is usually boiler fuel, obtained as a result of reducing the viscosity of the initial residue. This process of shallow decomposition of raw materials is called light cracking or visbreaking.

Visbreaking is thermal cracking for the poor. The visbreaking plant uses heavy residue from the vacuum distillation process, some of which is thermally cracked in it. The product can be divided into fractions again, which leads to a reduction in the volume of the residue. After that, a certain distillate petroleum product (diluent) is added to the residue for dilution, then the residue (pitch) of visbreaking becomes suitable for use as residual (boiler) fuel. The amount of distillate added for dilution is less than the amount of cracking products leaving the plant, so overall, the amount of residual fuel is reduced.

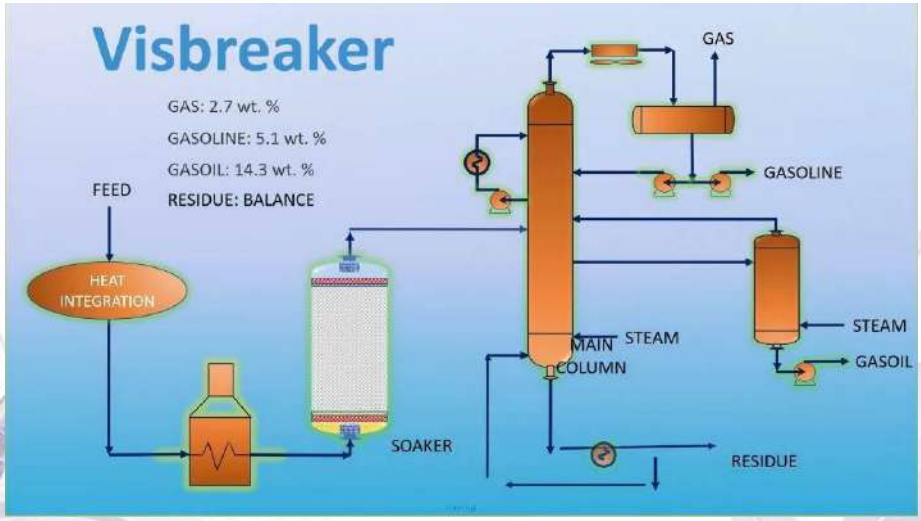


Fig. 1. The visbreaking process.

ISSN 3030-3907

Objectives of visbreaking and comparison with other cleaning processes.

The main purpose of visbreaking is to reduce the viscosity of heavy fuel oils, such as vacuum residues and bitumen, making them easier to process and utilize. These heavy oils are characterized by high viscosity, high density and high sulfur content, which makes them difficult to use directly. By breaking down large hydrocarbon molecules into smaller ones, visbreaking achieves a "viscosity reduction" effect and increases the value of heavy fuel.

In particular, the goals of visbreaking include:

Decrease in viscosity: This is the most important goal. Reducing the viscosity of heavy oil facilitates its transportation, storage and subsequent processing.

Increasing the yield of light oils: Visbreaking allows for the production of some light petroleum products such as gasoline and diesel, thereby increasing the overall yield of light oils in the refinery. Improved product properties: The oil remaining after visbreaking can be used as a raw material for the production of fuel oil or asphalt, having improved properties such as reducing sulfur content and increasing stability.

Visbreaking has its own unique features compared to other cleaning methods:

Catalytic cracking: Catalytic cracking uses catalysts to facilitate the reaction at lower temperatures, producing light petroleum products such as gasoline and diesel. Visbreaking is based on high-temperature thermal cracking with relatively harsh reaction conditions. Catalytic cracking focuses more on the production of light oil products with high added value, while visbreaking emphasizes reducing viscosity and increasing the value of using heavy oil.

Delayed coking: Delayed coking is mainly used for processing heavy raw materials such as vacuum residue to produce coke and a small amount of light oil. Visbreaking is aimed at reducing the viscosity and increasing the value of heavy oil and does not aim to produce coke. Delayed coking is a deep cracking process that produces coke as a fuel or industrial raw material, whereas visbreaking is a soft cracking process mainly aimed at reducing viscosity.

Hydrocracking: Hydrocracking uses catalysts in the presence of hydrogen to crack heavy oil into lighter products. Hydrocracking has milder reaction conditions, but requires high hydrogen pressure and expensive catalysts. Visbreaking does not require hydrogen and has relatively simple reaction conditions.

Are there any established visbreaking technologies? Currently, the most widely used visbreaking technologies in the industry include:

ISSN 3030-3907

Visbreaking furnace: This is the most traditional visbreaking process. The starting oil is subjected to thermal cracking in a furnace to produce a lighter oil and a residual oil with a reduced viscosity. The visbreaking furnace is simple, but the furnace efficiency is low and the energy consumption is high.

Settling tank visbreak: The reaction takes place in a settling tank with a longer residence time, which is suitable for processing high-viscosity raw materials. The visbreak in the sump is easy to operate, but the reaction rate is slow and the production efficiency is low.

Coil Visbreaking: This process uses rapid heating and rapid cooling to control the degree of reaction and reduce the occurrence of adverse reactions. Coil visbreaking can increase the yield of light oil, but it has high equipment requirements.

In addition, some new visbreaking technologies are being studied and developed, such as fluidized bed visbreaking and catalytic visbreaking. These new technologies are aimed at improving reaction efficiency, reducing energy consumption and reducing pollutant emissions, and are the future direction of visbreaking technology development.

How can I control the parameters of the visbreaking installation? Managing the operation of a visbreaking installation is crucial and includes, in particular, the following:

Reaction temperature: The reaction temperature is a key factor influencing the degree of cracking. Too high or too low a temperature will affect the quality and yield of the product. To achieve the best viscosity reduction effect, the reaction temperature must be precisely controlled according to the nature of the feedstock and technological requirements.

Reaction pressure: The reaction pressure has a definite effect on the cracking reaction. As a rule, a lower pressure is used. Reducing the reaction pressure can reduce the occurrence of adverse reactions and increase the yield of light oil.

Time of stay: The residence time determines the degree of reaction and should be adjusted depending on the nature of the raw materials and technological requirements. Too long a residence time will lead to excessive cracking and the formation of too much gas and coke; too short a residence time will lead to a poor viscosity reduction effect.

Consumption of raw materials: The consumption of raw materials must be adjusted to the reaction temperature, pressure and residence time to ensure stable operation of the plant and product quality.

ISSN 3030-3907

Recycling rate: The recycling ratio refers to the ratio of recycled oil to fresh raw materials. Regulation of the recirculation coefficient allows you to control the reaction depth and product properties.

In addition to the above parameters, in order to ensure stable operation of the plant and product quality, it is also necessary to monitor the combustion efficiency in the furnace, the state of liquid flow in the reactor, etc.

Pollutants and their processing in the visbreaking process. The visbreaking process forms certain pollutants, mainly:

Exhaust gases: mainly hydrocarbon gases, sulfides, nitrogen oxides and others that need to be purified. Combustion or reduction of hydrocarbon gases; sulfides can be removed using desulfurization devices; nitrogen oxides can be recycled using selective catalytic regeneration (SCR) or selective non-catalytic regeneration (SNCR) and other technologies.

Waste water: They mainly contain pollutants such as petroleum and phenols, which must be degreased and biologically treated. Oil can be removed using oil separators or flotation plants; phenols can be treated by biodegradation or adsorption.

Solid waste: They mainly include coke, waste, etc., which must be used or disposed of safely. Coke can be used as fuel or for the production of electrode materials; waste can be incinerated or buried in a landfill.

In order to meet the requirements of environmental protection, appropriate measures must be taken to clean up various pollutants, such as exhaust gas treatment, wastewater treatment and integrated solid waste management. Visbreaking, as an important method of processing heavy fuel oil, plays an important role in increasing the yield of light oil and increasing the efficiency of the product. Due to the continuous optimization of technological processes, operational control and enhanced environmental management, the vibration stand will play an even more important role in the future oil refining industry. In the context of increasing environmental protection requirements and changing energy structure, vibration stand technology will evolve towards high efficiency, energy conservation and environmental protection, contributing to the sustainable development of the oil refining industry.

The most common method of deepening oil refining is vacuum distillation of fuel oil and separate processing of vacuum gas oil (by catalytic and hydrocracking) and tar. The resulting tar, especially in the process of deep vacuum distillation, cannot be directly used as boiler fuel due to its high viscosity. To obtain commercial boiler fuel from such tar without processing them, a large consumption of distillate diluents is required, which practically negates the deepening of oil refining achieved by vacuum distillation. The simplest method

ISSN 3030-3907

of shallow tar processing is visbreaking in order to reduce viscosity, which reduces diluent consumption by 20-25% by weight, as well as the total amount of boiler fuel. Usually, the raw material for visbreaking is tar, but it is also possible to process heavy oils, fuel oil, and even asphalt from de-asphalting processes. Visbreaking is carried out under less harsh conditions than thermal cracking, due to the fact that, firstly, heavier and therefore easier to crack raw materials are processed; secondly, the permissible cracking depth is limited by the onset of coke formation (temperature 440 - 500^{0}C, pressure 1.4 - 3.5 MPa).

Studies have shown that as the duration (i.e., deepening) of cracking increases, the viscosity of the cracking residue initially decreases intensively, reaches a minimum, and then increases. The extreme nature of the change in the dependence of the viscosity of the residue on the cracking depth can be explained as follows. In the feedstock (tar), the main carrier of viscosity is sodium asphaltenes of a "loose" structure. The subsequent increase in the viscosity of the cracking residue is explained by the formation of compaction products - carbenes and carbides, which are also viscosity carriers. It is believed that a more intensive decrease in the viscosity of the cracking residue is facilitated by an increase in temperature with a corresponding reduction in the duration of visbreaking. This fact indicates that the temperature and duration of visbreaking are not completely interchangeable. This conclusion also follows from the data that the activation energy for the decay reaction is significantly higher than the condensation reaction. Therefore, there cannot be a complete analogy in the material balance and especially in the composition of products between different types of visbreaking processes. In recent years, two main directions have been identified in the development of visbreaking in our country and abroad. The first is "furnace" (or visbreaking in a furnace with a coking section), in which a high temperature (480 - 500^{0}C) is combined with a short residence time (1.5 - 2 min.).

The second direction is visbreaking with an external reaction chamber, which, in turn, may differ in the method of feeding raw materials to the reactor for upstream and downstream visbreaking.

In the second type of visbreaking, the required degree of conversion is achieved with a milder temperature regime (430-450^{0}C) and a long residence time (10 - 15 min.). Low-temperature visbreaking with a reaction chamber is more economical, since with the same degree of conversion, the thermal load on the furnace is lower. However, with "furnace" cracking, a more stable cracking residue is obtained with a lower yield of gas and gasoline, but with an increased yield of gas oil fractions. In recent years, there has been a steady tendency to increase the weight of visbreaking raw materials due to an increase in the depth of extraction of heavy oils with a high content of asphalt - resinous substances of

ISSN 3030-3907

increased viscosity and coking ability, which significantly complicates their processing. The domestic visbreaking plants in operation differ somewhat among themselves, since they were built either according to a standard design, or by reconstructing AT or thermal cracking plants. They differ in the number and type of furnaces, columns, and the presence or absence of an external reaction chamber. Material balance visbreaking visbreaking with vacuum distillation gas 3.7 3.0 stabilization head 2.5 gasoline 12.0 2.5 8.5 visbreaking residue 81.3 – light vacuum gas oil – 6.0 heavy vacuum gas oil – 20.0 vacuum visbreaking residue – 59.5 losses 0.5 0.5 flow diagram residual raw materials (tar) are pumped through heat exchangers, where it is heated by the heat of the waste products to The temperature is 3000C and enters the heating and reaction coils of parallel furnaces.

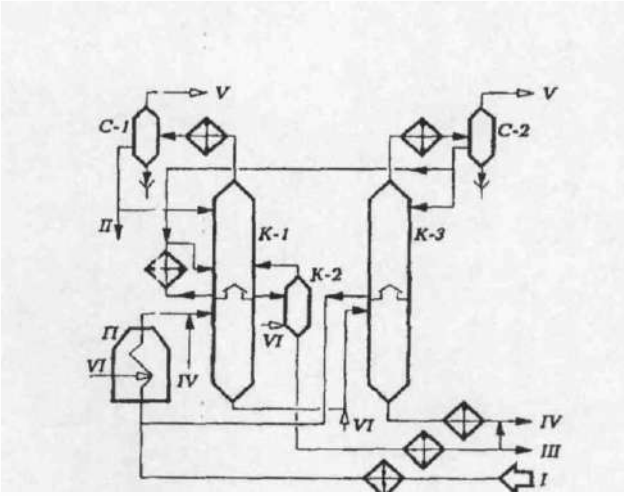


Figure 2 - Schematic diagram of a tar visbreaking installation. I - raw materials; II - gasoline for stabilization; III - kerosene - gas oil fraction (200 - 350 0C); IV - visbreaking residue; V - HFC gases; VI - water vapor.

Visbreaking products are removed from the furnaces at a temperature of 500^0C and cooled by quenching (visbreaking of the residue) to a temperature of 430^0C and sent to the lower ьsection of the distillation column K1. A combined-cycle gas mixture is discharged from the top of this column, which, after cooling and condensing in refrigerating condensers, enters the C1 gas separator, where it is divided into gas, water and a gasoline fraction. Part of the gasoline is used to irrigate the top of K1, and the balance amount is directed to stabilization.

A fraction of light gas oil (200 - 3500C) is removed from the battery K1 through the steam column K2 and, after cooling in refrigerators, is sent to mix with the visbreaking residue or removed from the installation. A part of the light gas oil is used to create an intermediate circulating irrigation of the K1 column. Cubic liquid from K1 flows by gravity into column K3. By reducing the pressure from 0.4 to 0.1 - 0.05 MPa and supplying water vapor to the flow from K1 to K3, light fractions are steamed. The combined-cycle gas mixture discharged from the top of K3 enters the gas separator C2 after cooling and condensationThe gases

ISSN 3030-3907

from it are directed to the nozzles of the furnaces, and the light phlegm returns to column K1. Heavy phlegm is discharged from the K3 battery, which mixes with the initial tar sent to the furnace. The remaining visbreaking from the bottom of K3 is removed from the installation after cooling in heat exchangers and refrigerators. To prevent coking of the reaction coils of the furnaces (volumetric floor flame), they provide for the supply of a turbulator - water vapor in the area where the flow temperature reaches 430 - 450^{0}C. Vacuum distillation visbreaking at a number of refineries (Omsk and Novo-Ufimskoye), through the reconstruction of thermal cracking plants, the technology of a combined process of tar visbreaking and vacuum distillation of cracking residue into light and heavy vacuum gas oil and heavy visbreaking residue has been developed and mastered. The target product of the process is heavy vacuum gas oil, characterized by a high density (940-990 kg/m3), containing 20-40% polycyclic hydrocarbons, which can be used as a raw material for producing high-index thermal gas oil or electronic coke, as well as as a raw material for catalytic or hydrocracking and thermal cracking processes, both without and with preliminary hydrotreating. Light vacuum gas oil is mainly used as a diluent of heavy tar. The heavy visbreaking residue contains concentrated polycyclic aromatic hydrocarbons, resins, and asphaltenes.

CONCLUSION.

Thus, the visbreaking process is one of the most efficient and cost-effective methods for shallow processing of heavy oil residues. The main objective of this process is to reduce the viscosity of tar and other heavy oil fractions, which reduces the consumption of diluents and increases the yield of light petroleum products. Visbreaking is carried out under relatively mild thermal cracking conditions and is characterized by lower coke formation compared to other deep processing processes.

The analysis showed that the efficiency of the process depends on the correct choice of technological parameters: temperature, pressure, residence time of raw materials and the recirculation coefficient. The optimal combination of high temperature and short reaction time contributes to a maximum reduction in the viscosity of the residue and an increase in the stability of the products obtained. At the same time, excessive deepening of the process leads to the formation of carbenes and carbides, which cause an increase in viscosity and coking of equipment.

Modern visbreaking technologies are constantly being improved. Along with traditional furnace installations, installations with reaction chambers are becoming more widely used, providing a more economical mode of operation and improving product quality. In addition, much attention is paid to the

ISSN 3030-3907

environmental safety of the process, including the treatment of gas emissions, wastewater and solid waste treatment.

Consequently, visbreaking occupies an important place in the modern oil refining industry, ensuring an increase in the depth of oil refining, the rational use of heavy raw materials and the improvement of the technical and economic performance of refineries. In the future, further development of visbreaking technologies will be aimed at improving energy efficiency, reducing environmental stress and increasing the yield of valuable petroleum products.

USED LITERATURE

1. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа. – Уфа: "Гилем", 2002. - 671 с.
2. Джураева Г.Х., Самадов А.Х., Мейлиева М.Ш., & Исматов Б.А. (2026). МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ. Экономика и социум, (1-2 (140)), 401-405.
3. Samadov A.X., & Ashurov Sh.M. (2024). ZAMONAVIY NEFT VA GAZNI TASHISH VA SAQLASH TEXNOLOGIYASI VA JIHOZLARI. Экономика и социум, (5-1 (120)), 748-752.
4. Рябов В.Д. Химия нефти и газа: учебное пособие. – М.: ИД «ФОРУМ», 2009. – 336 с.
5. Samadov A.X., & Qosimova A.Y. (2024). ZAMONAVIY ROCKSTRONGTM VA GIDRO-SEAT BARREL TIZIMI (HSBTM) KERN OLISH TIZIMLARINI ASOSLASH. Экономика и социум, (2-1 (117)), 621-624.
6. Samadov A.X., Kasimova A.Y., Umedullayev A.G. USE OF GEONAVIGATION SYSTEM IN CONTROLLING AND FAST CONTROL OF HORIZONTAL WELLS' STEM TRAJECTORY // Экономика и социум. 2024. №3-1 (118). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/use-of-geonavigation-system-in-controlling-and-fast-control-of-horizontal-wells-stem-trajectory (дата обращения: 11.11.2024).
7. Nomozov B.Yu., Samadov A.X., Yuldashev J.B., Boyqobilova M.M. ISM TURDAGI QATTIQ QOTISHMALI BURG`ILAR // Экономика и социум. 2023. №9 (112). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ism-turdagi-qattiq-qotishmali-burg-ilar (дата обращения: 11.11.2024).

ISSN 3030-3907

UDK:622.24.06

OLMOSLI BURG‘ULARNING QATTIQ TUZLI QATLAMLARGA ISHLATILISHINI ASOSLASH

Bekjonov Rozisher Soatmurodovich
Qarshi davlat texnika universitetii, Qarshi, O‘zbekiston.
Bobomurodov O‘tkir Ziyodullayevich
Qarshi davlat texnika universitetii, Qarshi, O‘zbekiston.
Jo‘rayev Eldor Isroilovich
Qarshi davlat texnika universitetii, Qarshi, O‘zbekiston.

Annotatsiya. Maqolada neft va gaz sanoatining asosiy ustuni bo‘lgan neft va gaz quduqlarini samarali burg‘ilash, ularni o‘z vaqtida ishga tushirish va burg‘ilash jarayonida avaraiyalarni oldini olish, burg‘ilash sanoati jihoz uskunalarni rivojlantirish, burg‘ilarning zamonaviy va innovasion ishlanmalarni yaratish va ushbu zamonaviy burg‘ilar orqali quduqlarni kam vaqt, eng tejamkor va samarali burg‘ilash imkoniyatlarini oshirish bo‘yicha takliflar berilgan.

Kalit so‘zlar: gibrid burg‘i, PDC burg‘i, innovasion ishlanmalar, burg‘ilash sanoati, tog‘ jinslari, yangi texnologiyalar, burg‘ilash texnologiyasi.

Аннотация. В статье речь идет об эффективном бурении нефтяных и газовых скважин, которое является основной опорой нефтегазовой отрасли, их эксплуатации и предотвращении аварий в процессе бурения, развитии бурового оборудования, современных и инновационных разработках буровых установок. В предложение по созданию и увеличению возможностей бурения скважин с помощью этих современных долот в короткие сроки, наиболее экономичным и эффективным способом.

Ключевые слова: гибридное долото, долото PDC, инновационные разработки, буровая отрасль, горные породы, новые технологии, технология бурения.

Annotation. The article deals with the effective drilling of oil and gas wells, which is the main support of the oil and gas industry, their operation and prevention of accidents during the drilling process, the development of drilling equipment, modern and innovative developments of drilling rigs. The proposal is to create and increase the ability to drill wells using these modern bits in a short time, in the most economical and efficient way.

Keywords: hybrid bit, PDC bit, innovative developments, drilling industry, rocks, new technologies, drilling technology.

KIRISH.

Neft va gaz mahsulotlarining jadallik bilan ortib borishi hozirgi sharoitlarda xalq xo`jaligi tarmoqlarining rivojlanishiga turtki beradi. Neft va gaz konlarini

ISSN 3030-3907

izlab topish, o`zlashtirish, tarqalish qonuniyatlarini, zahiralarini, kelajakdagi istiqbollarini aniqlashda burg`ilash sohasining o`rni beqiyosdir.

Jahon iqtisodiyotining rivojlanish sur'atlari kishilik jamiyatining barcha soha va jabhalarida neft va gaz mahsulotlariga yuqori talablarni keltirib chiqaryapti, ayniqsa texnologiyalarni global rivojlanishi natijasida keng avj olayotgan resurslar yetishmasligi vujudga kelyapti. Bunga barham berishning asosiy omillaridan biri sifatida yangi neft va gaz konlarini izlab toppish, quduqlarni samarali va sifatli burg`ilash, quduqlarni halokatlarsiz o`zlashtirish hisoblanadi. Yangi konlarni izlab toppish va ularni o`zlashtirish jarayonini uzluksiz takomillashtirish davr talabiga aylanmoqda. [1].

Respublikamizning xalq xo‘jaligining neftga bo‘lgan yuqori talabi mavjudligi sharoitida neft va gaz resurslarini qazib chiqarish xalq xo‘jaligining to‘liq qondirish uchun yangi konlarni izlab topish, ularni o`zlashtirish xozirgi kunning dolzarb va ustuvor vazivasi bo`lib hisoblanadi. Quduqlarni izlab topishda va ularni o`zlashtirishda xozirgi kunda eng kerakli bo`lgan jihoz va uskunalardan biri bu burg`ilar hisoblanadi. Amalda burg`ilarning bir necha turlari mavjud bo`lib xozirgi vaqtda jahon burg`ilash amaliyotida mavjud bo`lgan zamonaviy va innovatsion burg`ilardan eng mukammali hisoblanuvchi gibdrid burg`ilardir. [2].

Baker Hughes kompaniyasining gibrid burg‘ilash texnologiyasi eng murakkab sharoitlarda burg‘ilash vaqtini va tushirish – ko`tarish ishlarini qisqartirish uchun sharoshkali va polikristal olmosli ixcham (PDC) qattiq burg`ilarni yagona, patentlangan konstruksiyasini birlashtiradi. Sharoshkali burg`ilarining mustahkamligi va barqarorligi, shuningdek, olmos burg`ilarning keskirligi va uzluksiz ishlashi natijasida burg`ilab o`tish tezligini oshiradi, ushbu texnologiya quduq tubini shlamdan tozalashni oshiradi. [1].

Sharoshkali burg`ilarga nisbatan burg`ilab o`tish yuqori potentsial tezligi.

Sharoshkali burg`ilar bilan solishtirganda, gibrid burg`iga og‘irlikni kamaytirish va burg`ining sakrashini minimallashtirish orqali burg`ilashni mexanik tezligini oshirish mumkin. [4].

PDC bilan solishtirganda optimallashtirilgan burg‘ilash dinamikasi.

PDC bilan solishtirganda, gibrid burg`ilar alohida murakkab qatlamlarni burg‘ilashda sezilarli darajada bardoshli va samaralidir. Ular sirpanishni kamaytiradi va burg‘ilash momentini boshqarishni osonlashtiradi, uni yanada izchil qiladi, turli qatlamlar orqali silliq burg`ilab o‘tishni ta'minlaydi. Takomillashtirilgan barqarorlik va yo‘nalishni boshqarish ishonchli vertikal boshqaruvni, shuningdek, qiyalangan uchastkalarda yuqori burg`ilab o`tishini tezligi ta`minlaydi.

ISSN 3030-3907

“Baker Hughes” an’anaviy burg`ilar uchun murakkab sharoitlarda qo‘llanish sohasini kengaytirish va yuqori ishlab chiqaruvchilikni ta’minlash maqsadida gibrid burg‘ilash burg`ilar texnologiyasini rivojlantirishda davom etadi. **“**Baker Hughes” gibrid burg‘ulash uchlari an'anaviy burg‘ulash uchlari uchun tasdiqlangan o‘rnini egallab, tezroq va ishonchli burg‘ulash ko`rsatkichlarini ta'minlaydi. [7].

Kymera™ Mach 5 gibrid burg`ining texnik xususiyatlari.

Kymera™ Mach 5 gibrid burg‘ilar quduq uzunligini sodda qiya qismlardan kombinatsiyalangan uchastkalarigacha uzaytiradi, bu operatsiyalar, sharoshkali burg`ini polikristalli olmos kompaktli (PDC) burg`ilar bilan almashtirishlar sonini kamaytirish imkonini beradi. Kymera Mach 5 turidagi burg`i qiya yo`nalishda burg`ilash orqali samaradorlikni oshiradi. [8].

Samaradorlikni oshirish – Kymera Mach 5 gibrid konstruktsiyali aniq muvozanatlangan kuraklar soni va sharoshkani optimallashtirishni o‘z ichiga oladi, bu esa isbotlangan ish faoliyatini samaradorligini bosqichma-bosqich o‘zgartirishga olib keladi. Kuraklar sonining ko‘payishiv barqarorlikni yanada yaxshilaydi, bu esa yeyilishga qarshi turish uchun biroz tajovuzkor bo‘ladi. Chuqur kesgichlar olmos hajmini oshiradi, bu esa burg`ini ushlab turish va burg‘ilash masofasini uzaytirish uchun chidamlilikni yaxshilaydi. O‘tkir, zich sharoshka jamlanmalari qo‘shimcha ravishda burg`ilab o`tish tezligini yaxshilash imkonini beradi. Burg`i turlariga burg‘ilash tezligi va samaradorligini oshirish uchun qiyin burg‘ilash sharoitida yuqori yuklanishlarga mo‘ljallangan burg`ilar sifatida maxsus tanlangan Dynamus™ burg`ilari, StayTrue™ shakllantirilgan olmos elementlari texnologiyasi va ikki burchakli Stabilis™ frezerlari kiradi. [1].

Burg`ilarni almashtirishiga ta’sir etuvchi omillar.

Asboblarni tushirish va ko‘tarish vaqti $T_{T.K} = 7200s,$ burg`ining har 900 sekunda kovlashi $h_1 = 5;\ h_2 = 4;\ h_3 = 3;\ h_4 = 2{,}5;\ h_5 = 2;\ h_7 = 1;\ h_8 = 0{,}3;$ metr bo‘lganda quduqni 1000 metrga burg‘ilash uchun burg`ilarni almashtirishning zaruriyati quyidagicha aniqlanadi. Burg`i ishning maksimal samaradorligini olish uchun reysli tezlikga $V_p$ mo`ljal qilinadi. [10]. U quyidagicha ifodalanadi:

$$T_{T.K} = t_n = t_g + t_c.$$

Ayrim oraliq vaqtlar uchun reysli tezlik quyidagi fomula bo‘yicha aniqlanadi:

$$V_{pi} = \frac{\sum h_i}{\sum t_{\delta.i} + T_{t.k}},$$

Bu yerda $\sum h_i = \sum t_{\delta.i}$ burg‘ilash vaqtida dolota kovlashining yig‘indisi. Keyin, birinchi 900 sekund burg‘ilashning reysli tezligi aniqlanadi. [5].

ISSN 3030-3907

$$V_{pi} = \frac{h_1}{t_{\delta 1} + T_{m\kappa}} = \frac{5}{0{,}25 + 2} = 2{,}22 m/soat$$

1800, 2700, 3600 sekundlar uchun reysli tezlik quyidagicha aniqlanadi:

$$V_{p_2} = \frac{5+4}{0{,}5+2} = 3{,}6 m/soat$$

$$V_{p_3} = \frac{5+4}{0{,}75+2} = 4{,}6 m/soat$$

$$V_{p_4} = \frac{5+4+3+2{,}5}{1+2} = 4{,}38 m/soat$$

$$V_{p_5} = \frac{5+4+3+2{,}5+2}{1+2} = 5 m/soat$$

$$V_{p_6} = \frac{5+4+3+2{,}5+2+1{,}5}{1+2} = 5{,}46 m/soat$$

$$V_{p_7} = \frac{5+4+3+2{,}5+2+1{,}5+1}{1{,}75+2} = 5{,}46 m/soat$$

$$V_{p_8} = \frac{5+4+3+2{,}5+2+1{,}5+1+0{,}5}{2+2} = 4{,}81 m/soat$$

$$V_{p_9} = \frac{5+4+3+2{,}5+2+1{,}5+1+0{,}5+0{,}3}{2{,}25+2} = 4{,}6 m/soat$$

Hisoblardan ko‘rinib turibdiki $V_{p\max} = V_{p_6} = 5{,}46 m/soat$ bo‘lganda burg`ini ko‘tarish kerak bo‘ladi. [8]. Bunda burg`ini kovlash yig‘indisi quyidagini tashkil qiladi:

$$\sum h_i = 5+4+3+2{,}5+2+1{,}5 = 18m;$$

Keyin burg`ining quduq tubida umumiy ishlash vaqti topiladi:

$$\sum t_\delta = 6 + 0{,}25 = 1{,}5s,$$

Tushirish – ko‘tarish vaqtini hisobga olganda:

$$\sum t_\delta = T_{t.k} = 1{,}5 + 2 soat = 3{,}5 soat,$$

Agar $V_{p_9} = 4{,}46 m/soat$ bo‘lganda burg`i ko‘tarilsa, unda kovlashning yig‘indisi quyidagini tashkil qiladi:

$$\sum h_i = 5+4+3+2{,}5+2+1{,}5+1+0{,}5+0{,}3 = 19{,}8m;$$

Umumiy vaqt:

$$\sum t_\delta = 9 \cdot 0{,}25 = 2{,}25 soat = 8100s,$$

Tushirish – ko‘taish vaqtini hisobga olganda:

$$4{,}25 - 3{,}5 = 0{,}75 soat = 2700s,$$

Shunday qilib vaqtlarning farqi quyidagini tashkil qiladi:

$$4{,}25 - 3{,}5 = 0{,}75 soat = 2700s$$

ISSN 3030-3907

Bu vaqtda yangi burg`i bilan yana 5+4+3=12 m kovlash mumkin.

Birinchi holatda ikki burg`ining 15300 sekundda kovlash yig‘indisi $18+12=30m$ ikkinchi holatda esa 19,8 m ni tashkil qiladi. [6].

Bunda samaradorlik 30-19,8=10,2 mni tashkil qiladi.

Ushbu masala orqali gibrid burg`ilarning boshqa turdagi burg`ilardan afzalligini ko`ramiz. [10].

XULOSA

Maxsus turdagi burg‘ilar bilan burg‘ilangan quduqlarni qayta burg‘ilash, kengaytirish, yon devorlarni tiklash va quvurlarni o‘rnatish, olmosli burg‘ilar, turbobur va rotor usullarda tik va qiya yo‘nalgan quduqlarni burg‘ilash, qumoq, dolomit, ohaktosh va boshqa o`ta qattiq jinslarni burg‘ilash, hozirgi paytda qo‘llaniladigan olmosli burg‘ilarni ishlab chiqarilishi haqidagi ma’lumotlar, maxsus mo‘ljallangan burg‘ilarni qo`llashni taqozo etadi. Quduqlarni burg`ilash sohasida ma`lumki, bitta maxsus turdagi burg`i yigirmadan ortiq sharoshkali burg`ini o`rnini bosadi. Bunda nafaqat burg`ilarning tannarxidan balki energiyadan, yoqilg`idan, texnika va texnologiyalarni ortiqcha ishlatishdan, ishchi kuchi, moylash materiallari va vaqtdan samarali foydalanish imkonini beradi.

ADABIYOTLAR

1. Samadov.A.X., “Neft va gaz quduqlarini burg`ilash texnologiyasi va texnikasi” fanidan amaliy mashg`ulotlar bo`yicha o`quv qo`llanma. Qarshi. “Intellekt” nashriyoti, 2023 yil. – 4-5 betlar.
2. Nurmatov J.T., Samadov.A.X., Abdiraximov.I.E., Tog`ayev.A.I., Kurbanov.A.T., Samadova.M.X. “Neft va gaz konlari asoslari” fanidan amaliy mashg`ulotlar bo`yicha o`quv qo`llanma. Qarshi. “Intellekt” nashriyoti, 2023 yil. – 5-7 betlar.
3. “Halliburton”. Drill bits and service, каталог технических решений- 2014г. 20-26 стр.
4. Sunnatov.Z.U., “Neft va gaz quduqlarini burg`ilash” fanidan darslik. 2020 yil.
5. Yuldashev.T.R., Mirzayev.E.S., Shonazarov.E.B., Samadov.A.X., “Neft va gaz quduqlarini burg`ilash texnologiyasi va texnikasi” fanidan amaliy mashg`ulotlar bo`yicha o`quv qo`llanma. Toshkent. “Voris” nashriyoti, 2020 yil.
6. Yuldashev.T.R., Nurmatov.J.T., Samadov.A.X., “Neft va gaz quduqlarini burg`ilash” fanidan o`quv uslubiy majmua. 2019 yil.
7. Технология радиального бурения // http://www. Radialdrilling. Com/technology.htm.
8. Yuldashev.T.R., Xolbazarov.I.R., Samadov.A.X., “Neft va gaz quduqlarini burg`ilash” fanidan ma’ruza matnlari to`plami. “Uzoq bobo” XSICHF 2016 yil. – 130-135 betlar.

ISSN 3030-3907

9. Tidwell, V.C., and Wilson, J.L.: «Heterogeneity, Permeability Patterns, and Permeability Upscaling: Physical Characterization of a Block of Massillon Sandstone Exhibiting Nested Scales of Heterogeneity, » SPEREE (August 2010), 283.
10. Mirzayev.E.S., Shonazarov.E.B., Samadov.A.X., “Neft va gaz quduqlarini burg`ilash texnologiyasi va texnikasi” fanidan o`quv uslubiy majmua. 2019 yil. 68-69 betlar.
11. Blekhman, V., Diaz, D., and Corbett, C.: «Calibrating Log-Derived Permeability Data to PTA for Geostatistical nIntegration into a Fluid-Flow Simulation Model» paper SPE 69473 presented at the 2001 Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Buenos Aires, Argentina, 25–28 March.
12. Morrow N. Interplay of capillary, viscous and buoyancy forces in the mobilization of residual oil//Journ. of canad. petr. techn., 1999, vol. 18, N 3, e. 61–65.

ISSN 3030-3907

ASSESSMENT OF THE EFFICIENT UTILIZATION OF GARLAND TURBINE-BASED MICRO-HYDROPOWER PLANTS UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS AND THEIR IMPACT ON WATER RESOURCES.

Zokirov Islomjon Baxtiyor o‘g‘li
“Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers” National Research University. Master’s degree student
E-mail: islomjonzokirov10@gmail.com
Tel: +99893-948-64-55.

Abstract. The increasing demand for electrical energy, the gradual depletion of conventional fossil fuel resources, and the intensification of global environmental problems have significantly increased the scientific and practical importance of renewable energy technologies. Among renewable energy sources, micro-hydropower plants are considered one of the most promising solutions for decentralized electricity supply, particularly in mountainous, foothill, and remote rural areas where connection to centralized power grids is technically difficult or economically inefficient. However, under climate change conditions, variations in river runoff, seasonal fluctuations in water discharge, and changes in hydraulic head directly affect the operational reliability and energy efficiency of hydropower systems. This study investigates the efficient utilization of a garland turbine-based mobile micro-hydropower plant under climate change conditions and evaluates its potential impact on water resources. The research focuses on the influence of water flow velocity, turbine blade number, geometric parameters, and active blade surface area on the energy performance of the turbine. The Chodaksoy stream in Namangan region was selected as a case study to assess seasonal discharge variability and the suitability of mobile micro-hydropower applications. Numerical simulations were conducted using ANSYS software for turbine configurations with 6, 9, and 12 blades under different water flow velocities. The simulation results demonstrated that an increase in water velocity and blade number leads to a significant increase in output power. At a water velocity of 3 m/s, the output power reached 159.04 W for the 6-blade turbine, 330 W for the 9-blade turbine, and 355.1 W for the 12-blade turbine. Economic calculations indicated that an industrial prototype with an installed capacity of 3 kW can generate 26,280 kWh of electricity annually, with an estimated payback period of approximately 2.86 years. These findings confirm that garland turbine-based micro-hydropower plants can be regarded as technically feasible, economically justified, and environmentally sustainable solutions for low-power consumers in regions with variable water flow conditions.

ISSN 3030-3907

Keywords: micro-hydropower plant, garland turbine, climate change, water resources, renewable energy, ANSYS simulation, Chodaksoy stream, energy efficiency.

Аннотация. В данной статье научно оцениваются возможности эффективного использования мобильных микро-гидроэлектростанций с гирляндной турбиной в условиях изменения климата, а также их влияние на водные ресурсы. Особое внимание уделено обоснованию конструктивных и энергетических параметров микроГЭС, работающих в условиях низконапорных и свободно текущих водных потоков. В условиях изменения климата сезонные колебания расхода воды, уровня воды и скорости течения оказывают непосредственное влияние на устойчивость и энергетическую эффективность микро-гидроэнергетических установок. В связи с этим в статье рассматриваются преимущества мобильной, модульной и бесплотинной конструкции микроГЭС с гирляндной турбиной. В качестве объекта исследования рассмотрены гидрологические условия ручья Чодаксой, расположенного в Папском районе Наманганской области. Многолетние данные по расходу воды показывают значительную сезонную изменчивость водного потока, что свидетельствует о целесообразности применения мобильной и адаптивной микроГЭС вместо стационарной установки в подобных условиях . С использованием программного комплекса ANSYS было выполнено моделирование взаимодействия водного потока с лопастями турбины, а также оценено влияние числа лопастей, геометрических параметров турбины и скорости потока воды на выходную мощность установки. Полученные результаты показали, что эффективная работа устройства обеспечивается при скорости водного потока 2–3 м/с, длине турбины 1–2 м и числе лопастей в диапазоне 6–12 . Согласно экспериментальным и расчетным результатам, одна турбина способна вырабатывать в среднем до 345 W мощности. Увеличение общей мощности установки возможно за счет размещения нескольких турбин в гирляндной конфигурации. Экономический анализ подтвердил, что микроГЭС с гирляндной турбиной обладает потенциалом окупаемости инвестиционных затрат в относительно короткий срок .

Ключевые слова: микрогидроэлектростанция, турбина garland, изменение климата, водные ресурсы, возобновляемые источники энергии, моделирование ANSYS, поток Чодаксой, энергоэффективность.

Annotatsiya. Ushbu maqolada iqlim o‘zgarishi sharoitida girlyand turbinali mobil mikro gidroelektrostansiyalardan samarali foydalanish imkoniyatlari hamda ularning suv resurslariga ta’siri ilmiy jihatdan baholangan. Tadqiqotda past bosimli va erkin oqimli suv manbalarida ishlovchi mikroGESlarning

ISSN 3030-3907

konstruktiv va energetik parametrlarini asoslashga alohida e’tibor qaratildi. Iqlim o‘zgarishi natijasida suv sarfi, suv sathi va oqim tezligining mavsumiy o‘zgaruvchanligi mikroGESlarning barqaror ishlashiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli maqolada mobil, modulli va dambasiz ishlaydigan girlyand turbinali mikroGES konstruksiyasining afzalliklari tahlil qilindi.Tadqiqot obyekti sifatida Namangan viloyati Pop tumanidagi Chodaksoy soyining gidrologik sharoitlari ko‘rib chiqildi. Ko‘p yillik suv sarfi ma’lumotlari Chodaksoyda suv oqimining oylar kesimida sezilarli darajada o‘zgarishini ko‘rsatadi, shu bois ushbu sharoitda statsionar mikroGESdan ko‘ra mobil va moslashuvchan qurilmadan foydalanish maqsadga muvofiq hisoblanadi . ANSYS dasturi yordamida suv oqimi va turbina pichoqlari o‘zaro ta’siri modellashtirilib, pichoqlar soni, turbina geometrik o‘lchamlari va suv oqimi tezligining chiqish quvvatiga ta’siri baholandi. Natijalar suv oqimi tezligi 2–3 m/s, turbina uzunligi 1–2 m va pichoqlar soni 6–12 oralig‘ida bo‘lganda qurilma samarali ishlashini ko‘rsatdi . Eksperimental va hisobiy natijalarga ko‘ra, bitta turbina o‘rtacha 345 W gacha quvvat ishlab chiqarishi mumkinligi aniqlangan. Bir nechta turbinalarni girlyand shaklida joylashtirish orqali umumiy quvvatni oshirish mumkin. Iqtisodiy tahlillar esa girlyand turbinali mikroGESning investitsiya xarajatlarini qisqa muddatda qoplash imkoniyatiga ega ekanini ko‘rsatdi

Kalit so‘zlar: mikro gidroelektrostantsiya, gulchambar turbinasi, iqlim o‘zgarishi, suv resurslari, qayta tiklanadigan energiya, ANSYS simulyatsiyasi, Chodaksoy oqimi, energiya samaradorligi.

INTRODUCTION.

The sustainable development of modern society is closely associated with the availability of reliable, affordable, and environmentally safe energy resources [1,2]. In recent decades, the rapid growth of electricity consumption in industry, agriculture, transport, and residential sectors has increased the pressure on conventional energy systems [1]. Electricity generation based on fossil fuels remains one of the dominant sources of energy supply in many countries; however, this approach is accompanied by several long-term challenges, including resource depletion, environmental pollution, greenhouse gas emissions, and the acceleration of climate change processes [2,3].Climate change has a complex and multifactorial influence on natural and socio-economic systems [4,5]. In the context of water resources, its effects are manifested through changes in precipitation patterns, increased evaporation, glacier retreat, snow cover reduction, and seasonal redistribution of river runoff [4–6]. These hydrological changes directly influence the efficiency and stability of hydropower generation [3,7]. Since hydropower systems depend primarily on water discharge and

ISSN 3030-3907

hydraulic head, any long-term or seasonal change in these parameters may reduce power generation capacity and increase operational uncertainty [3,8].

In Uzbekistan, the issue of rational water and energy resource management is of particular importance. The country's water resources are largely dependent on transboundary river basins, especially the Amudarya and Syrdarya [6,7]. Under climate change conditions, the expected reduction in water availability, intensification of drought periods, and uneven seasonal distribution of river flows create additional challenges for agriculture, water management, and energy supply [4,6]. Therefore, the development of renewable energy technologies that can operate efficiently under variable hydrological conditions is of high scientific and practical relevance [2,9].

Micro-hydropower plants represent an effective technological solution for utilizing the energy potential of small rivers, streams, irrigation canals, and low-head water flows [9,10]. Compared with large hydropower plants, micro-hydropower systems require significantly lower capital investment, have shorter construction periods, and cause less environmental disturbance [10,11]. In addition, they can be used for decentralized electricity supply in remote areas, where the construction of transmission lines and connection to centralized power networks may be economically unjustified [9,12].Among various micro-hydropower technologies, garland turbine-based systems are particularly promising due to their simple design, modular structure, mobility, and adaptability to free-flowing water conditions [12,13]. Such systems do not require the construction of dams or large hydraulic structures. Instead, they utilize the kinetic energy of flowing water through several turbine units arranged in a garland configuration [13,15]. This allows the total power output to be increased by adding additional turbines, depending on the available water flow and the energy demand of consumers [15].

ISSN 3030-3907

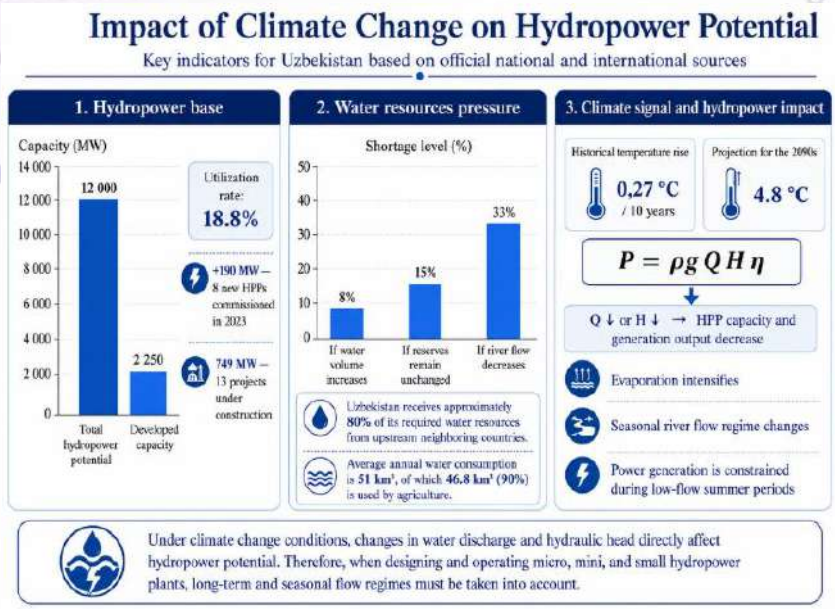


Figure 1. World bank, Uzbekistan Small Hydropower Development Project PID (2025); National Statistics Committee of the Republic of Uzbekistan, SDG 6 indicators; UNFCCC Uzbekistan BTR / Third NDC

The main objective of this study is to assess the efficiency of a garland turbine-based mobile micro-hydropower plant under climate change conditions and to evaluate its impact on water resources [15]. The study also aims to determine the effect of turbine blade number, water flow velocity, and geometric parameters on energy performance, as well as to justify the techno-economic feasibility of the proposed system [15].

Problem Statement. The operational efficiency of micro-hydropower plants is determined by several hydraulic and technical parameters, including water discharge, flow velocity, hydraulic head, turbine geometry, blade number, and generator characteristics [3,10]. Under stable hydrological conditions, these parameters can be selected relatively accurately during the design stage. However, under climate change conditions, water flow regimes become increasingly variable, which complicates the design and operation of micro-hydropower systems [4,5,8].One of the main problems in the practical application of micro-hydropower plants is the seasonal variability of water discharge [9,15]. In mountainous and foothill areas, river and stream flows are often characterized by significant seasonal fluctuations [5,6]. During the spring and early summer months, snowmelt and precipitation may increase water discharge, while in late summer, autumn, and winter, discharge may decrease considerably [4–6]. Such variability reduces the efficiency of stationary micro-hydropower plants designed for fixed hydraulic conditions [8,15].

A decrease in water level and flow velocity reduces the active interaction area between the water flow and turbine blades [10,13]. As a result, the

ISSN 3030-3907

hydrodynamic force acting on the turbine decreases, leading to a reduction in torque, rotational speed, and output power [10,15]. Conversely, during periods of high discharge, the system may experience increased mechanical loads, which can affect structural reliability [8,11]. Therefore, there is a need for micro-hydropower systems that can adapt to variable hydrological conditions without causing significant disturbance to the natural flow regime [9,12,15].The Chodaksoy stream, selected as the case study area, clearly demonstrates this problem [15]. The stream is located in Pop district of Namangan region and originates from the slopes of the Qurama mountain range. Its length is 76 km, its basin area is 566 km², and its average elevation is approximately 2370 m [15]. Long-term hydrological data show that the water discharge of the stream varies considerably from month to month [15]. This seasonal variability indicates that the use of a conventional stationary micro-hydropower plant may not always be technically and economically efficient in such conditions [15].

Table-1

Years	Long-term data on Chodaksoy water discharge, m³/s											
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
2000	0,3	0,3	0,5	20	10	8	0,4	0,2	0,2	0,3	0,25	0,35
2001	0,32	0,32	0,52	20,02	10,02	8,02	0,42	0,22	0,22	0,32	0,27	0,37
2002	0,32	0,32	0,52	20,02	10,02	8,02	0,42	0,22	0,22	0,32	0,27	0,37
2003	0,33	0,33	0,53	20,03	10,03	8,03	0,43	0,23	0,23	0,33	0,28	0,38
2004	0,34	0,34	0,54	20,04	10,04	8,04	0,44	0,24	0,24	0,34	0,29	0,39
2005	0,27	0,27	0,47	19,97	9,97	7,97	0,37	0,17	0,17	0,27	0,22	0,32

ISSN 3030-3907

2006	0,28	0,28	0,48	19,98	9,98	7,98	0,38	0,18	0,18	0,28	0,23	0,33
2007	0,27	0,27	0,47	19,97	9,97	7,97	0,37	0,17	0,17	0,27	0,22	0,32
2008	0,28	0,28	0,48	19,98	9,98	7,98	0,38	0,18	0,18	0,28	0,23	0,33
2009	0,34	0,34	0,54	20,04	10,04	8,04	0,44	0,24	0,24	0,34	0,29	0,39
2010	0,33	0,33	0,53	20,03	10,03	8,03	0,43	0,23	0,23	0,33	0,28	0,38
2011	0,25	0,25	0,45	19,95	9,95	7,95	0,35	0,15	0,15	0,25	0,2	0,3
2012	0,23	0,23	0,43	19,93	9,93	7,93	0,33	0,13	0,13	0,23	0,18	0,28
2013	0,22	0,22	0,42	19,92	9,92	7,92	0,32	0,12	0,12	0,22	0,17	0,27
2014	0,27	0,27	0,47	19,97	9,97	7,97	0,37	0,17	0,17	0,27	0,22	0,32
2015	0,23	0,23	0,43	19,93	9,93	7,93	0,33	0,13	0,13	0,23	0,18	0,28
2016	0,24	0,24	0,44	19,94	9,94	7,94	0,34	0,14	0,14	0,24	0,19	0,29
2017	0,25	0,25	0,45	19,95	9,95	7,95	0,35	0,15	0,15	0,25	0,2	0,3

ISSN 3030-3907

2018	**0,27**	**0,27**	**0,47**	**19,97**	**9,97**	**7,97**	**0,37**	**0,17**	**0,17**	**0,27**	**0,22**	**0,32**
2019	**0,23**	**0,23**	**0,43**	**19,93**	**9,93**	**7,93**	**0,33**	**0,13**	**0,13**	**0,23**	**0,18**	**0,28**
2020	**0,21**	**0,21**	**0,41**	**19,91**	**9,91**	**7,91**	**0,31**	**0,11**	**0,11**	**0,21**	**0,16**	**0,26**
2021	**0,2**	**0,2**	**0,4**	**19,9**	**9,9**	**7,9**	**0,3**	**0,1**	**0,1**	**0,2**	**0,15**	**0,25**
2022	**0,25**	**0,25**	**0,45**	**19,95**	**9,95**	**7,95**	**0,35**	**0,15**	**0,15**	**0,25**	**0,2**	**0,3**
2023	**0,21**	**0,21**	**0,41**	**19,91**	**9,91**	**7,91**	**0,31**	**0,11**	**0,11**	**0,21**	**0,16**	**0,26**
2024	**0,20**	**0,20**	**0,40**	**19,90**	**9,90**	**7,90**	**0,30**	**0,10**	**0,10**	**0,20**	**0,15**	**0,25**
2025	**0,20**	**0,20**	**0,40**	**19,90**	**9,90**	**7,90**	**0,30**	**0,10**	**0,10**	**0,20**	**0,15**	**0,25**
Average value	**0,26**	**0,26**	**0,46**	**19,96**	**9,96**	**7,96**	**0,36**	**0,16**	**0,16**	**0,26**	**0,21**	**0,31**

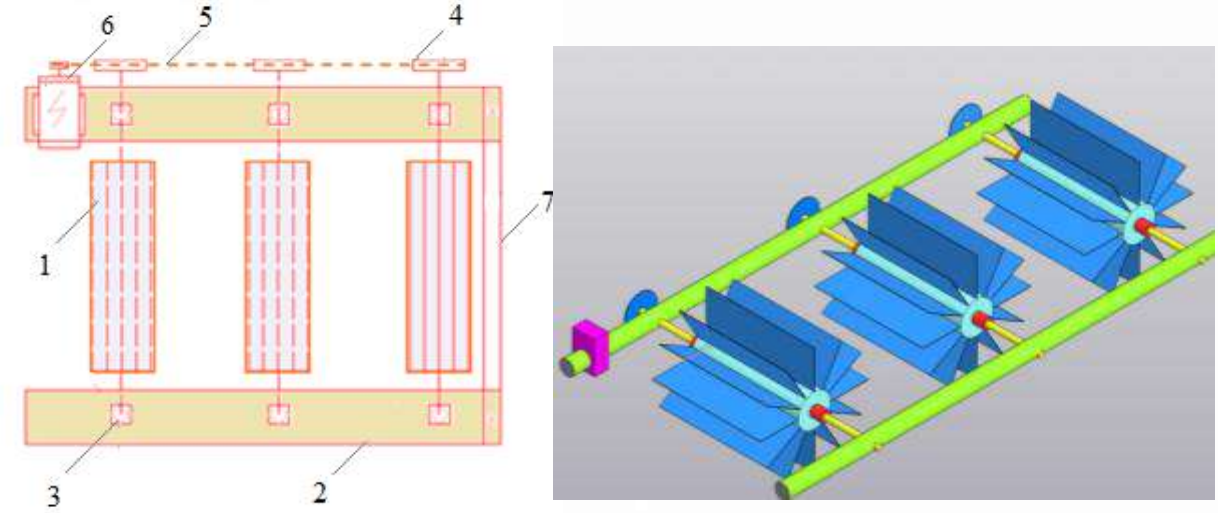
Thus, the scientific and practical problem addressed in this study is the development and justification of a compact, mobile, environmentally safe, and economically efficient micro-hydropower system capable of operating under variable water flow conditions [9,12,15]. The proposed solution should ensure electricity generation without requiring dam construction, without significantly altering the natural flow regime, and without negatively affecting water resources [11,12,15].

Proposed Technical Solution. To address the identified problem, this study proposes the use of a garland turbine-based mobile micro-hydropower plant [15]. The operating principle of the system is based on the conversion of the kinetic energy of flowing water into mechanical rotational energy and subsequently into electrical energy through a generator [3,10]. The turbine blades

ISSN 3030-3907

interact with the water flow, generating torque, which is transmitted to the generator by means of a mechanical transmission system [10,13].The garland-type configuration provides several important technical advantages [13,15]. First, the system has a modular structure, which allows the number of turbines to be adjusted according to the available water flow and required power output [15]. Second, the device can be installed directly in free-flowing water without the construction of dams, reservoirs, or pressure pipelines [11,12]. Third, the use of lightweight and corrosion-resistant polymer materials reduces the total mass of the system and improves its operational durability [15].

According to the dissertation results, one turbine can generate an average output power of up to 345 W [15]. By arranging several turbines in a garland configuration, the total installed capacity can be increased [15]. In the proposed industrial prototype, nine turbines are used, which makes it possible to form a system with a generator capacity of 3 kW [15]. This configuration is suitable for supplying electricity to low-power consumers such as rural households, farms, livestock facilities, and small production units [9,12,15].



a) **b)**

a) Structure **b) 3D view**

1 - water blades; 2 - hollow cylinder; 3 - bearings; 4 - pulley; 5 - belt transmission; 6 - generator; 7 - holder.

Figure 2. Schematic view of a floating garland-type micro-hydropower plant

The proposed system is particularly relevant under climate change conditions because it can be adapted to seasonal changes in water discharge [4,8,15]. During periods of sufficient water flow, several turbines may operate simultaneously, while during low-flow periods, the system can be relocated to a more suitable section of the stream or operated with fewer turbines [15]. This flexibility improves the reliability of local electricity supply and supports the rational use of water resources [9,12,15].

ISSN 3030-3907

Research Object and Methodology. The research object is a garland turbine-based mobile micro-hydropower plant designed for operation in low-head and free-flow water conditions [15]. The system is intended for the direct utilization of the kinetic energy of water flow in rivers, streams, and irrigation canals [10,13]. The main focus of the research is to evaluate the relationship between hydraulic parameters and turbine energy performance [10,15].The methodology of the study consists of analytical, numerical, hydrological, and techno-economic assessment stages [14,15]. At the first stage, scientific literature and existing technical solutions related to micro-hydropower plants were analyzed [9–13]. Particular attention was paid to free-flow turbines, water wheels, gravitational vortex systems, screw turbines, and garland-type hydropower plants [10,12,13].At the second stage, the main geometric parameters of the garland turbine were determined [15]. Based on the dissertation model, the turbine had an external diameter of 400 mm, an internal diameter of 100 mm, a blade height of 300 mm, a turbine length of 1000 mm, a blade thickness of 4 mm, and an initial blade number of 6 [15]. These parameters were used as the basis for further numerical modelling [14,15].

Table-2

Dimensions of the turbine of the garland-type micro-hydropower plant

№	Parameters	Dimensions (mm)
1	External diameter	400
2	Internal diameter	100
3	Height of turbine blades	300
4	Turbine length	1000
5	Thickness of turbine blades	4
6	Number of blades	6

Based on the dimensions presented in Table 2, the design shown in

At the third stage, numerical simulation was carried out using ANSYS software [14,15]. The purpose of the simulation was to evaluate the effect of water flow velocity and blade number on the output power of the turbine [15]. Three turbine configurations were considered: 6 blades, 9 blades, and 12 blades. Water velocity was varied from 1 m/s to 3 m/s [15].At the fourth stage, the hydrological characteristics of the selected case study area were analyzed [15]. The Chodaksoy stream was selected because it represents a typical mountainous stream with considerable seasonal variability in water discharge [15]. This analysis was used to justify the necessity of mobile and adaptable micro-hydropower systems [15].

ISSN 3030-3907



a) Tributaries of the Chodaksoy stream;



b) The section of Chodaksoy flowing through the center of the settlement.

Figure 3. Satellite images of the areas through which the Chodaksoy stream flows

At the fifth stage, the techno-economic performance of the proposed system was evaluated [15]. The calculations included annual electricity generation, capital cost, annual economic benefit, and investment payback period [15].

Results and Analysis. The numerical simulation results obtained using ANSYS software indicate that water flow velocity and turbine blade number have a significant influence on the output power of the garland turbine [14,15]. As the flow velocity increases, the kinetic energy of the water flow also increases [3,10]. This results in a greater hydrodynamic force acting on the turbine blades, higher torque, increased rotational speed, and higher power generation [10,13,15].The simulation results showed that at a water velocity of 1 m/s, the output power was 14.56 W for the 6-blade turbine, 23.1 W for the 9-blade turbine, and 37.2 W for the 12-blade turbine [15]. When the water velocity increased to 3 m/s, the corresponding output power values reached 159.04 W, 330 W, and 355.1 W, respectively [15]. These results confirm that both water velocity and blade number are key factors determining the energy performance of the turbine [10,13,15].

Table-3

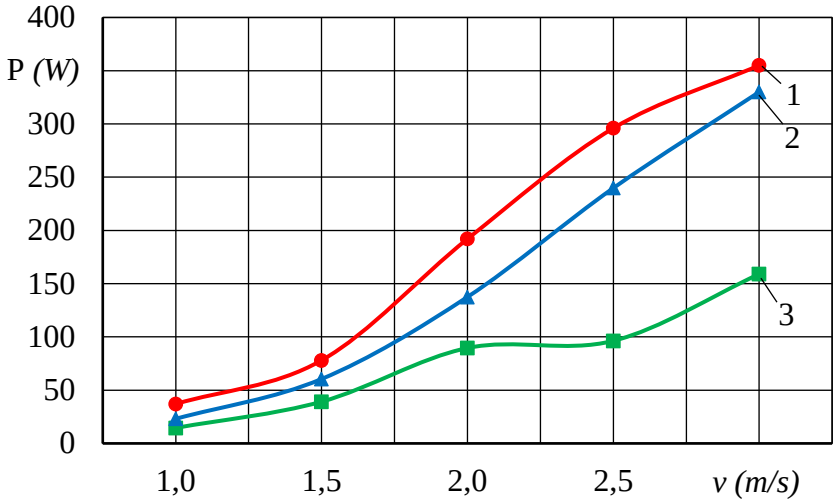
Simulation Model Results Obtained in ANSYS Software

№	*v* (m/s)	z_1=6 units	z_2=9 units	z_3=12 units
		P_1 (W)	P_2 (W)	P_3 (W)
1	1	14,56	23,1	37,2
2	1,5	39,2	60,5	78,4
3	2	89,6	137,5	192,5
4	2,5	96,32	239,8	296,7
5	3	159,04	330	355,1

The results also show that increasing the number of blades improves turbine performance; however, the increase in output power is not strictly proportional

ISSN 3030-3907

[10,13,15]. For example, the difference between the 9-blade and 12-blade turbine configurations becomes relatively smaller at higher flow velocities [15]. This indicates that there is an optimal range of blade numbers, beyond which further increases may lead to additional material consumption, higher structural complexity, and increased resistance without a proportional increase in useful power [13,15].



1 - when the number of turbine blades is z=6; 2 -when the number of turbine blades is z=9; 3 -when the number of turbine blades is z=12.

Figure 4. Dependence of power on water flow velocity (obtained in ANSYS software).

A comparison between numerical modelling and expected real operating conditions shows that the simulation values may be slightly higher than actual field values [14,15]. According to the dissertation, the difference between simulated and real values was approximately 9% for the 12-blade turbine, 10% for the 9-blade turbine, and 12% for the 6-blade turbine [15]. This discrepancy may be explained by the fact that some real flow characteristics, including water viscosity, turbulence, temperature, sediment content, and local hydraulic disturbances, were not fully represented in the numerical model [14,15].The analysis of turbine geometry also showed that an increase in turbine length and radius contributes to an increase in torque [10,13,15]. However, in shallow streams and small rivers, the external diameter of the turbine cannot be increased without limitation [15]. Therefore, from an engineering perspective, increasing the blade length and arranging several turbines in a garland configuration may be more appropriate than increasing the turbine diameter [13,15].

The hydrological analysis of the Chodaksoy stream confirmed that water discharge is highly seasonal [15]. High flow is observed mainly during spring and early summer, while low flow conditions occur during late summer, autumn, and winter [15]. This finding confirms that the design of micro-hydropower plants

ISSN 3030-3907

should not be based solely on average annual discharge [8,15]. Instead, minimum discharge, maximum discharge, flow duration, ecological requirements, and the needs of other water users should be considered [4,8,15].

Techno-Economic Assessment. The techno-economic feasibility of a micro-hydropower plant is one of the most important factors for its practical implementation [9,12]. A technically efficient system may not be widely adopted if its capital cost is too high or if its payback period is too long [9,15]. Therefore, the economic performance of the proposed garland turbine-based micro-hydropower plant was evaluated [15].

For the physical model, the installed capacity was 0.5 kW [15]. The annual electricity generation was calculated as:

$$Wyear = P \times tyear = 0.5 \times 8760 = 4380 \text{ kWh}$$

Assuming a green energy tariff of 600 UZS per 1 kWh, the annual economic benefit was calculated as:

$$Tyear = 4380 \times 600 = 2{,}628{,}000 \text{ UZS}$$

The total capital cost of the physical model was 4,450,000 UZS. Based on these values, the payback period was determined to be approximately 1.7 years [15].

For the industrial prototype, the installed capacity was 3 kW [15]. The annual electricity generation was calculated as:

$$Wyear = 3 \times 8760 = 26{,}280 \text{ kWh}$$

The annual economic benefit was calculated as:

$$Tyear = 26{,}280 \times 600 = 15{,}768{,}000 \text{ UZS}$$

Based on the capital cost and annual economic benefit, the payback period of the industrial prototype was estimated at approximately 2.86 years [15]. These results indicate that the proposed system is economically feasible for low-power consumers located in remote and mountainous regions [9,12,15].

Table-4

Costs related to the purchase of raw materials and components for the industrial prototype

№	Name of products/materials	Unit of measurement	Quantity	Price, million UZS	Total amount, million UZS
1	Polymer blades with bearings	pcs	9	0,8	7,2
2	Three-phase AC generator with permanent magnet	pcs	1	3,8	3,8

ISSN 3030-3907

	excitation, 3.0 kW				
3	Controller, 3.0 kW	pcs	1	5	5
4	Control and protection devices	set	1	2,2	2,2
5	Measuring instruments	pcs	3	-	3,5
6	Electrical conductors	m	210	0,005	1
8	Car trailer	pcs	1	6	6
9	Flexible cables	m	6	0,5	3
10	Reducer	pcs	1	2	2
11	Raw materials and components, including metal structures, polymer materials, insulation materials, etc.	kg	100	0,01	1
	Total:				34,7
	The service life of the garland-type micro-hydropower plant is 10 years.		Annual depreciation charge		10,41

The economic advantages of the proposed system become more significant when compared with the cost of extending centralized power grids to remote areas [9,12]. In such locations, the construction of transmission lines, installation of transformers, and maintenance of distribution infrastructure may require substantial investment [12]. Therefore, local electricity generation using available water flow can be considered a rational and cost-effective alternative [9,15].

DISCUSSION. The obtained results demonstrate that garland turbine-based micro-hydropower plants can serve as an effective renewable energy solution under climate change conditions [9,12,15]. Their main advantage is their ability to operate in free-flowing water without the construction of large hydraulic structures [11,12,15]. This reduces environmental disturbance and makes the system suitable for small rivers, streams, and irrigation canals [10,12,15].From a technical point of view, the proposed system is simple, modular, and adaptable [13,15]. Its power output can be increased by adding turbine units, and its location can be changed depending on water availability [15]. This characteristic is especially important in regions where water discharge varies seasonally [4,8,15].

ISSN 3030-3907

Table-5

Technical characteristics of micro-hydropower plants designed for free-flow water conditions

Characteristics	Water wheel	"Akula" water blade	Garland turbine
Water velocity	2-5 m/s	0,7-4 m/s	1-4 m/s
Efficiency	35-80%	75 %	24-80 %
Design construction	Simple	Complex	Simple
Project cost	Low	High	Low
System cost of the project	arzonLow	Low	Low
Maintenance capability	Easy and low-cost	Easy and low-cost	Easy and low-cost
Safety for the aquatic ecosystem	Safe	Hazardous	Safe
Type of mechanical transmission	Gearbox / pulley	Not available	Gearbox / pulley
Durability	Good	Good	Good
Possibility of using the hydropower potential of water flow	25 - 70%	30 - 50%	25-70%
Location	It is appropriate to design and install the system in rivers, streams, and irrigation canals with existing low-head water flows.		

Table-6

Comparative analysis of turbine technical efficiency indicators for free-flowing water streams

Characteristics	Water wheel	"Akula" micro-HPP	Garland turbine
Dimensions (m)	Diametri 1-2 m	0,75x1,14x2,15 m	0,7x2 m
Rotational speed (r/min)	50	120-180	80-120
Weight (kg)	250	110	50
Generator type	Synchronous / asynchronous	Permanent magnet synchronous generator	Permanent magnet synchronous generator
Type of mechanical transmission	Belt drive	Not available	Belt drive

ISSN 3030-3907

Selected generator power (kW)	2	3	3

Compared with other micro-hydropower technologies such as traditional water wheels and “Akula” micro-hydropower plants, the garland turbine system offers several advantages, including lower project cost, simpler construction, easier maintenance, and reduced environmental impact [10,12,15]. It is also safer for aquatic ecosystems because it does not require a dam and does not significantly obstruct the natural flow regime [11,12,15].Nevertheless, several limitations should be considered. First, the output power of the system is strongly dependent on water velocity [10,13,15]. During low-flow periods, the generated power may decrease significantly [8,15]. Second, natural watercourses may contain sediment, floating debris, vegetation, or ice, which can affect turbine operation [11,15]. Third, further long-term field experiments are required to validate the numerical simulation results under real environmental conditions [14,15].Despite these limitations, the proposed garland turbine-based micro-hydropower plant can contribute to the development of decentralized renewable energy systems, reduce dependence on fossil fuels, and improve the energy supply of remote rural areas [1,2,9]. In addition, its environmentally friendly operation supports the rational use of water resources under climate change conditions [4,6,12].

CONCLUSION.

Based on the conducted study, the following conclusions were formulated:

1. Climate change significantly affects the seasonal distribution of water resources, river runoff, and hydropower potential. Therefore, the design and operation of micro-hydropower plants should take into account not only average annual discharge but also minimum and maximum flow values, seasonal variability, and ecological flow requirements.

2. Garland turbine-based mobile micro-hydropower plants are suitable for low-head water flows, small rivers, mountain streams, and irrigation canals. Their damless operation reduces environmental impact and makes them appropriate for decentralized electricity generation.

3. The ANSYS simulation results confirmed that water flow velocity and turbine blade number are the main factors influencing turbine output power. At a water velocity of 3 m/s, the maximum output power reached 355.1 W for the 12-blade turbine.

4. The Chodaksoy stream case study demonstrated considerable seasonal variability in water discharge. This confirms that mobile and adaptable micro-

ISSN 3030-3907

hydropower systems are more appropriate than stationary systems for such hydrological conditions.

5. The techno-economic analysis showed that an industrial prototype with an installed capacity of 3 kW can generate 26,280 kWh of electricity per year. The estimated payback period is approximately 2.86 years, which confirms the economic feasibility of the proposed system.

6. Garland turbine-based micro-hydropower plants can be recommended as a promising renewable energy technology for rural households, farms, livestock facilities, small production enterprises, and mountainous areas located far from centralized power supply networks.

REFERENCES

1. International Energy Agency. Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. Paris: IEA; 2021.
2. International Renewable Energy Agency. Renewable Capacity Statistics 2025. Abu Dhabi: IRENA; 2025.
3. Kumar A, Schei T, Ahenkorah A, et al. Hydropower. In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge: Cambridge University Press; 2011.
4. World Meteorological Organization. State of Global Water Resources 2024. Geneva: WMO; 2025.
5. UNESCO / UN-Water. The United Nations World Water Development Report 2025: Mountains and Glaciers – Water Towers. Paris: UNESCO; 2025.
6. Donthu N, Kumar S, Mukherjee D, et al. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. Journal of Business Research. 2021;133:285–296.
7. Van Eck NJ, Waltman L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics. 2010;84(2):523–538.
8. Duah IK, Adjei EA. Micro hydropower research and practice over the last decade for advancing decentralized energy access. Discover Sustainability. 2025;7:128.
9. Kodirov D, Tursunov O. Calculation of Water Wheel Design Parameters for Micro Hydroelectric Power Station. E3S Web of Conferences. 2019;97:05042.
10. Cleynen O. Optimal design for the free-stream water wheel: a two-dimensional study. Energy. 2021;118880.
11. Muller G, Jenkins R, Batten WMJ. Potential, performance limits and environmental effects of floating water mills. University of Southampton.
12. Denny M. The efficiency of overshot and undershot waterwheels. European Journal of Physics. 2004;25(2).

ISSN 3030-3907

13. Davirov A. Past bosimli suv oqimlarida ishlovchi vint turbinali mikrogidroelektrstansiyaning energiya samaradorligini oshirish. PhD dissertation abstract. Tashkent; 2024.
14. Mamadjanov AB. Qishloq xo‘jaligi iste’molchilari uchun gravitatsion girdobli mikrogidroelektrostansiyaning konstruktiv parametrlarini asoslash va energiya samaradorligini oshirish. PhD dissertation. Tashkent; 2022.
15. Zokirov IB. Effective Use of Micro-Hydropower Plants under Climate Change Conditions and Their Impact on Water Resources. Master’s dissertation. Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers National Research University; 2026.

SILOKSAN-AKRIL SOPOLIMER SINTEZI VA UNING EMAL BO‘YOQ TERMIK XOSSALARIGA TA’SIRI

Asadova Farangis Ixtiyor qizi
Buxoro davlat texnika universiteti, kimyoviy texnologiya kafedrasi doktoranti.
Ostonov Firuz Istamovich
Buxoro davlat texnika universiteti, kimyoviy texnologiya kafedrasi dotsenti.
E-mail: firuzostonov916@gmail.com
Jumayev Jabbor Hamroqulovich
Buxoro davlat texnika universiteti, kimyoviy texnologiya kafedrasi dotsenti.
E-mail: jabbor.jumayev@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu maqolada, akril kislota hamda tetraetoksisilan asosida termobarqaror polimer sintez qilinib, sintez qilib olingan mahsulot erituvchisi aniqlanib, topilgan erituvchida eritilib olib emal bo‘yoq tarkibiga qo‘shilganda uning termik xususiyatlari yaxshilanganligi bayon etilgan.

Kalit so‘zlar: termobarqaror, bo‘yoq, erituvchi, tetraetoksisilan, akril kislota, inisiator, sopolimer.

Аннотация. В данной статье описан синтез термостойкого полимера на основе акриловой кислоты и тетраэтоксисилана. Для полученного продукта был определён подходящий растворитель, после чего полимер был растворён в найденном растворителе и введён в состав эмалевой краски. Показано, что добавление синтезированного полимера способствует улучшению термических свойств эмалевого покрытия.

Ключевые слова: термостойкий полимер, краска, растворитель, тетраэтоксисилан, акриловая кислота, инициатор, сополимер.

Annotation. In this article, the synthesis of a thermally stable polymer based on acrylic acid and tetraethoxysilane is described. A suitable solvent was identified for the synthesized product, after which the polymer was dissolved in the selected solvent and incorporated into an enamel paint formulation. The results demonstrated that the addition of the synthesized polymer improved the thermal properties of the enamel coating.

Keywords: thermally stable polymer, paint, solvent, tetraethoxysilane, acrylic acid, initiator, copolymer.

KIRISH.

Hozirgi kunda yuqori harorat va o‘tga chidamli termobarqaror materiallarni yangi avlodini yaratish texnik, ekologik, hamda iqtisodiy muammolarni hal etishi mumkinligi sababli dolzarb hisoblanadi. Hozirda ko‘plab qo‘llanilib kelayotgan qurilish materiallarining ko‘pchiligi (matolar, yog‘och, kompozitsion va polimer materiallar hamda boshqalar) O‘t va yuqori haroratda to‘liq yonib ketadi. Mavjud O‘tga chidamli temir betonli va metalldan tayyorlangan konstruksiyalar esa o‘t

ISSN 3030-3907

ta'sirida tezda qizib ketib (konstruksiya qalinligiga qarab 7 dan 27 daqiqagacha), 500 ^{0}C temperaturada konstruksiya tushib turgan yukni ko‘tara olmaydi va konstruksiyaning buzilishiga sabab bo‘ladi [1].

Turli xil inshootlari barpo etishda materiallarni termobarqarorlik talablarini inobatga olmagan holda barpo etish insonlar hayotini xavfga qoyishi va yirik iqtisodiy zararga sabab bo‘lishi mumkin. Qurilish materiallarini o‘tdan himoyalashning eng samarali usullaridan biri sifatida yog‘och va metallarni elementlarini passiv himoyalashni ko‘rsatish mumkin. Termo barqaror qoplamalarning o‘tga qarshi xususiyatlarini yaxshilash muhim ilmiy-amaliy dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Ushbu vazifani hal etish qoplamaning O‘tdan himoyalash samaradorligi hamda qurilish konstruksiyasining olovbardoshligini keyinchalik baholash uchun zarur bo‘lgan parametrlar majmuasini aniqlash va asoslashni talab qiladi. O‘tdan himoyalovchi qoplamalarning parametrlarini asoslash, asosan, O‘tdan himoyalash samaradorligi ko‘rsatkichlarini yaxshilashga eng katta ta'sir ko‘rsatuvchi mezonlarni, shuningdek, qoplamaga tashqi omillarning ta'sirini hisobga olgan holda amalga oshirildi [2; 3].

O‘tdan himoyalovchi qoplama materialining yonish bosqichlariga ta'sir qiluvchi muhim omillardan biri alanga ta'sirida zich tuzilishga ega va issiqlik o‘tkazuvchanligi past bo‘lgan penokoks qatlamini paydo qilishidir. Penokoks qatlamning paydo bo‘lishi gaz fazasiga ajralib chiqadigan yonuvchi mahsulotlar miqdorini kamaytiradi va yonuvchi gazlarning alangaga oqimini qiqartiradi. Shuning uchun ham, o‘tdan himoyalovchi qoplama materialining destruksiyaga uchrash jarayonini uzoqroq miqdorda va optimal tuzilishga ega penokoks hosil bo‘lishga erishilsa o‘tdan himoyalash samaradorligini oshirish mantiqan to‘g‘ri hisoblanadi [4, 5].

Shuni ta'kidlash lozimki, ko‘pchish koeffitsiyentining ortishi O‘tdan himoyalovchi qoplama uchun muayyan afzallik hisoblanadi. Nostatsionar issiqlik uzatish sharoitida qatlam qalinligi qoplamaning o‘tdan himoyalash samaradorligiga sezilarli ta'sir qiladi, chunki qizishning xarakterli vaqti ushbu parametrning kvadratiga proporsional ravishda bog‘liq bo‘ladi [6, 7].

Biroq ko‘pchish darajasini haddan tashqari oshirish maqsadga muvofiq emas, chunki bu g‘ovak muhitda issiqlikning radiatsion uzatilishini kuchaytiradi hamda koksning mustahkamligi pasayishi natijasida uning tuzilishi buzilishiga olib kelishi mumkin. Shuning uchun qoplamaning o‘tdan himoyalash xususiyatlarini oshirish uchun yuqori haroratlarda hosil bo‘ladigan koksning zichligini ko‘paytirish maqsadga muvofiq hisoblanadi [8-10].

O‘tdan himoyalovchi qoplamalarning ayrim turlari ochiq atmosfera sharoitida ishlaydi va uzoq vaqt davomida turli tashqi omillar ta'siriga duch

ISSN 3030-3907

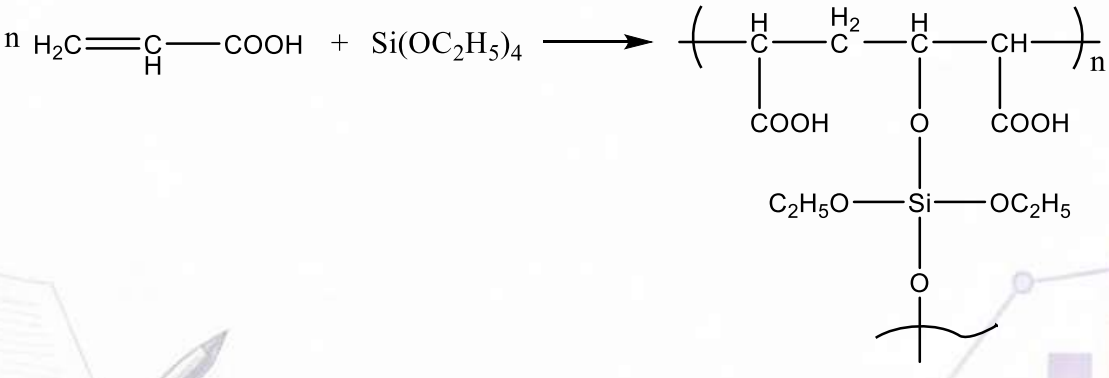
keladi. Bunday omillar qatoriga yuqori namlik, past va yuqori haroratlar, atrof-muhit haroratining keskin o‘zgarishlari, shuningdek agressiv suyuq muhitlar (minerallashgan suvlar, tuzlar, kislotalar va ishqorlarning suvli eritmalari, neft mahsulotlari, moylar, surkov materiallari va boshqalar) ta'siri kiradi. Bundan tashqari, mexanik tebranishlar, vibratsiyalar va yuklamalar ham qoplamaga salbiy ta'sir ko‘rsatishi mumkin. Ushbu omillar ekspluatatsiya jarayonida qoplamaning O‘tdan himoyalash xususiyatlarining pasayishiga yoki hatto ularning to‘liq yo‘qolishiga olib kelishi mumkin [11].

Poliorganosiloksanlar yuqori darajadagi termik barqarorlikka ega bo‘lib, past haroratlarga nisbatan ham sezuvchanligi juda past bo‘ladi. Ularning asosiy molekulyar zanjiri kremniy va kislorod atomlaridan iborat bo‘lib, kremniy atomining erkin valentliklari turli xil organik radikallar yoki guruhlar bilan to‘ldirilgan. Bu tuzilish xususiyati poliorganosiloksanlarning molekulasida fazoviy yoki tsiklofazoviy strukturalarning shakllanishiga sezilarli darajada ta’sir ko‘rsatadi.

Yuqorida o‘rganilgan ma’lumotlar asosida termobarqaror polimer kompozitlar olish maqsadida akril kislota va tetraetoksisilan moddalarini reaksiyasi o‘rganildi.

Laboratoriya sharoitida kolbaga akril kislota tetraetosisilanning spirtdagi eritmasi bilan 60-80 ^{0}C haroratda 60-120 minut davomida vodorod peroksid inisiatori ishtirokida aralashtirib turildi va reaksiya natijasida hosil bo‘lgan etil spirt sistemadan chiqarib turildi. Hosil bo‘lgan oligomerlar cho‘ktiruvchi suv yordamida cho‘ktirib olinib tozalandi.

Karbon kislota tarkibidagi karboksil guruhlar bilan tetraetilortosilikat molekulasi orasida eterifikatsiya reaksiyasi natijasida akril kislotaning tikilishi sodir bo‘ladi va buni quyidagicha yozish mumkin.



Olingan mahsulot oq quyuq modda bo‘lib quritish shkafida 80-90 ^{0}C da quritildi (1-rasm).

ISSN 3030-3907



1-rasm. Akril kislota tetraetoksisilan asosida sintez qilingan mahsulot.

Mahsuloting turli erituvchilarda eruvchanligini o‘rganish maqsadida 5 ta probirka olib unga turli erituvchilar solinib unga mahsulot namunalaridan solib qoyildi. 1- probirkaga etilatsetat, 2-probirkaga DMFA, 3-probirkaga geksan, 4-probirkaga universal erituvchi, 5-probirkaga morfolin kabi ertuvchilar solindi. Natijada polimer etilatsetatda oz eriydi, geksanda erimaydi, DMFA da avval bo‘kib so‘ng sekinlik bilan eriydi, universal erituvchida erimaydi, morfolinda erimaydi.

Shuning uchun DMFA da eritilib so‘ng oq emal bo‘yoqqa 10 foiz aralashtirildi va ikkita metall plastinkalarga surkab qoyildi. Namunalar bir sutka davomida ochiq havoda quritilgach mufel pechida sinovdan o‘tkazildi. Birinchi namunada emal bo‘yoqning o‘zi ikkinchisiga esa sintez qilib olingan modda qo‘shilgan namuna sinovdan o‘tkazildi. Namunalar 100-300 ^{0}C da bir soatdan qoldirildi. Natijada har ikkala namunada rang o‘zgarishi bir xil kuzatildi, ammo massa yo‘qotishlar taqqoslganda mahsulot qo‘shilmagan namunada ko‘proq ekanligi kuzatildi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Пронин, Д. Г. Проблемы применения стальных и железобетонных несущих конструкций высотных зданий с точки зрения их огнестойкости / Д. Г. Пронин, Д. В. Конин // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т. 27, № 1. – С. 50–57.

2. Тимофеева, С. С. Анализ, оценка, прогноз гибели и травмирования людей при пожарах в Российской Федерации / С. С. Тимофеева, Е. А. Хамидуллина, В. В. Гармышев // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России». – 2018. –№ 2. – С. 1–8.

3. Туснина, В. М. Проектирование гражданских зданий массового строительства на основе типового стального каркаса / В. М. Туснина, Е. А. Галенко // Проектирование гражданских зданий массового строительства на основе типового стального каркаса // Промышленное и гражданское строительство. – 2021. – № 10. – С. 17–23.
4. Паноев Н. Ш., Ахмедов В. Н., Тиллаева Д. М. Получение и свойства термостойких кремнийорганических олигомеров на основе мочевиноформальдегидной смолы и тетраэтоксилана //Universum: химия и биология. – 2020. – №. 5 (71). – С. 50-53.
5. Паноев Н. Ш. Получение термостабильных кремнийорганических полимеров на основе гипана //Universum: технические науки. – 2021. – №. 12-5 (93). – С. 42-46.
6. Zaynura K., Islom B. Structural and thermal characterization of a eguf thermostable coating via chromatographic-mass spectrometry analysis //Universum: технические науки. – 2025. – Т. 9. – №. 4 (133). – С. 33-36.
7. Beshimov I., Olimov B. Technological aspects of thermostable coating production //Universum: технические науки. – 2024. – Т. 5. – №. 8 (125). – С. 54-57.
8. Beshimov I. et al. Synthesis and properties of organic silicon (oligo) polymers //Universum: технические науки. – 2023. – №. 12-8 (117). – С. 38-42.
9. Bobir O., Vohid A. The effect of reaction duration and catalyst on the synthesis of arylvinyl esters.
10. Икромов У., Ширинов Ш.Д. Исследование растворимости олигополимера на основе гидролизованного полиакрилонитрила, содержащего медь, в различных растворителях // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2025. 5(134).
11. Березовский, А. И. Определение коэффициента вспучивания и прочностных характеристик вспученного слоя огнезащитных вибростойких покрытий для противопожарной защиты металлических элементов и конструкций / А. И. Березовский, И. Г. Маладыка // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2013. – № 1 (17). – С. 59–67.

ISSN 3030-3907

САМ ТИЗИМЛАРИДА ҚЎЛЛАНИЛАДИГАН ГЕОМЕТРИК МОДЕЛЛАШТИРИШ МЕТОДЛАРИ ВА УЛАРНИНГ ИЛМИЙ ТАҲЛИЛИЙ БАҲОСИ

Авлякулова Шоҳида Бабаджановна
Бухоро давлат техника университети "Механика ва муҳандислик графикаси" кафедраси катта ўқитувчиси
Тел: - (99891) 974-12-61.

Аннотация. Ушбу мақолада автоматлаштирилган лойиҳалаш тизимлари, хусусан САД/CAE/CAM тизимлари, уларнинг ўзаро интеграцияси ва классификацияси таҳлил қилинган. CAM тизимларида геометрик моделлаштиришнинг назарий асослари кўриб чиқилиб, кесувчи асбоб траекториясини аниқлашнинг математик моделлари келтирилган. Шунингдек, ушбу соҳада олиб борилган илмий тадқиқотлар таҳлили асосида мавжуд ёндашувларнинг афзаллик ва камчиликлари аниқланган. Айниқса, растр тасвирларни вектор форматга ўтказиш жараёнининг муаммолари, уларнинг ишлаб чиқариш жараёнига таъсири ва ечим истиқболлари батафсил ўрганилган. Тадқиқот натижасида CAM тизимлари учун самарали конвертация алгоритмларини ишлаб чиқиш зарурияти асослаб берилган.

Калит сўзлар: CAM тизимлари, CAD/CAE интеграцияси, геометрик моделлаштириш, кесувчи асбоб траекторияси, G-код, CNC дастгоҳлар, расстр тасвир, векторлаш, конвертация алгоритмлари, рақамли ишлаб чиқариш, 3D моделлаштириш, автоматлаштириш

Аннотация. В данной статье анализируются автоматизированные системы проектирования, в частности системы CAD/CAE/CAM, их взаимная интеграция и классификация. Рассматриваются теоретические основы геометрического моделирования в системах CAM и представлены математические модели определения траектории режущего инструмента. Также, на основе анализа научных исследований, проведенных в этой области, выявляются преимущества и недостатки существующих подходов. В частности, подробно изучаются проблемы преобразования растровых изображений в векторный формат, их влияние на производственный процесс и перспективы решения. В результате исследования обосновывается необходимость разработки эффективных алгоритмов преобразования для систем CAM.

Ключевые слова: системы CAM, интеграция CAD/CAE, геометрическое моделирование, траектория режущего инструмента, G-код, станки с ЧПУ, растровое изображение, векторизация, алгоритмы преобразования, цифровое производство, 3D-моделирование, автоматизация

Abstract. This article analyzes computer-aided design systems, specifically CAD/CAE/CAM systems, their mutual integration, and classification. It examines the theoretical foundations of geometric modeling in CAM systems and presents mathematical models for determining cutting tool paths. Also, based on an analysis of scientific research conducted in this area, the advantages and disadvantages of existing approaches are identified. Specifically, the problems of converting raster images to vector format, their impact on the production process, and potential solutions are examined in detail. The study substantiates the need to develop effective conversion algorithms for CAM systems.

Keywords: CAM systems, CAD/CAE integration, geometric modeling, cutting tool path, G-code, CNC machines, raster image, vectorization, transformation algorithms, digital manufacturing, 3D modeling, automation

КИРИШ.

Ҳозирги кунда ишлаб чиқариш жараёнларини рақамлаштириш ва автоматлаштириш саноат тараққиётининг асосий омилларидан бирига айланмоқда. Айниқса, CAD/CAE/CAM тизимларининг жорий этилиши маҳсулотни лойиҳалаш, таҳлил қилиш ва ишлаб чиқариш жараёнларини ягона рақамли муҳитда амалга ошириш имконини бермоқда. Бу эса ўз навбатида ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш, вақт ва ресурсларни тежаш ҳамда инсон омили билан боғлиқ хатоларни камайтиришга хизмат қилмоқда.

CAM (Computer Aided Manufacturing) тизимлари автоматлаштирилган лойиҳалаш тизимларининг муҳим босқичи ҳисобланиб, тайёрланган рақамли моделларни бевосита ишлаб чиқариш жараёнига татбиқ этишни таъминлайди. Ушбу жараёнда геометрик моделлаштириш алоҳида аҳамият касб этиб, у кесувчи асбоблар траекториясини аниқлаш, ишлов бериш параметрларини белгилаш ва маҳсулот сифатини таъминлашда асосий ўрин тутади.

Шу билан бирга, замонавий ишлаб чиқаришда тасвирлар билан ишлаш, хусусан растр форматдан вектор форматга ўтиш муаммоси долзарб масалалардан бири бўлиб қолмоқда. Айниқса, ёғоч ўймакорлиги каби соҳаларда мураккаб нақш ва композицияларни рақамли муҳитга ўтказиш ва уларни CAM тизимлари орқали ишлаб чиқаришда юқори аниқликка эришиш талаб этилади. Мавжуд усулларда тасвир контурларини аниқлаш ва уларни сифатли векторлаш муаммолари етарли даражада ҳал этилмаган.

Шу муносабат билан ушбу маколада CAM тизимларида геометрик моделлаштириш жараёнлари таҳлил қилиниб, кесувчи асбоб траекториясини аниқлашнинг параметрик моделлари ўрганилган. Шунингдек, растр тасвирларни вектор форматга ўтказиш жараёнидаги

ISSN 3030-3907

муаммолар таҳлил қилиниб, уларни бартараф этишга қаратилган ёндашувлар ишлаб чиқиш мақсад қилинган.

CAM tizimlari uch bosqichli avtomatlashtirilgan loyihalashtirish tizimlarining (ALT) uchinchi bosqichi bo‘lib, ingliz tilidagi Computer Aided Manufacturing[1] so‘zining bosh harflaridan olingan [1]. Ushbu bosqich CAD (loyihani yaratish) va CAE (loyihani hisoblab chiqish) bosqichlaridan keyin loyihani amaliyotda yaratishni (ishlab chiqarishni) anglatadi. Dastlabki kam tizimlari avtomobilsozlik va kosmik kemalar qurilishi uchun qo‘llangan bo‘lib, Renault avtomobilsozlik kompaniyasi muhandisi Pyer Bezye (Pierre Beziers) 1968-yilda CAD/CAM tizimi uchun UNISURF dasturiy ilovasini ishlab chiqgan [2].

Umuman olganda, ishlab chiqarishni avtomatlashtirish uch bosqichda olib boriladi. Bular CAD/CAE/CAM bosqichlaridir. CAD – Computer Aided Design, yani loyiha chizmasini avtomatlashtirish bo‘lib, unda muhandislik go‘yasi chizma yoki model ko‘rinishida shakllanadi. CAE – bu Computer Aided Engineering – muhandislik hisob-kitob ishlarini avtomatlashtirish hisoblanib, ushbu bosqichda loyiha virtual sinovdan o‘tkaziladi. CAM bosqichida esa yaratilgan loyiha (g‘oya) raqamlashtirilgan boshqaruv dastgohlarda bevosita ishlab chiqarilishi tushuniladi. Ushbu bosqichda ishlab chiqilgan loyiha CAM apparat tizimi tushunadigan dasturiy tilga o‘girilishi nazarda tutiladi [1-3].

CAM tizimlariga umumiy tavsif beradigan bo‘lsak, CNC raqamli boshqariladigan dastgohlar (RBD)da metall, plastmassa, yog‘och va boshqa materiallarni ishlov berish, sanoat robotlarini avtomatlashtirilgan boshqarish va nazorat qilish, 3D printerlar orqali mahsulotlarni ishlab chiqarish va material sarfini optimallashtirish, yuqori aniqlikdagi kesish jarayonlarini avtomatlashtirish, mikrochiplar, elektron platalar va boshqa elektron qurilmalarni ishlab chiqarish tizimlari tushuniladi.

CAM tizimlarining asosiy funksiyasi – bu:

- RBDni boshqarish va ularni oldindan tayyorlangan dasturlar bo‘yicha ishlashini ta’minlash;
- ishlab chiqarish jarayonida material sarfini kamaytirish, vaqtni tejash va ishlab chiqarish samaradorligini oshirish;
- shlab chiqarish jarayonini oldindan modellashtirish;
- mahsulot ishlab chiqarishda inson omiliga bog‘liq xatolarni kamaytirish va yuqori sifatni ta’minlash;
- ishlab chiqarish liniyalarini tez o‘zgartirish va yangi mahsulotga moslashtirish.

CAM tizimida amallar quyidagi ketma-ketlikda olib boriladi:

ISSN 3030-3907

- CAD tizimi asosida maxsulotning raqamli 2D yoki 3D modelini yaratilish (modeling);
- kesish, frezalash, burish, quyish va boshqa jarayonlarning texnologik parametrlarini aniqlash, belgilash;
- CAM dasturiy ta’minoti orqali kod yaratish va RBDga yuborish uchun G-kod ishlab chiqish;
- ishlab chiqarish jarayonini virtual sinov va simulyatsiya muhitda sinovdan o‘tkazish (simulyatsiya);
- tayyorlangan G-kodni RBDga yuklansh va ishlab chiqarish jarayonini boshlash.

CAM titzimlari CAD titzimlarida yaratilgan modellar asosida ishlaydi. Shu nuqtai nazardan CAD tizimlarida asosan ikki turdagi modellashtirish mavjud. Bular – ikki o‘lchamli chizma (2D) va hajmli jismni (3D) modellashtirish hisoblanadi [4].

Har ikki turdagi modellarda geometrik ob’ektlar – chiziqlar (tekis, fazoviy), shakllar (polygon) sirtlar (chiziqli, chiziqsiz), jismlar (figuralar) matematik apparatda RBD uchun dasturlash tillarida qayta kodlanadi yoki o‘giriladi.

CAM tizimlari asosan uch turdagi dastgohlarda qo‘llanadi. Bular – raqamli boshqariladigan dastgohlar, robotlashtirilgan dastgohlar va maxsus ixtisoslashtirilgan dastgohlar.

Raqamli boshqariladigan dastgohlar (RBD)ga freza dastgohlari, tokarlik dastgohlari, plazmali kesish dastgohlari, lazerli kesish dastgohlari, suv bosimi bilan kesish dastgohlari, shtampovkalab kesuvchi (teshuvchi) dastgohlar kiradi [5-6].

Robotlashgan dastgohlar esa bir nechta operatsiyar majmui asosida ishlashni nazarda tutadi. Misol uchun – payvandlash, quyish, bo‘yash, yig‘ish, burish, tashish va boshqa operatsiyalarni avtomatik amalga oshiradi. Bugungi kunda keng ommalashib borgan 3D printerlar ham ushbu robotlashtirilgan dastgohlar oilasiga mansubdir [7-8].

Maxsus ixtisoslashtirilgan dastgohlar ma’lum bir tor doiradagi sohalarda qo‘llanadi. Misol uchun – yuqori aniqlikda elektron plata va mikrosxemalar ishlab chiqish, meditsina uchun imlantlar, protezlar va jarrohlik asbob-uskunalarini ishlab chiqish va h… [15-10].

Dastlabki RBDlar uchun modelni G-kodini yaratish va buning uchun maxsus dasturchilarni jalb etish talab qilinganligi sabab CAM tizimlarining ishlab chiqarish jarayoniga integratsiyalashuvi qiyin kechgan. Bugungi kunda aksariyat RBDlar personal kompyuter va CAD tizimi dasturiy ilovasi bilan ta’minlangan bo‘lib, unda modelni CAD tizimida yaratish, RBD muhitiga avtomatik eksport qilish, dastlabki sinovdan o‘tkazish va to‘g‘ridan-to‘g‘ri RBDda modelni real ishlab chiqarish mumkin. Zamonaviy CAM tizimlari CAD tizimlari bilan

ISSN 3030-3907

ta’minlanganligi, CAD tizimida yaratilgan modelni CAM tizimiga avtomatik konvertatsiya qilish imkoniyati sabab, ishlab chiqarishda jadal rivojlanishni olib keldi.

Demak dastlab modelni CAD tizimida yaratish so‘ng uni CAM tizimi uchun konvertatsiya qilish asosiy shartlardan bibri bo‘lib qolmoqda. Shunga qaramay bugungi kunda RBDlarda real ob’yektni 3D scanerlash yoki raqamli fotonusxalash asosida to‘g‘ridan-to‘g‘ri uning CAD yoki CAM modelini yaratish istiqbollari kuzatilmoqda. Yani real ob’yektni konvertatsion dasturlar asosida virtual modelini yaratish dolzarb muammo va real masalalardan biri bo‘lib bormoqda.

Bugungi kunda CAM tizimlari ishlab chiqarishning barcha jabhalarida keng qo‘llanilib, aksariyat CAM tizimlari personal kompyuter va unda CAD tizimi integratsiya qilingan dasturiy interfeysiga ega. So‘nggi 15-20 yilda CAD/CAM tizimlari va ularni ishlab chiqarish jarayoniga interatsiyalashtuvi ishlab chiqarishni yangi bosqichga olib chiqdi. Bu hol shiddat bilan rivojlanib borayotgan bozor iqtisodiyoti sharoitida maxsulotni tez, arzon va sifatli ishlab chiqarishga bo‘lgan talabni kelib chiqishi bilan izohlanadi. Bunday talablarni esa faqatgina CAD/CAM tizimi joriy etilgan ishlab chiqarish tarmog‘idagina amalga oshirishi mumkin.

So‘nggi yillarda mebelsozlik sanoatida ham CAD/CAM tizimlari tub burilish yaratdi. Murakkab naqsh kompozitsiyalariga ega bo‘lgan yog‘och o‘ymakorlik ishlari turli mebellarda keng qo‘llanilishini kuzatish mumkin. Aksariyat CAM tizimiga ega rover dastgohlari CAD dasturiy ta’minotiga ega bo‘lgan interfeys va tayyor vektor formatli turli kompozitsion andozalar bibliotekasi bilan birga yetkazib berilmoqda. Muammo shundaki, ixtiyoriy kompozitsion yechim talab etilsa u holda ushbu kompozitsiya CAD tizimi interfeysidan foydalanib yaratilishi nazarda tutiladi. Ma’lum bir rastr formatiga ega bo‘lgan tasvir esa dastlab CAD tizimiga import qilinishi, ya’ni konvertatsiyadan o‘tkazilishi talab etiladi. shundan so‘ng uni vektor tasvir formatida rover dastgohiga uzatish mumkin bo‘ladi. Muammo shundaki CAD/CAM tizimli rover dastgohlarining rastr formatlarini vektor formatiga o‘tkazilishi yetarli darajada tatbiq qilinmagan. Rastr tasvirlarni o‘zini dastlabki ishlov berish orqali unda tasvir sifatini boshqarish (yorqinlik va yorug‘lik), tasvir konturlarini konkretlashtirish algoritmlari yetarli sifatni ta’minlab bermaydi. Natijada, rast tasvirlar CAD tizimiga import qilinganidan keyin to‘liq qaytadan konturlashni talab etadi va juda ko‘p vaqt sarfini talab etadi. Bundan tashqari foydalanuvchidan yetarli darajada tajriba va malakani talab etadi.

Shu o‘rinda, rastr formatini yetarli darajada boshqarish, rangli xromatik tasvirni oq-qora axromatik tasvirga o‘tkazish asosida tasvir konturlini yetarli

ISSN 3030-3907

aniqlik darajasiga olib chiqish, kontur chiziqlari qalinligini boshqarish imkoniyatlariga ega bo‘lgan konvertatsion dasturlarga talab katta ekanligi namoyon bo‘ladi. Ushbu imkoniyatlarga ega bo‘lgan konvertatsion dasturlar CAM tizimida ishlovchi RBDlarni sifat va vaqt nuqtai nazaridan yangi bosqichga olib chishi shubhasizdir.

CAM tizimida geometrik modellashtirish deganda detal sirt yuzasi asosida kesuvchi asbob traektoriyasini hisoblab chiqish tushuniladi. Umumiy holda detal sirtining matematik ifodasi quyidagi parametrik ko‘rinishga ega [11; 99-b]:

$$\vec{r}(u,v) = [x(u,v), y(u,v), z(u,v)] \quad \text{yoki} \quad \vec{r}(u,v) = \begin{bmatrix} r_1(u,v) \\ r_2(u,v) \\ r_3(u,v) \end{bmatrix}. \qquad (1.1)$$

Bu yerda: x, y, z yoki r_1, r_2, r_3 $r(u, v)$ yasovchi va yo‘naltiruvchilardan iborat sirtga tegishli bo‘lgan nuqtaning radius-vektor koordinatalari.

Tekislik uchun 1.1 tenglamada $z(u,v)$ yoki $r_3(u,v)$ ni nolga teglashtirish kifoya.

Kesuvchi asbob trayektoriyasini bevosita sirt yuzasiga tegishli bo‘lgan chiziq bo‘ylab harakatlanishini hisobga olsak u holda fazoviy egri chiziqning parametrik berilishi quyidagi ko‘rinishga ega [11; 22-b]:

$$\vec{r}(t) = [x(t), y(t), z(t)] \qquad \text{yoki} \qquad \vec{r}(t) = \begin{bmatrix} r_1(t) \\ r_2(t) \\ r_3(t) \end{bmatrix} \qquad (1.2)$$

Bu yerda x, y, z yoki r_1, r_2, r_3 $r(t)$ parametrli fazoviy egri chiziq nuqtasining radius-vektor koordinatalari.

Shuningdek, (1.2) tenglamada $z(t)$ yoki $r_3(t)$ ni nolga tenglashtirib, tekis egri chiziqni ifodalash mumkin bo‘ladi.

Kesuvchi asbobning detal sirtidagi trayektoriya bo‘ylab harakat uzunligi quyidagicha aniqlanadi:

$$L = \int_{t_0}^{t_1} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}\, dt \qquad (1.3)$$

Bunda ham dz/dt ni nolga tenglashtirib tekis egri chiziqning trayektoriya uzunligigni aniqlash mumkin.

CAM tizimlarini yog‘och o‘ymakorligida qo‘llashga qaratilgan ilmiy ishlar juda kam o‘rganilgan bo‘lib, dastlabki ilmiy izlanishlarga N.O. Rudenkoni [9] ishlarini misol keltirish mumkin. N.O. Rudenko tomonidan badiiy buyumlarni ishlab chiqishda ularning sirt yuzasi geometrik xususiyatini inobatga olib tavsiflangan va polygonal sirt yuzasi ko‘rsatkichi kiritilgan:

$$R = \frac{N_P}{S_M}, \qquad (1.4)$$

ISSN 3030-3907

Bu yerda: N_P – polygon uchlarining umumiy soni; S_M – model sirtining yuzasi.

Shuningdek, N.O. Rudenko tomonidan frezaning gorizontal tekislikda hararakatlanish qadamining tenglamasi ishlab chiqilgan:

$$S = \sqrt{8R_f * Rm_{max} - 3R_f^2 - 4Rm_{max}^2} \qquad (1.5)$$

Bu yerda: S – frezaning x o‘qi bo‘yicha qadami; R_f – sharsimon frezaning radiusi; Rm_{max} – profilning yuqori balandligi.

N.O. Rudenkoning ilmiy izlanishlarida asosan yog‘och materiali va unda faktura hosil qilishga qaratilgan bo‘lib, «Фактура 1» va «Фактура 2» nomli dasturiy ilovalari ishlab chiqilgan. Dasturlar yog‘och yuzasida oldindan berilgan shartlar asosida turli suniy fakturani (notekisliklarni) ishlov berish asosida keltirib chiqaradi, biroq, faktura ustida vektorli tasvirni hosil qilish algoritmlari o‘rganilmagan.

Lojkin Yu.V. [12] yog‘och o‘ymakorligi uchun naqsh kompozitsiyasidagi elementlarning matematik modellarni aniqlash va har bir element uchun freza kesish yunalishi trayektoriyasini algoritmini ishlab chiqishni tavsiya etgan. Yu.V. Lojkin tavsiya etgan algoritmda freza modelni bir necha bosqichda o‘tib ishlov berishni nazarda tutadi. Bugungi kunda aksariyat CAM tizimli frezalar x va y koordinatalar bo‘ylab bir marta o‘tib ishlov berishni inobatga olsak, modelni bir-necha bosqichda ishlov berish vaqtni ko‘p sarflashi hisobiga o‘z aktualligini yo‘qotmoqda.

Pirogov V.V. [13] CAM tizimlari uchun ikki egrilikka ega bo‘lgan sirtlarni analitik splaynlar asosida topologik sirtlarga approksimatsiya qilishni taklif etgan. Bunday sirtlarga gidronasos parraklari (lopastlari)ni misol keltirish mumkin. Topologik sirtlar uch o‘lchamli sirtlar bo‘lib, yog‘och o‘ymakorligida asosan turli ustun va qubbalarni bezakli ishlov berishda qo‘llanilishi mumkin. V.V. Pirogobning ishlanmalari 4 va undan yuqori bo‘lgan o‘qlar bo‘ylab harakatlanadigan RBDlarga qo‘l kelib, tekis yuzalarda vektorli tasvir formatini yaratishga qaratilmagan.

Sandu O.M. [14] o‘z ilmiy izlanishlarida kesubchi asbob (freza)ni girdobli harakatlantirish asosida dastgohda aylanma harakatdagi yog‘och bo‘lagida dekorativ relef hosil qilish tmatematik modelini tadqiq qilgan. Ya’ni:

$$X = \frac{v_{\text{п}}}{n_{\text{и}}k};\ Y = \frac{2\pi R_3 n_3}{n_{\text{и}}k};\ x = \frac{v_{\text{п}}}{n_3};\ y = 2\pi R_3\left(\frac{(N+1)n_3}{(n_{\text{и}}k)}\right);$$

$$A = 2R_3 n_3\left(2t_{\text{p}}\left(\text{e} - R_3\sin\alpha + \frac{t_{\text{p}}^2}{\sin^2\alpha}\right)^{1/2} / \left(\text{e} - R_3\sin\alpha + \frac{t_{\text{p}}^2}{\sin\alpha}\right)n_{\text{и}}\right);$$

ISSN 3030-3907

$$B = \left(\frac{2t_{\text{p}}(\text{e}-R_3 \sin\alpha)}{\sin\alpha} + t_{\text{p}}^2/\sin^2\alpha\right)^{1/2} * \left(2 + \upsilon_{\text{п}}/\pi n_{\text{и}}\left(\text{e} - R_3\sin\alpha + \frac{t_{\text{p}}}{\sin\alpha}\right)\right);$$

$$\sin\gamma = 2\pi R_3 n_3^2/(\upsilon_{\text{п}} n_{\text{и}} k). \qquad (1.6)$$

Bu yerda: X, Y – mos ravishda relyef elementlarining gorizontal va vertikal yo‘nalishlarda bir burilish ichida siljishi; x, y – gorizontal va vertikal yo‘nalishlarda girdoblarning bir-biriga nisbatan siljishi; A, B – freza pichog‘ining ishlov beriladigan yuza bilan bir martalik o‘zaro ta’siri natijasida olingan relyef elementining umumiy o‘lchamlari (eni va uzunligi); γ – relyef girdoblarining siljish burchagi; $\upsilon_{\text{п}}$ – asbobni o‘q yo‘nalishida etkazib berish tezligi; n_u – frezaning aylanishlari soni; k – freza pichoqlari soni; n_3 – xomtovon (zagotovka)ning aylanishlari soni; R_3 – xomtovonning radiusi; L_3 – xomtovonning aylana uzunligi; N – bitta girdobda relef elementlarining butun soni; t_p – o‘yish chuqurligi; e – xomtovonning o‘qiga nisbatan frezaning vertikal soljishi; α – freza pichog‘ining qiyalik burchagi.

O.M. Sanduning ilmiy izlanishi aylanma (silindrik) yog‘och yuzasida freza pichog‘ini bir tekis girdobli harakati asosida sun’iy relef fakturasini hosil qilishdan iborat, biroq ushbu fakturani rastrli tasviri asosida uni vektor tasvirga konvertatsiya qilish muammosi o‘rganilmagan.

Mazkur maqolada quyidagi ilmiy yangiliklar olindi:

1. CAM tizimlarida geometrik modellashtirish jarayonlari tahlil qilinib, kesuvchi asbob traektoriyasini aniqlashning parametrik modellari tizimli ravishda takomillashtirildi.
2. Rasstr tasvirlarni vektor formatga o‘tkazish jarayonining mavjud muammolari aniqlanib, ularni bartaraf etishga qaratilgan bosqichli konvertatsiya yondashuvi taklif etildi.
3. Tasvirlarni qayta ishlashda (yorqinlik, kontrast va konturlarni aniqlash) parametrlarni optimal tanlash orqali vektorlash sifatini oshirish usuli asoslab berildi.
4. CAM tizimlari uchun moslashtirilgan, ishlab chiqarish jarayoni talablarini hisobga oluvchi vektorlash algoritmlarini ishlab chiqish zarurati ilmiy jihatdan isbotlandi.
5. Yog‘och o‘ymakorligi kabi amaliy sohalarda rasstrdan vektorga o‘tish jarayonini takomillashtirish orqali ishlab chiqarish samaradorligini oshirish imkoniyatlari ko‘rsatib berildi.

XULOSA. Ushbu tadqiqotda CAM tizimlarida geometrik modellashtirishning nazariy va amaliy jihatlari keng qamrovda o‘rganildi. CAD/CAE/CAM tizimlarining o‘zaro integratsiyasi va ularning ishlab chiqarish jarayonidagi o‘rni tahlil qilindi.

ISSN 3030-3907

Kesuvchi asbob traektoriyasini aniqlashda parametrik modellardan foydalanishning ahamiyati asoslandi. Shu bilan birga, rasstr tasvirlarni vektor formatga o‘tkazish jarayonida mavjud muammolar, xususan konturlarni aniqlash va tasvir sifatini saqlash masalalari chuqur tahlil qilindi.

ADABIYOTLAR

1. CAM. https://ru.wikipedia.org/wiki/CAM (murojaat sanasi 04.03.2025).
2. Computer-aided manufacturing. https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_manufacturing (murojaat sanasi 25.03.2025).
3. CAD.https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.22a713aa-67c69d4f-7ff9a7ae-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_design (murojaat sanasi 04.03.2025).
4. Быков А. Желаемое и действительное в геометрическом моделировании // САПР и графика. – М.: 2002. №1. https://sapr.ru/article/6692?ysclid=m8xzmzig1419323897 (murojaat sanasi 01.04.2025).
5. Ковалькова И.Н. Автоматизация проектирования объектов заготовительно-штамповочного производства деталей сложной формы: автореф… канд. тех. наук: 05.13.12. – Самара. 2000. – 17 с.
6. Фокин Н.Н. Модель, алгоритмы и программная реализация инструментария разработки управляющих программ для токарных, токарно-фрезерных и фрезерных станков с ЧПУ: автореф… канд. тех. наук: 2.3.3 (05.13.06). – Москва. 2023. – 22 с.
7. Божко А.Н. Автоматизированный структурный анализ и синтез проектных решений в технической подготовке сборочного производства сложных изделий: автореф… док. тех. наук: 05.13.12. – Москва. 2019. – 34 с.
8. Серков Н.А. Точность многокоординатных машин с ЧПУ: теория, эксперимент, практика: автореф… док. тех. наук: 05.02.18, 05.11.15. – Москва. 2017. – 34 с.
9. Руденко Н.О. Дизайн резных художественно-промышленных изделий из древесины при автоматизированном производстве: автореф… канд. тех. наук: 17.00.06. – Ижевск. 2013. – 20 с.
10. Макеев П.А. Разработка методики автоматизированного размещения элементов на гибко-жесткой печатной плате электронного средства: автореф… канд. тех. наук: 2.3.7 (05.01.08). – Екатеринбург. 2005. – 24 с.
11. Голованов Н.Н. Геометрическое моделирование. Учебное пособие. – М.: Инфра-М, 2016. – 400 с.

ISSN 3030-3907

12. Мамаев Ю.А. Динамика движения робота-станка с параллельной кинематикой (гексапода) для окончательной обработки деталей сложной геометрии: автореф… канд. тех. наук: 01.02.06. – Курск. 2014. – 16 с.
13. Пирогов В.В. Топологическое построение связанных моделей поверхностей деталей на основе аналитических сплайнов для программирования обработки на станках с ЧПУ: автореф… канд. тех. наук: 05.13.06. – Москва. 2004. – 24 с.
14. Санду О.М. Дизайн художественных изделий из древесины с регулярным декоративным рельефом: автореф… канд. тех. наук: 17.00.06. – Москва. 2005. – 20 с.
15. Целюкова Н.А. Оптимизация лечения пациентов с применением CAD/CAM технологий в клинике ортопедической стоматологии: автореф… док. мед. наук: 14.01.14. – Москва. 2013. – 45 с.

ISSN 3030-3907

PRODUCTION OF HIGH-TEMPERATURE-RESISTANT STABILIZING ETHER FOR SELBAZ-PAS DRILLING MIXTURES FOR THE OIL AND GAS INDUSTRY FROM CELLULOSE-BASALT FIBER COMPOSITES

Sattorov Laziz Kholmurodovich
Docent Karshi state technical university, Karshi, Uzbekistan
E-mail:sattorovlaziz@gmail.com
(ORCID: 0009-0005-9028-1225)
Tel: +998 97 382-84-89
Kurbanov Abdiraxim Axmedovich
Professor Bukhara state technical university, Bukhara, Uzbekistan
E-mail:bo_bosh@mail.ru
(ORCID:0009-0008-3484-2851)
Tel: +9989936618169
Rahmatov Xudoyor Boboniyozovich
Professor Karshi state technical university, Karshi, Uzbekistan
E-mail:Zavod.lab@mail.ru
(ORCID: 0000-0003-4976-5541
Tel: +998 91 460 85 95
Juraeva Huriyat Zoirovna
Lecturer of the University of Economics and Pedagogy, Karshi, Uzbekistan
E-mail: Huriyat_2025@gmail.com
(ORCID: 0009-0005-4875-0577)
Tel: +998 97 460-81-89

Annotatsiya. Sellyuloza-bazalt tolali kompozitlar – bu standart polianionli sellyulozalarga (PAS) qaraganda 35–50% yuqori termal barqarorlikka ega bo‘lgan, bazalt bilan modifikatsiyalangan polianionli sellyuloza efirlaridir. Tadqiqot natijalari filtrlashdagi yo‘qotishlar 40% gacha kamayganini ko‘rsatdi. Ushbu kompozitlar burg‘ilash eritmasining strukturaviy-mexanik xususiyatlarini yaxshilaydi va chuqur hamda yuqori haroratli neft-gaz quduqlari uchun samarali stabilizator sifatida ijobiy natijalar berishi bilan ajralib turadi.

Kalit so‘zlar: polianion sellyuloza, bazalt tolasi, termobarqaror stabilizator, burg‘ilash eritmasi, sellyuloza kompozitlari, yuqori haroratga chidamlilik, neft-gaz quduqlari

Аннотация. Целлюлозно-базальтовые волокнистые композиты представляют собой базальтомодифицированные полианионные эфиры целлюлозы, обладающие на 35–50% более высокой термостойкостью по сравнению со стандартными полианионными целлюлозами (ПАЦ). Результаты показали, что их применение позволило снизить потери на

фильтрацию до 40%. Данные композиты улучшают структурно-механические свойства бурового раствора. Являясь эффективным стабилизатором, они успешно применяются в глубоких и высокотемпературных нефтяных и газовых скважинах, что подтверждается положительными результатами исследований.

Ключевые слова: полианионная целлюлоза, базальтовое волокно, термостойкий стабилизатор, буровой раствор, целлюлозные композиты, высокотемпературная стойкость, нефтегазовые скважины.

Annotation. Cellulose-basalt fiber composites are basalt-modified polyanionic cellulose ethers that possess 35–50% higher thermal stability compared to standard pas. The results showed that filtration reduced losses by up to 40%. Improves the structural and mechanical properties of the drilling fluid. As an effective stabilizer for deep and high-temperature oil and gas wells, it is characteristic of the positive results of research processes.

Keywords: polyanionic cellulose, basalt fiber, thermostable stabilizer, drilling fluid, cellulose composites, high-temperature resistance, oil and gas wells

INTRODUCTION.

Processes have been implemented to master the technology for producing high-temperature-resistant stabilizing ether for SELBAZ-PAS drilling mixtures for the oil and gas industry from cellulose-basalt fiber composites. Below, the technology for obtaining high-temperature-resistant basalt-modified polyanionic cellulose ester (PAS) for the oil and gas industry based on cellulose-basalt fiber composites is described on a scientific and technological basis.

Polyanionic cellulose (PAC), used in the process of drilling oil and gas wells, serves to ensure the rheological stability of the drilling fluid, reduce filtration, and ensure wall stability. However, PAS undergoes degradation at temperatures above 120–140°C. Therefore, obtaining a thermostable PAS ether modified with basalt microfiber or nanoparticles is relevant. In such cases, it is necessary to form a reliable raw material base and its composition based on specific consumption norms.

The raw material base consists of cellulose, which is considered the main objects of the scientific work, while the source consists of rice straw, sorghum cellulose, and basalt fiber.

These objects are subject to the following requirements: α-cellulose ≥ 90%, moisture ≤ 8%, basalt component - microfiber (5–20 μm), or basalt nano-dispersion (100–500 nm) - silane activation to form a thermostable reinforcing nanophase.

The stages of the technological process include the following sequence;

Here,

ISSN 3030-3907

3.1. Alkaline activation of cellulose; where;

$$Cell\text{-}OH + NaOH \rightarrow Cell\text{-}ONa$$

Conditions - Parameters NaOH 18–22%, t=25–30°C, the process was carried out for 2 hours.

3.2 The esterification stage, i.e., the carboxymethylation process, was carried out in the sodium monochloroacetate reagent $Cell\text{-}ONa + ClCH_2COONa \rightarrow Cell\text{-}O\text{-}CH_2COONa$ at the following parameters at 60-70°C for 2-3 hours, where the degree of substitution was AD (rate of substitution) = 0.6-0.9.

3.3. The basalt modification was performed in two variants. Option 1: Basalt nanoparticles are added in the reaction medium, i.e., during the esterification process - 2-5% by mass. In variant 2, post-modification is performed by adding basalt dispersion to the finished PAS solution.

Ultrasound dispersion (20 kHz, 15 min). The result is a complex structure, i.e., hydrogen and ionic bonds.

The drying and granulation process is carried out at a vacuum drying temperature of 60-80°C and is ground into fractions of 100-250 μm.

The mechanism of structural formation is the formation of polyanionic cellulose chains and carboxyl groups (-COO−) in the ester.

The mechanism of action of the basalt silicate structure is that basalt particles form a thermally stable framework. This strengthens the rheological structure and slows down the thermal degradation of polymer chains.

Table 1.

Laboratory results (typical)

№	Indicator	Simple PAS	Basalt Modified PAS
1.	AD		
2.	Viscosity (25°C)	42 mPa·s	48 mPa·s
3.	Viscosity (150°C)	18 mPa·s	34 mPa·s
4.	Seepage loss	12 ml	7 ml
5.	Thermal stability	130°C	180°C

In this case, the effect in the drilling fluid, i.e., the application dose, is 0.5–1.5%.

As a result, API filtration decreases by 30–40%, the wall colmatage effect improves, well wall stability increases, and it operates stably in high-temperature wells. This is characterized by thermal stability up to 180°C, stability in saline environments, improved rheological properties, and environmental safety.

Basalt-modified polyanionic cellulose ethers obtained on the basis of cellulose-basalt fiber composites possess 35–50% higher thermal stability

ISSN 3030-3907

compared to standard pas. The results showed that filtration reduced losses by up to 40%.

Improves the structural and mechanical properties of the drilling fluid. As an effective stabilizer for deep and high-temperature oil and gas wells, it is characteristic of the positive results of the research process.

Below are the results of the analysis of scientific and technological research on the technology for obtaining high-temperature-resistant basalt-modified polyanionic cellulose ester (PAS) for the oil and gas industry based on cellulose-basalt fiber composites.

It presents the results of studies on the activity of inhibitors in the aqueous phase of the drilling fluid, as well as high resistance of clay rocks, i.e., basalt-based pas.

In the table below, the reactive activity of these basalt and inhibitor mixture grades after thermal stability can be observed in samples attached to CMC.

Table 2.

Post-thermal stability reactivity of basalt and inhibitor mixture grades attached to RAS

№	PAS and Basalt composite brands	Basalt fiber	Barit $BaSO_4$	$CaSO_4$	PAS-77 PD-900	NaCl
		kg/m³				
1.	PAS-BAZ-1	10	12	0.6	22.2	1.4
2.	PAS-BAZ-2	12	16	042	18.8	0.6
3.	PAS-BAZ-3	14	14	1.4	18.8	0.8
4.	PAS-BAZ-4	16	21	1.8	18.4	1.2
6.	Quality indicatori	120 °The freezing of an absolutely dry KMS clay solution after heat treatment at 'C, with a mass fraction of 0.75 (calculated for the main substance) and no more than 4.0'p				
		PAS-BAZ-1	PAS-BAZ-1	PAS-BAZ-1	PAS-BAZ-1	
		3.4	3.7	4.0	4.8	

Table 1 shows that the water loss of an absolutely dry KMS clay solution after thermal treatment at 80 °C, with a mass fraction of 0.75 (calculated for the main substance) and no more than 4.0, was tested, and optimal parameters for the destruction of each ingolin were determined. As a result, it was determined that each ingoline inhibitor composite is resistant to heat treatment at 120 °C.

ISSN 3030-3907

Table 3.

Post-thermal stability reactivity of basalt and inhibitor composite grades attached to RAS

№	PAS and Basalt composite brands	Basalt fiber	Barit $BaSO_4$	$CaSO_4$	PAS-77 PD-900	NaCl
		kg/m^3				
1.	**PAS-BAZ-1**	8.	10	0.8	20	1.2
2.	**PAS-BAZ-2**	9.	13	0.2	19	0.8
3.	**PAS-BAZ-3**	10	12	1.2	18.5	0.8
4.	**PAS-BAZ-4**	11.	19	1.4	18	1.6
6.	Quality indicator	140 °hardening of an absolutely dry KMS clay solution after thermal treatment at 'C, with a mass fraction of 0.75 (calculated for the main substance) not exceeding 4.0				
		PAS-BAZ-1	**PAS-BAZ-1**	**PAS-BAZ-1**	**PAS-BAZ-1**	
		3.8	4.0	5.2	6.4.	

In Table 2, the water loss of the absolutely dry KMS clay solution after heat treatment at 140 °C was tested, with a mass fraction of 0.75 (calculated for the main substance) not exceeding 4.0, and optimal parameters for the destruction of each ingolin were determined. As a result, the resistance of each ingolin inhibitor composite to heat treatment at 140 °C was determined. The degradation of reagents in the IngoLin-05 lignin mixture significantly decreased, i.e., increased by 6.8.

PRACTICAL DIAGRAM OF THE INNOVATIVE TECHNOLOGY FOR OBTAINING HIGH-TEMPERATURE RESISTANT STABILIZING ETHER FROM CELLULOSE-BASALT FIBER COMPOSITIONS FOR SELBAZ-PAS DRILLING MIXTURES FOR THE OIL AND GAS INDUSTRY

ISSN 3030-3907

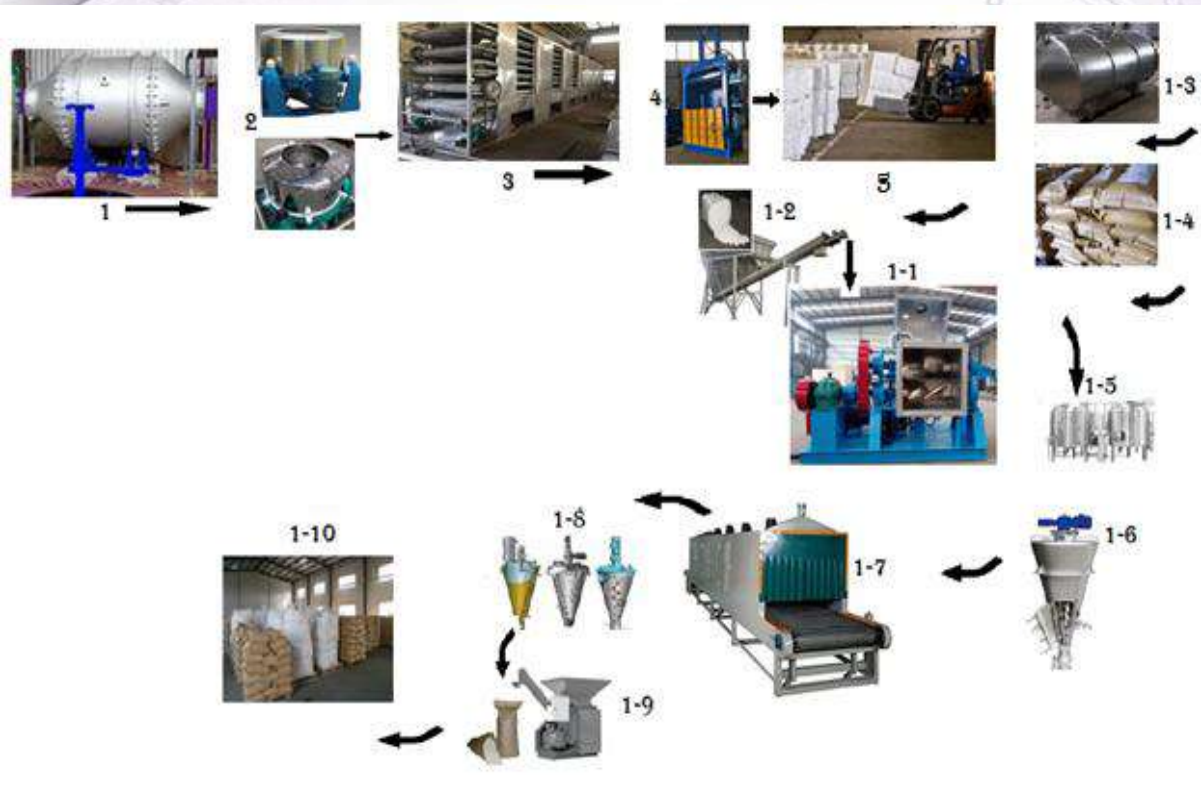


Figure 6: Technology for producing high-temperature-resistant stabilizing ether for SELBAZ-PAS drilling mixtures for the oil and gas industry from cellulose-basalt fiber composites

1-natron cooking pot, 2-centrifuge, 3-cellulose drying chamber, 4-prepared product briquetting-pressing unit, 5-prepared product warehouse.

1-1 - Mono-apparatus unit, 1-2 - cellulose loading unit, 1-3 - NaOH preparation - storage and transfer capacity, 1-4 - CH_2ClCO_2Na, 1-5 - maturation capacity for exothermic reactions, 1-6 - agitator unit for bringing the matured coarse mass to a uniform consistency, 1-7 - drying chamber, 1-8 - agitator unit for bringing the dried coarse mass to a uniform consistency, 1-9 - special mill equipment, 1-10 - warehouse for storing finished products.

The technology for producing high-temperature-resistant stabilizing ether for SELBAZ-PAS drilling mixtures for the oil and gas industry from cellulose-basalt fiber composites is presented above.

To this; (1) During the cellulose production process, the finished cellulose from the atron cooking pot (2) is dehydrated and squeezed using a centrifuge, (3) is sent to the cellulose drying chamber, and (4) is transferred to the ready-made product briquetting-pressing unit. (5) The finished product is placed in the warehouse.

At the main stage, the innovative technology for obtaining high-temperature-resistant stabilizing ether from cellulose-basalt fiber composites for the oil and gas industry was mastered.

ISSN 3030-3907

In this case, the 1-1-mono-apparatus unit (1-2) is loaded into the cellulose loading unit (1-3), and the NaOH preparation—merceration—process is carried out using the storage and extraction capacity, i.e., the production of alkaline cellulose. Then, by adding (1-4) CH_2ClCO_2Na to the mass with alkaline cellulose, the exothermic reaction (1-5) is transferred to the maturation tank. (1-6) The hardened coarse mass is passed through a stirrer that brings it to a uniform consistency and dried in a drying chamber (1-7). (1-8) The dried coarse mass passes through an aggregate - a scraper (1-9), is crushed using a special milling equipment, and (1-10) is placed in the warehouse where the finished product is stored.

USED LITERATURE

1. M.M. Murodov. "Technology of making cellulose and its ethers using raw materials" // International Conference "Renewable Wood and Plant Resources: Chemistry, Technology, Pharmacology, and Medicine." Saint Petersburg, Russia. June 21-24. 142-143.
2. M.M. Murodov. "The technology of making carboxymethyl cellulose (cmc) by method monoapparatus" // International Conference "Renewable Wood and Plant Resources: Chemistry, Technology, Pharmacology, and Medicine." Saint Petersburg, Russia. June 21-24. 141-142.
3. Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan No. 520 dated August 27, 2020 "ON MEASURES TO CREATE FAST-GROWING AND INDUSTRIAL PAVLONIUM PLANTS IN THE REPUBLIC."
4. Internet: https://xs.uz/uzkr/post/ –Pavlovniya plantations will be organized in the regions/
5. Muradov, M. Kh., & Muradov, B. Kh. U. (2015). A 20 kW automatically controlled photovoltaic station for an educational institution. Science Time, (12 (24)), 543-547.
6. Muradov, M. M., Rakhmanberdiev, G. R., Khalikov, M. M., Egamberdiev, E. A., Negmatova, K. C., Saidov, M. M., & Mahmudova, N. (2012, July). Endurance of high molecular weight carboxymethyl cellulose in corrosive environments. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1459, No. 1, pp. 309-311). American Institute of Physics.
7. Murodov, M. M., Yusupova, N. F., Urabjanova, S. I., Turdibaeva, N., & Siddikov, M. A. (2021). OBTAINING A PAC FROM THE CELLULOSE OF PLANTS OF SUNFLOWER, SAFFLOWER AND WASTE FROM THE TEXTILE INDUSTRY.
8. Murodov, M. M., Yusupova, N. F., Urabjanova, S. I., Turdibaeva, N., & Siddikov, M. A. Obtaining a PAC From the Cellulose of Plants of Sunflower,

ISSN 3030-3907

Safflower and Waste From the Textile Industry. European Journal of Humanities and Educational Advances, 2 (1), 13-15.
9. Murodov, M. M., Khudoyarov, O. F., & Urozov, M. Q. (2018). Technology for producing carboxymethylcellulose using local raw materials. Advanced Engineering Forum Vols. 8-9 (2018) pp. 411-412/©. Trans Tech Publications, Switzerland. doi, 10-9.
10. Primkulov, M. T., Rakhmonbtrdiev, G., Murodov, M. M., & Mirataev, A. A. (2014). Technology for processing cellulose-containing raw materials. Publication of the National Society of Philosophers of Uzbekistan. Tashkent, 28-29.
11. Rakhmanberdiev, G. R., & Murodov, M. M. (2011). Development of a technology for obtaining cellulose from Topinambur plants. Scientific electronic journal "Economics and Innovative Technologies," (2) , 1-11.
12. Elievich, C. L., Khasanovich, Y. S., & Murodovich, M. M. (2021). TECHNOLOGY FOR PRODUCING PAPER COMPOSITIONS FOR DIFFERENT AREAS FROM FIBER WASTE.
13. MURODOVICH, M. M., KULTURAEVICH, U. M., & MAHAMEDJANOVA, D. (2018). Development of technology for producing cellulose from tissue plants and obtaining Na-carboxymethylcellulose based on it. JournalNX, 6 (12), 407-411.
14. Rakhmonberdiev, G., Murodov, M., Negmatova, K., Negmatov, S., & Lysenko, A. (2012). Effective Technology for Obtaining Carboxymethyl Cellulose from Annual Plants. In Advanced Materials Research (Vol. 413, pp. 541-543). Trans Tech Publications Ltd.
15. Murodovich, M. M., Murodovich, H. M., & Kulturaevich, U. M. (2020). Obtaining technical carboxymethyl cellulose increased in the main substance. ACADEMICIA: AN INTERNATIONAL MULTIDISCIPLINARY RESEARCH JOURNAL, 10 (12), 717-719.
16. Murodovich, M. M., Kulturaevich, U. M., & Mahamedjanova, D. Comparative Researches of the Composition and Properties of CMC in Different Degrees of Polymerization. JournalNX, 6 (12), 412-415.
17. Yuldasheva, G. I., & Teshabayeva, O. N. (2020). Development of the digital economy of the Republic of Uzbekistan. Universum: Economics and Jurisprudence, (7 (72)), 4-6.
18. Teshabaeva, O., Yuldasheva, G., & Yuldasheva, M. (2021). DEVELOPMENT OF ELECTRONIC BUSINESS IN THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN. International, (3-3), 16-18.
19. Ibragimovna, Y. G. (2022). ADVANTAGES OF THE CREDIT MODULE SYSTEM IN THE FIELD OF EDUCATION. INTERNATIONAL JOURNAL

ISSN 3030-3907

OF SOCIAL SCIENCE & INTERDISCIPLINARY RESEARCH ISSN: 2277-3630 Impact factor: 7.429, 11, 14-16.
20. Yuldasheva, M. (2021). EFFECTIVE MANAGEMENT OF INVESTMENT ACTIVITIES IN INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN UZBEKISTAN. Student Bulletin, (3-4), 11-13.
21. Shermatova, G. Y. H. (2022). USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN TEACHING EXACT SCIENCES. Scientific progress, 3 (1), 372-376.
22. Yuldasheva, G. I., & Shermatova, K. M. (2021). THE USE OF ADAPTIVE TECHNOLOGIES IN THE EDUCATIONAL PROCESS. Economics and Society, (4-1), 466-468.
23. Khudayorova, S. I. (2022). FEATURES OF MORPHOLOGICAL LEAF FORMATION IN LIMON (CITRUS L.) IN PROTECTED PLACES. ONLINE SCIENTIFIC JOURNAL OF SUSTAINABILITY AND LEADING RESEARCH, 15-18.
24. Qodirova, G. O. Q., & Khudoyorova, F. (2021). THE ROLE OF EDUCATIONAL TECHNOLOGIES IN LANGUAGE TEACHING. Scientific progress, 2 (3), 894-898.
25. Itolmasovna, K. S. (2022). DEVELOPMENT OF MARKETING PROPERTIES OF PROCESSED LIMON. The American Journal of Agriculture and Biomedical Engineering, 4 (02), 21-25.

TECHNOLOGY FOR OBTAINING DRILLING FLUIDS FROM PAS STABILIZERS BASED ON MOLASSES CELLULOSE AND BASALT FIBER WITH IMPROVED PROPERTIES FOR EVAPORATING FLUIDS

Sattorov Laziz Kholmurodovich
Docent Karshi state technical university, Karshi, Uzbekistan
E-mail:sattorovlaziz@gmail.com
(ORCID: 0009-0005-9028-1225)
Tel: +998 97 382-84-89
Kurbanov Abdiraxim Axmedovich
Professor Bukhara state technical university, Bukhara, Uzbekistan
E-mail:bo_bosh@mail.ru
(ORCID:0009-0008-3484-2851)
Tel: +9989936618169
Rahmatov Xudoyor Boboniyozovich
Professor Karshi state technical university, Karshi, Uzbekistan
E-mail:Zavod.lab@mail.ru
(ORCID: 0000-0003-4976-5541
Tel: +998 91 460 85 95
Juraeva Huriyat Zoirovna
Lecturer of the University of Economics and Pedagogy, Karshi, Uzbekistan
E-mail: Huriyat_2025@gmail.com
(ORCID: 0009-0005-4875-0577)
Tel: +99897 460-81-89

Annotatsiya. Neft va gaz sanoatida burg‘ilash qorishmalari uchun barqarorlashtiruvchi reagentlar asosida xossalari yaxshilangan baritli og‘irlashtirgichlarni modifikatsiyalash, shuningdek, lignin asosidagi ishqoriy shlamni ingibitor sifatida qayta ishlash texnologiyasini o‘zlashtirish va ishlab chiqarishga joriy etish bo‘yicha bir qator amaliy tadqiqotlar o‘tkazildi.

Kalit so‘zlar: burg‘ilash qorishmalari, barit og‘irlashtirgich, polianion sellyuloza, bazalt tolasi, lignin, stabilizator reagentlar, Na-KMS, neft-gaz sanoati

Аннотация. Проведен ряд прикладных исследований по модификации баритовых утяжелителей с улучшенными свойствами для буровых смесей в нефтегазовой промышленности на основе стабилизирующих реагентов, а также по освоению и внедрению в производство технологии переработки щелочных шламов на основе лигнина в качестве ингибитора.

Ключевые слова: буровые растворы, баритовый утяжелитель, полианионная целлюлоза, базальтовое волокно, лигнин, стабилизирующие реагенты, Na-КМЦ, нефтегазовая промышленность.

Annotation. Several applied research works have been conducted to modify barite weighting agents with improved properties for drilling mixtures in the oil and gas industry based on stabilizing reagents, as well as to master and implement into production the technology for processing lignin-based alkaline sludge as an inhibitor.

Keywords: drilling fluids, barite weighting agent, polyanionic cellulose, basalt fiber, lignin, stabilizing reagents, Na-CMC, oil and gas industry.

INTRODUCTION.

Several applied research works have been carried out to modify barite weighting agents with improved properties for drilling fluids in the oil and gas industry based on stabilizing reagents, as well as to master and implement into production the technology for processing lignin-based alkaline sludge as an inhibitor.

In the process of obtaining cellulose from safflower stems, it can be observed that the influence of an alkali solution has a positive effect on certain quality indicators, including ash content, α-cellulose, and whiteness, while negatively affecting the degree of its polymerization. In this case, the alkali concentration of 40 g/l was selected as the optimal for the sorghum stalk. Based on this parameter, the yield of cellulose is 36.1%, α-cellulose is 89.5%, and the degree of polymerization is 600.

In this section, the results of the study and analysis of the processes of using the obtained Na-CMC and the base as a stabilizing reagent for drilling fluids, the use of lignin in the alkaline slurry as an inhibitor in the process of extracting cellulose from drilling fluids and its study, the development of technology for processing stabilizing reagents and lignin-based alkaline slurry as an inhibitor in the modification of barite weighting agents for drilling fluids, as well as the fundamental scheme of the technology for processing stabilizing reagents and lignin-based alkaline slurry as an inhibitor in the modification of barite weighting agents with improved properties for drilling fluids in the oil and gas industry are widely covered.

During the peak of oil and gas well opening in the 1960s and 1980s, these black gold reserves were located in the less distant - shallow - depths of the Earth's crust. This practically eliminated the need for drilling fluids containing high molecular weight cellulose esters and various modifiable components. At the same time, the probability of destruction of the composition of drilling fluids continuously supplied to the wells was significantly lower, and the temperature during the drilling process was 80-1200C. At such temperatures, the decay of the elementary rings of the macromolecules of ethers based on natural polymers in drilling fluids practically does not occur. Years later, oil and gas reserves began

ISSN 3030-3907

to be extracted from deep underground layers. This began to require drilling fluids to be resistant to various negative factors. During the drilling process, it was observed that the very large amount of heat released causes the stabilizer and additional components in the solution to enter a destructive state. Additionally, various weighting agents were required to ensure that drilling fluids reached deep layers. Extreme high temperatures require the use of inhibitors in the phase to prevent the breakdown of elemental rings within the macromolecule. In order to eliminate such negative consequences, we have been working for years to create a technology for modifying barite weighting agents with improved properties for drilling mixtures. Barite concentrate grade KB-3 is a mineral substance with a density of 4.10–4.20 g/cm2 that meets the requirements of GOST 4682-84 and is used in large quantities as a raw material for the national economy and various industrial enterprises. The concentration of barite and barite-based alloys - mixtures will be used as a raw material in this presented innovative project to develop a technology for modifying barite weighers with improved properties for drilling mixtures in the oil and gas industry. The demand of JSC "Uzbekneftegaz" for barite weighers for drilling fluids is 30,000 tons per year. To meet this demand, imports from the Republic of Kazakhstan were ensured in exchange for significant foreign currency.

The adoption of Cabinet of Ministers Resolution No. 296 dated November 12, 2009, gave impetus to the organization of large-scale production of barite and barite concentrates in the Republic. In the innovative project, practical work is also being carried out to modify barite concentrates into drilling fluids as a composite, serving as a weighting agent for drilling deep-seated oil and gas wells, as well as to ensure its (Barit) activity in solutions that prevent groundwater leakage from oil wells during various underground collapses and the sharp cutting of solid mineral elements, to ensure modification compatibility with reagents of other compositions, and to achieve high results. Such work was mainly carried out by us in laboratory conditions, and the positive results obtained under laboratory conditions were obtained in experimental testing units at production enterprises and production departments specializing in the production of CMC and PAS, which are the main raw materials for drilling fluids available in our Republic.

ISSN 3030-3907

Table 1

"Chemical reagent produced by "PROMXIM IMPEKS" LLC and "TIKTITI" (polyanionic cellulose based on fibrous waste from textile enterprises and basalt fiber)

(the analysis was conducted in accordance with the requirements of TSH 39.3-275:2011 - for the stabilizing capacity of drilling fluid filtration)

Indicators	"PROMXIM IMPEX" LLC			"Tashkent Research Institute of Innovative Chemical Technology"		
	Technical requirement	Available wearing	Analysis results	Technical requirement	Available content	Conclusion analysis
Water loss of a completely dry KMS clay solution, with a mass fraction of 0.75 (calculated for the main substance) cm^3 minutes, not more	4.0	3.0	Matches	4.0	3.8	Matches
Water fraction by mass, not much	10	9.	Matches	10	10	Matches
Hydrogen index, pH 1.5% in aqueous solution	6, 10.	7.	Matches	6.0-10	7.	Matches

Chemical reagent produced by "PROMXIM IMPEKS" LLC and "TIKTITI" (cellulose from fibrous waste of textile enterprises and wormwood stalks, as well as polyanion cellulose based on basalt fiber) (*analysis was conducted in accordance with TSH 39.3-275:2011 requirements - according to the stabilizing capacity of drilling fluid filtration)* From the table, it can be seen that the reagent mixture containing barite aggravators is characterized by its use as a stabilizing raw material for the oil and gas industry. To further improve the extraction of barite and its concentrates, "Neftegazmineral" LLC was established under the jurisdiction of JSC "Uzgeoburneftegaz," which is engaged in the processing of "Saribulak" barite ores and the production of barite and barite concentrates based on them under license No. TV-0198. More than 38.7 thousand

ISSN 3030-3907

tons of barite concentrates of categories C1 and C2 were discovered at the "Saribulak" barite ore deposit. Barite and concentrates of these categories, i.e., KB-6 concentrate, meet the grades established by GOST 4682-84.

For more than 10 years, we have been developing a technology for modifying barite weighers with improved properties for drilling fluids, using barite concentrate KB-6 of category C_1-C_2 obtained at the "Saribulak" barite ore deposit, which meets the grades specified in GOST 4682-84, as the object.

Its use as a weighting agent in drilling fluids led not only to its positive effect as a bentonite and weighting agent, but also to a partial reduction in drilling heat and the destruction of elemental rings in the polymer macromolecule, significantly reducing the degree of water impermeability by 3-4.5.

In the course of the research, the creation of a technology for modifying weighing agents based on barite ores with improved properties for drilling mixtures from local raw materials and their introduction into industrial production. In this way, a component is obtained that can replace the import of barite concentrates imported from abroad for a large amount of currency, is export-oriented, and differs from its analogues by its low cost and several times higher efficiency.

The use of lignin in the alkaline sludge formed during the extraction of cellulose from drilling fluids as an inhibitor and the use of lignin in the alkaline sludge formed during the extraction of cellulose from drilling fluids as an inhibitor at the research stage are shown.

Lignin. is a natural complex polymer substance. Mol. m. From 1000 to 150,000, density 1250–1450 kg/m3. It is found in the cells of vascular plants. Lignin accumulates in the cell walls, woodens the cell, and makes it stronger. Broad-leaved trees contain 20–30%, while coniferous trees contain up to 50% lignin. The L. molecule consists of substances formed during the polymerization of aromatic alcohols. Lignin is a yellow-brown amorphous substance that is insoluble in water and organic solvents. Lignin accumulates in cell membranes, making the cell lignified and strong. Broad-leaved trees contain 20–30%, while coniferous trees contain up to 50% lignin. The lignin molecule consists of substances formed during the polymerization of aromatic alcohols. Lignin is a yellow-brown amorphous substance, insoluble in water and organic solvents. Lignin is formed as follows: cyclic acid – phenylalanine – cinnamon acid – ferulic acid – coniferous alcohol – L. L. cellulose and hydrolysis is a waste productin the industry. It is used as a raw material in the production of fuel, granular activated carbon, porous bricks, fertilizers, fillers, and plastics.

ISSN 3030-3907

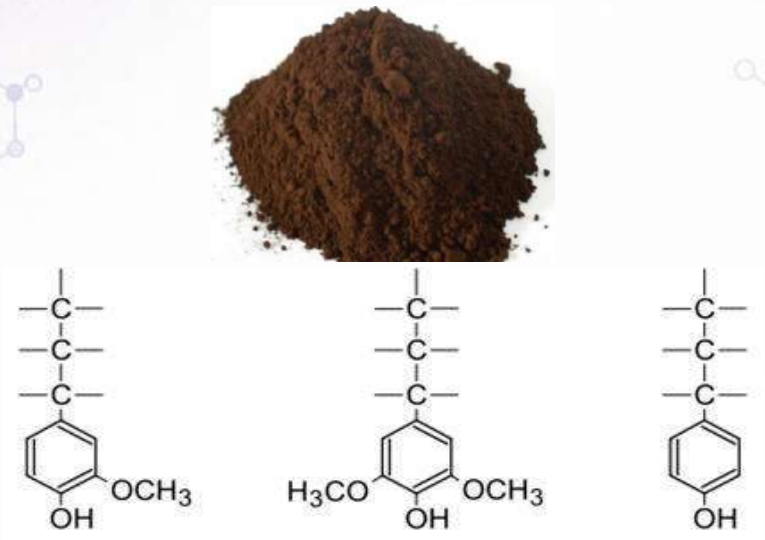


Figure 2: Structural units of lignin

The lignin extracted during the extraction of cellulose from sorghum stalks was used as an inhibitor for the stabilization of drilling fluids by adding a technical reagent to the mass during the synthesis of CMC and PAS.

At the same time, it has been proven through research analysis that phenol, benzene, hydroxyl, and carbonyl groups in lignin are used as protective inhibitors to prevent thermal destruction during drilling, which prevents partial heat absorption and the breakdown of the reagent macromolecule.

USED LITERATURE

1. M.M. Murodov. "Technology of making cellulose and its ethers using raw materials" // International Conference "Renewable Wood and Plant Resources: Chemistry, Technology, Pharmacology, and Medicine." Saint Petersburg, Russia. June 21-24. 142-143.

2. M.M. Murodov. "The technology of making carboxymethyl cellulose (cmc) by method monoapparatus" // International Conference "Renewable Wood and Plant Resources: Chemistry, Technology, Pharmacology, and Medicine." Saint Petersburg, Russia. June 21-24. 141-142.

3. Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan No. 520 dated August 27, 2020 "ON MEASURES TO CREATE FAST-GROWING AND INDUSTRIAL PAVLONIUM PLANTS IN THE REPUBLIC."

4. Internet: https://xs.uz/uzkr/post/–Pavlovniya plantations will be organized in the regions/

5. Muradov, M. Kh., & Murodov, B. Kh. U. (2015). Automatically controlled photovoltaic station with a capacity of 20 kW for an educational institution. Science Time, (12 (24)), 543-547.

6. Muradov, M. M., Rakhmanberdiev, G. R., Khalikov, M. M., Egamberdiev, E. A., Negmatova, K. C., Saidov, M. M., & Mahmudova, N. (2012, July). Endurance of high molecular weight carboxymethyl cellulose in corrosive environments. In

ISSN 3030-3907

AIP Conference Proceedings (Vol. 1459, No. 1, pp. 309-311). American Institute of Physics.

7. Murodov, M. M., Yusupova, N. F., Urabjanova, S. I., Turdibaeva, N., & Siddikov, M. A. (2021). OBTAINING A PAC FROM THE CELLULOSE OF PLANTS OF SUNFLOWER, SAFFLOWER AND WASTE FROM THE TEXTILE INDUSTRY.

8. Murodov, M. M., Yusupova, N. F., Urabjanova, S. I., Turdibaeva, N., & Siddikov, M. A. Obtaining a PAC From the Cellulose of Plants of Sunflower, Safflower and Waste From the Textile Industry. European Journal of Humanities and Educational Advances, 2 (1), 13-15.

9. Murodov, M. M., Khudoyarov, O. F., & Urozov, M. Q. (2018). Technology for producing carboxymethylcellulose using local raw materials. Advanced Engineering Forum Vols. 8-9 (2018) pp. 411-412/©. Trans Tech Publications, Switzerland. doi, 10-9.

10. Primkulov, M. T., Rakhmonbtrdiev, G., Murodov, M. M., & Mirataev, A. A. (2014). Technology for processing cellulose-containing raw materials. Publication of the National Society of Philosophers of Uzbekistan. Tashkent, 28-29.

11. Rakhmanberdiev, G. R., & Murodov, M. M. (2011). Development of a technology for obtaining cellulose from Topinambur plants. Scientific electronic journal "Economics and Innovative Technologies," (2) , 1-11.

12. Elievich, C. L., Khasanovich, Y. S., & Murodovich, M. M. (2021). TECHNOLOGY FOR PRODUCING PAPER COMPOSITIONS FOR DIFFERENT AREAS FROM FIBER WASTE.

13. MURODOVICH, M. M., KULTURAEVICH, U. M., & MAHAMEDJANOVA, D. (2018). Development of technology for producing cellulose from tissue plants and obtaining Na-carboxymethylcellulose based on it. JournalNX, 6 (12), 407-411.

14. Rakhmonberdiev, G., Murodov, M., Negmatova, K., Negmatov, S., & Lysenko, A. (2012). Effective Technology for Obtaining Carboxymethyl Cellulose from Annual Plants. In Advanced Materials Research (Vol. 413, pp. 541-543). Trans Tech Publications Ltd.

15. Muradovich, M. M., Muradovich, H. M., & Kulturaevich, U. M. (2020). Obtaining technical carboxymethyl cellulose increased in the main substance. ACADEMICIA: AN INTERNATIONAL MULTIDISCIPLINARY RESEARCH JOURNAL, 10 (12), 717-719.

16. Murodovich, M. M., Kulturaevich, U. M., & Mahamedjanova, D. Comparative Researches of the Composition and Properties of CMC in Different Degrees of Polymerization. JournalNX, 6 (12), 412-415.

ISSN 3030-3907

17. Yuldasheva, G. I., & Teshabayeva, O. N. (2020). Development of the digital economy of the Republic of Uzbekistan. Universum: Economics and Jurisprudence, (7 (72)), 4-6.
18. Teshabaeva, O., Yuldasheva, G., & Yuldasheva, M. (2021). DEVELOPMENT OF ELECTRONIC BUSINESS IN THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN. International, (3-3), 16-18.

ISSN 3030-3907

SUN’IY NEYRON TARMOQLAR ASOSIDA TEXNOLOGIK OBYEKTLARNINGADABTIV BOSHQARISH TIZIMINI SINTEZLASH ALGORITMLARI

Karimov Olimjon Rasulovich
Buxoro davlat texnika universiteti tayanch doktoranti
E-mail: olimrasulovich@gmail.com
B.T.Vafoqulovich
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti Ilmiy rahbar: t.f.d. prof.

Annotatsiya. Ushbu maqolada sun’iy neyron tarmoqlar asosida texnologik obyektlarning adaptiv boshqaruv tizimlarini sintezlash algoritmlari tahlil qilingan. Murakkab nochiziqli dinamikaga ega tizimlarda an’anaviy boshqaruv usullarining cheklovlari ko‘rsatilib, neyron tarmoqlarning universal approksimatsiya xususiyati asosida adaptiv boshqaruvni amalga oshirish yondashuvlari yoritilgan. Lyapunov barqarorlik nazariyasi bilan integratsiyalashgan algoritmlar, chuqur o‘rganish va reinforcement learning metodlari muhokama qilingan. Tadqiqot natijalari neyron tarmoqlar asosidagi boshqaruv tizimlarining yuqori aniqlik va moslashuvchanlikka ega ekanligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: sun’iy neyron tarmoqlar, adaptiv boshqaruv, nochiziqli tizimlar, Lyapunov barqarorlik, chuqur o‘rganish, reinforcement learning, texnologik obyektlar, sintez algoritmlari, fuzzy logic, intellektual boshqaruv.

Аннотация. В данной статье рассматриваются алгоритмы синтеза адаптивных систем управления технологическими объектами на основе искусственных нейронных сетей. Проанализированы ограничения классических методов управления для сложных нелинейных систем и представлены подходы к адаптивному управлению с использованием универсальных аппроксимирующих свойств нейронных сетей. Обсуждаются алгоритмы, интегрированные с теорией устойчивости Ляпунова, методы глубокого обучения и обучения с подкреплением. Результаты исследования показывают высокую точность и адаптивность нейросетевых систем управления.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, адаптивное управление, нелинейные системы, устойчивость Ляпунова, глубокое обучение, обучение с подкреплением, технологические объекты, алгоритмы синтеза, нечеткая логика, интеллектуальное управление.

Abstract. This article analyzes synthesis algorithms for adaptive control systems of technological objects based on artificial neural networks. The limitations of classical control methods for complex nonlinear systems are discussed, and neural network-based adaptive control approaches utilizing universal approximation

ISSN 3030-3907

capabilities are presented. Algorithms integrated with Lyapunov stability theory, deep learning, and reinforcement learning methods are also reviewed. The results demonstrate that neural network-based control systems provide high accuracy and strong adaptability in dynamic environments.

Keywords: artificial neural networks, adaptive control, nonlinear systems, Lyapunov stability, deep learning, reinforcement learning, technological processes, synthesis algorithms, fuzzy logic, intelligent control.

KIRISH.

So‘nggi yillarda sanoat tizimlarining murakkablashuvi, raqamlashtirish jarayonlarining jadallashuvi hamda “Industry 4.0” konsepsiyasining keng joriy etilishi natijasida texnologik obyektlarni boshqarish masalalari yangi bosqichga ko‘tarildi. An’anaviy boshqaruv usullari, jumladan PID, optimal va adaptiv regulyatorlar murakkab, noaniq va nochiziqli dinamikaga ega tizimlarda har doim ham yetarli samaradorlikni ta’minlay olmaydi. Shu sababli, so‘nggi ilmiy tadqiqotlarda sun’iy intellekt asosidagi yondashuvlar, xususan sun’iy neyron tarmoqlar (SNT) va ularning adaptiv boshqaruvdagi qo‘llanilishi keng o‘rganilmoqda. Sun’iy neyron tarmoqlar o‘zining universal approksimatsiya xususiyati bilan murakkab matematik modellarni aniq identifikatsiya qilmasdan turib, tizim dinamikasini yaqinlashtirish imkonini beradi. Bu esa ayniqsa parametrik noaniqliklar, tashqi g‘alayonlar va vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchan muhitlarda ishlaydigan texnologik jarayonlar uchun juda muhim hisoblanadi. Zamonaviy tadqiqotlarda neyron tarmoqlar asosida ishlab chiqilgan adaptiv boshqaruv tizimlari tizim holatini real vaqt rejimida tahlil qilib, boshqaruv signalini moslashtirish orqali yuqori aniqlik va barqarorlikni ta’minlashi ko‘rsatib berilmoqda. Hozirgi kunda adaptiv boshqaruv nazariyasi klassik yondashuvlardan data-driven (ma’lumotlarga asoslangan) va intelligent control (intellektual boshqaruv) paradigmasiga o‘tmoqda. Bu jarayonda neyron tarmoqlar fuzzy logic, reinforcement learning va optimal boshqaruv usullari bilan integratsiya qilinib, gibrid boshqaruv tizimlari shakllantirilmoqda. So‘nggi ilmiy manbalarda bunday yondashuvlar murakkab tizimlarning nochiziqliligini kompensatsiya qilish, nosozliklarga chidamlilikni oshirish va moslashuvchanlikni kuchaytirishda samarali ekani ta’kidlanadi.

Sun’iy neyron tarmoqlar asosidagi adaptiv boshqaruv tizimlarining muhim jihatlaridan biri — Lyapunov barqarorlik nazariyasi bilan bog‘liq sintezdir. Ya’ni, boshqaruv qonunlari shunday quriladiki, tizimning xatolik dinamikasi energetik funksiyalar orqali nazorat qilinadi va global yoki lokal barqarorlik kafolatlanadi. Bu yondashuv an’anaviy “black-box” muammosini yumshatib, neyron tarmoqlarning faqat empirik emas, balki matematik asoslangan boshqaruv elementiga aylanishiga olib keladi. Bundan tashqari, zamonaviy ilmiy

ISSN 3030-3907

adabiyotlarda chuqur neyron tarmoqlar (deep neural networks) va dinamik neyron arxitekturalar adaptiv boshqaruvda muhim rol o‘ynashi qayd etilgan. Ular yuqori o‘lchamli ma’lumotlarni qayta ishlash, real vaqt rejimida qaror qabul qilish hamda tizim parametrlarining tez o‘zgarishiga moslashish imkoniyatini beradi. Shu bilan birga, bu modellarning hisoblash murakkabligi va o‘qitish jarayonining barqarorligi hali ham dolzarb muammolardan biri bo‘lib qolmoqda. Adaptiv boshqaruv tizimlarida neyron tarmoqlarni qo‘llashning yana bir muhim yo‘nalishi — model-free boshqaruv va reinforcement learning asosidagi yondashuvlardir. Bu usullarda tizimning aniq matematik modeli talab qilinmaydi, aksincha, boshqaruvchi agent tajriba asosida optimal strategiyani o‘rganadi. Bunday yondashuvlar ayniqsa robototexnika, energetika tizimlari va kimyoviy texnologik jarayonlarda keng qo‘llanilmoqda. Biroq, ularning xavfsizlik va barqarorlik kafolatlarini ta’minlash masalasi hanuz ilmiy izlanishlarni talab qiladi.

Texnologik obyektlarning adaptiv boshqaruvi nuqtai nazaridan qaraganda, sun’iy neyron tarmoqlar asosidagi tizimlar bir nechta muhim afzalliklarga ega: yuqori aniqlik, o‘z-o‘zini sozlash qobiliyati, tashqi g‘alayonlarga chidamlilik va murakkab nochiziqli bog‘lanishlarni modellashtirish imkoniyati. Shu bilan birga, bu tizimlarni real sanoat jarayonlariga tatbiq etishda sensor ma’lumotlarining shovqinliligi, kechikishlar va hisoblash resurslari cheklanganligi kabi amaliy muammolar ham mavjud. Shu nuqtai nazardan, sun’iy neyron tarmoqlar asosida adaptiv boshqaruv tizimlarini sintezlash algoritmlarini ishlab chiqish dolzarb ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi. Bunday algoritmlar nafaqat tizimning optimal ishlashini ta’minlashi, balki uning barqarorligi, tezkorligi va energiya samaradorligini ham kafolatlashi kerak. Hozirgi tadqiqotlar ushbu yo‘nalishda neyron-fuzzy tizimlar, chuqur reinforcement learning va model-predictive control (MPC) bilan integratsiyalashgan yondashuvlarga alohida e’tibor qaratmoqda. Sun’iy neyron tarmoqlar asosidagi adaptiv boshqaruv tizimlari zamonaviy boshqaruv nazariyasining eng istiqbolli yo‘nalishlaridan biri bo‘lib, ular murakkab texnologik obyektlarning samarali ishlashini ta’minlashda muhim rol o‘ynamoqda. Ushbu maqolada aynan shunday tizimlarni sintezlash algoritmlarining nazariy asoslari, zamonaviy yondashuvlari va amaliy qo‘llanilish imkoniyatlari tahlil qilinadi.

ADABIYOTLAR TAHLILI. So‘nggi yillarda texnologik jarayonlarni boshqarish sohasida sun’iy intellektga asoslangan yondashuvlar, xususan sun’iy neyron tarmoqlar (SNT) asosidagi adaptiv boshqaruv tizimlari jadal rivojlanmoqda. Klassik boshqaruv nazariyasi — PID, LQR va Model Reference Adaptive Control (MRAC) kabi usullar — aniq matematik modelga tayanadi. Biroq zamonaviy sanoat obyektlari yuqori darajada nochiziqli, vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchan va noaniqliklarga boy bo‘lgani sababli, bunday yondashuvlar ko‘p

ISSN 3030-3907

hollarda yetarli aniqlik va barqarorlikni ta’minlay olmaydi. Shu sababli ilmiy tadqiqotlarda ma’lumotlarga asoslangan (data-driven) va intellektual boshqaruv algoritmlariga o‘tish kuchaymoqda. Adaptiv boshqaruvning umumiy rivojlanish tendensiyalari shuni ko‘rsatadiki, bu yo‘nalish dastlab parametrlari noma’lum bo‘lgan chiziqli tizimlar uchun ishlab chiqilgan bo‘lsa-da, keyinchalik murakkab nochiziqli tizimlarga kengaytirilgan. Zamonaviy adabiyotlarda adaptiv boshqaruvning asosiy maqsadi tizim parametrlarini real vaqt rejimida moslashtirish orqali barqarorlik va talab etilgan sifat ko‘rsatkichlarini ta’minlash ekani qayd etiladi. Shu bilan birga, soha rivojida raqamli hisoblash texnologiyalarining paydo bo‘lishi va tezkor mikroprotsessorlar adaptiv algoritmlarning amaliy tatbiqini sezilarli darajada kengaytirdi.

Neyron tarmoqlar asosidagi adaptiv boshqaruv yondashuvlari ayniqsa murakkab tizimlarni modellashtirish va boshqarishda samarali vosita sifatida e’tirof etilgan. Tadqiqotlarda sun’iy neyron tarmoqlarning universal approksimatsiya xususiyati tufayli noma’lum dinamikani yaqinlashtirish imkoniyati mavjudligi ko‘rsatilgan. Bu yondashuv an’anaviy modelga asoslangan boshqaruvdagi asosiy cheklov — aniq matematik model zarurati — ni bartaraf etadi. Natijada, neyron tarmoqlar adaptiv boshqaruvda noma’lum funksiyalarni real vaqt rejimida identifikatsiya qilish va kompensatsiya qilish vositasi sifatida keng qo‘llanilmoqda. Ilmiy adabiyotlarda neyron tarmoqlar va fuzzy logic tizimlarining kombinatsiyasi ham muhim yo‘nalish sifatida qaraladi. Bu gibrid yondashuvlar noaniqliklarni kamaytirish, tizimning interpretatsiya qilinishini yaxshilash va o‘qitish jarayonini barqarorlashtirish imkonini beradi. Fuzzy tizimlar inson bilimiga asoslangan lingvistik qoidalar orqali boshqaruvni ifodalasa, neyron tarmoqlar ma’lumotlardan avtomatik o‘rganish orqali moslashuvchanlikni oshiradi. Shu sababli zamonaviy tadqiqotlarda neyro-fuzzy adaptiv boshqaruv tizimlari keng qo‘llanilmoqda. So‘nggi yillarda chuqur neyron tarmoqlar (deep neural networks) va dinamik neyron arxitekturalar ham adaptiv boshqaruvga tatbiq etilmoqda. Ularning asosiy afzalligi yuqori o‘lchamli ma’lumotlarni qayta ishlash va murakkab funksional bog‘lanishlarni ifodalash qobiliyatidir. Shu bilan birga, real vaqt tizimlarida hisoblash murakkabligi va o‘qitishning barqarorligi muammolari dolzarb bo‘lib qolmoqda. Shunga qaramay, dinamik neyron tarmoqlar adaptiv tizimlarda tezkor qaror qabul qilish va o‘zgaruvchan muhitga moslashish imkoniyatini sezilarli darajada yaxshilamoqda.

Adaptiv boshqaruvda yana bir muhim yo‘nalish — reinforcement learning (mustahkamlovchi o‘rganish) asosidagi usullardir. Bu yondashuvda tizim aniq matematik modelga emas, balki tajriba va mukofot funksiyasiga asoslanib optimal boshqaruv strategiyasini o‘rganadi. Bu usullar ayniqsa robototexnika va avtonom tizimlarda samarali natijalar bermoqda, biroq ularning barqarorlikni kafolatlash masalasi hanuz ochiq muammo sifatida qolmoqda. Adabiyotlarda adaptiv boshqaruv tizimlarining barqarorligini ta’minlashda Lyapunov asosidagi

ISSN 3030-3907

yondashuvlar asosiy nazariy vosita sifatida ishlatilishi keng ta’kidlangan. Neyron tarmoqlar asosida ishlab chiqilgan adaptiv regulyatorlarda ham Lyapunov funksiyasi orqali og‘ish xatoliklari va og‘irlik koeffitsientlarining moslashuvi birgalikda tahlil qilinadi. Bu esa tizimning global barqarorligini ta’minlash imkonini beradi.

Texnologik obyektlarga tatbiq etilgan neyron tarmoq asosidagi adaptiv boshqaruv tizimlari, ayniqsa kimyo sanoati, energetika, robototexnika va jarayonlarni avtomatlashtirishda keng qo‘llanilmoqda. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, bunday tizimlar tashqi g‘alayonlarga chidamlilik, parametrik noaniqliklarga moslashuvchanlik va yuqori aniqlik kabi afzalliklarga ega. Biroq real sanoat sharoitida sensor shovqini, kechikishlar va resurs cheklovlari ushbu usullarning amaliy qo‘llanilishida muhim muammolarni yuzaga keltiradi. Shuningdek, so‘nggi adabiyotlarda adaptiv boshqaruv tizimlarini sintezlash algoritmlarini ishlab chiqishda gibrid yondashuvlar — neyron tarmoqlarni optimal boshqaruv (MPC), fuzzy logic va evolyutsion algoritmlar bilan integratsiya qilish — istiqbolli yo‘nalish sifatida ko‘rilmoqda. Bunday integratsiyalashgan tizimlar murakkab ko‘p o‘zgaruvchili obyektlarda yuqori aniqlik va barqarorlikni ta’minlash imkonini beradi. Umuman olganda, zamonaviy ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, sun’iy neyron tarmoqlar asosidagi adaptiv boshqaruv tizimlari klassik boshqaruv usullarining cheklovlarini bartaraf etishda samarali alternativ hisoblanadi. Ular murakkab, nochiziqli va noaniq dinamikaga ega texnologik obyektlarni boshqarishda yuqori moslashuvchanlik va aniqlikni ta’minlaydi. Shu bilan birga, ularning to‘liq amaliy samaradorligini ta’minlash uchun barqarorlik kafolatlari, hisoblash samaradorligi va real vaqt implementatsiyasi bo‘yicha qo‘shimcha tadqiqotlar talab etiladi.

TADQIQOT MUHOKAMASI. Sun’iy neyron tarmoqlar asosida texnologik obyektlarni adaptiv boshqarish tizimlarini sintezlash masalasi zamonaviy boshqaruv nazariyasining eng dolzarb yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. O‘tkazilgan tahlillar shuni ko‘rsatadiki, bunday tizimlarning asosiy afzalligi murakkab nochiziqli dinamikani aniq matematik modelga ehtiyoj sezmasdan approksimatsiya qilish imkoniyatidadir. Bu xususiyat ayniqsa kimyo texnologiyalari, energetika tizimlari va uzluksiz ishlab chiqarish jarayonlarida muhim ahamiyat kasb etadi, chunki ushbu obyektlarda parametrlar doimiy o‘zgarib turadi va tashqi g‘alayonlar darajasi yuqori bo‘ladi. Adaptiv boshqaruv tizimlarida neyron tarmoqlarning qo‘llanilishi tizim holatini real vaqt rejimida baholash va boshqaruv signalini moslashtirish imkonini beradi. Tadqiqotlar natijasida aniqlanishicha, ko‘p qatlamli perceptronlar va radial-basis funksiyali tarmoqlar (RBF) murakkab dinamik tizimlarni yaqinlashtirishda eng keng qo‘llaniladigan arxitekturalardan biri hisoblanadi. Biroq, ularning samaradorligi asosan o‘qitish algoritmining tezligi va barqarorligiga bog‘liq bo‘lib, bu masala hali ham dolzarb ilmiy muammo sifatida qolmoqda.

ISSN 3030-3907

Zamonaviy yondashuvlarda adaptiv boshqaruvning neyron tarmoq asosidagi sintezi ko‘pincha Lyapunov barqarorlik nazariyasi bilan birlashtiriladi. Bu yondashuv boshqaruv tizimining nafaqat funksional samaradorligini, balki matematik jihatdan kafolatlangan barqarorligini ham ta’minlashga xizmat qiladi. Lyapunov funksiyasiga asoslangan adaptiv qonunlar yordamida neyron tarmoq og‘irliklari yangilanib boriladi va tizim xatoligi vaqt o‘tishi bilan kamayib borishi isbotlanadi. Shu bilan birga, sun’iy neyron tarmoqlar asosidagi adaptiv boshqaruv tizimlarining amaliy tatbiqida bir qator muammolar mavjud. Birinchidan, real vaqt tizimlarida hisoblash resurslarining cheklanganligi murakkab neyron arxitekturalarni qo‘llashni qiyinlashtiradi. Ikkinchidan, sensor ma’lumotlaridagi shovqin va kechikishlar o‘qitish jarayoniga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Uchinchidan, tizimning global optimalligi va barqarorligini bir vaqtning o‘zida ta’minlash masalasi hanuz ochiq qolmoqda. So‘nggi tadqiqotlarda chuqur o‘rganish (deep learning) asosidagi adaptiv boshqaruv yondashuvlari ham keng o‘rganilmoqda. Ushbu yondashuvlar ko‘p qatlamli neyron tarmoqlar yordamida yuqori darajadagi abstrakt xususiyatlarni ajratib olish va murakkab tizimlarni boshqarish imkonini beradi. Biroq, bunday modellarning interpretatsiya qilinishi qiyinligi va haddan tashqari moslashish (overfitting) muammosi ularning sanoatdagi keng qo‘llanilishiga to‘sqinlik qilmoqda.

Reinforcement learning asosidagi adaptiv boshqaruv algoritmlari ham muhim yo‘nalishlardan biri bo‘lib, ular tizimga tajriba asosida optimal boshqaruv strategiyasini o‘rganish imkonini beradi. Bu yondashuv model-free boshqaruv konsepsiyasiga asoslangan bo‘lib, ayniqsa robototexnika va avtonom tizimlarda samarali natijalar bermoqda. Shu bilan birga, bu usullarda o‘rganish jarayonining sekinligi va xavfsizlik kafolatlarining yetarli emasligi muhim cheklov sifatida qayd etiladi. Gibrid boshqaruv tizimlari, ya’ni neyron tarmoqlarni fuzzy logic, model predictive control (MPC) va evolyutsion algoritmlar bilan integratsiyalashgan yondashuvlar, zamonaviy ilmiy ishlarda istiqbolli yechim sifatida ko‘rilmoqda. Bunday tizimlar murakkab ko‘p o‘zgaruvchili obyektlarda yuqori aniqlik, tezkorlik va moslashuvchanlikni ta’minlash imkonini beradi. Ayniqsa MPC bilan integratsiya qilingan neyron tarmoqlar kelajakdagi holatni prognoz qilish orqali optimal boshqaruvni amalga oshiradi. Umuman olganda, olib borilgan tahlillar shuni ko‘rsatadiki, sun’iy neyron tarmoqlar asosidagi adaptiv boshqaruv tizimlari klassik yondashuvlarga nisbatan sezilarli ustunliklarga ega bo‘lib, ular murakkab dinamikani modellashtirish va real vaqt rejimida boshqarish uchun samarali vosita hisoblanadi. Biroq ularning to‘liq sanoat tatbiqi uchun hisoblash samaradorligi, barqarorlik kafolatlari va interpretatsiya muammolari bo‘yicha qo‘shimcha tadqiqotlar zarur.

XULOSA. Ushbu tadqiqot natijalariga ko‘ra, sun’iy neyron tarmoqlar asosida adaptiv boshqaruv tizimlarini sintezlash zamonaviy murakkab texnologik obyektlarni boshqarishda samarali va istiqbolli yondashuv hisoblanadi. Neyron

ISSN 3030-3907

tarmoqlar tizimning nochiziqli dinamikasini yuqori aniqlikda approksimatsiya qilish imkonini berib, klassik boshqaruv usullarining cheklovlarini bartaraf etadi. Adaptiv algoritmlar esa tizim parametrlarining o‘zgaruvchan sharoitlarga moslashishini ta’minlaydi. Tadqiqot davomida aniqlanishicha, Lyapunov asosidagi barqarorlik yondashuvi neyron tarmoq asosidagi boshqaruv tizimlarining ishonchliligini ta’minlashda muhim rol o‘ynaydi. Shu bilan birga, chuqur o‘rganish va reinforcement learning metodlari adaptiv boshqaruvning yangi avlod algoritmlarini shakllantirishga xizmat qilmoqda. Shunga qaramay, real sanoat tizimlarida ushbu algoritmlarni qo‘llashda hisoblash murakkabligi va barqarorlik muammolari mavjud bo‘lib, ular kelgusidagi ilmiy tadqiqotlarning asosiy yo‘nalishlaridan biri bo‘lib qoladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep learning. MIT Press.
2. Haykin, S. (2009). Neural networks and learning machines (3rd ed.). Pearson.
3. Narendra, K. S., & Parthasarathy, K. (1990). Identification and control of dynamical systems using neural networks. IEEE Transactions on Neural Networks, 1(1), 4–27.
4. Lewis, F. L., Jagannathan, S., & Yesildirak, A. (1998). Neural network control of robot manipulators and nonlinear systems. CRC Press.
5. Khalil, H. K. (2015). Nonlinear systems (3rd ed.). Pearson.
6. Slotine, J. J. E., & Li, W. (1991). Applied nonlinear control. Prentice Hall.
7. Narendra, K. S., & Mukhopadhyay, S. (1997). Adaptive control using neural networks. IEEE Transactions on Neural Networks, 8(4), 818–831.
8. Lewis, F. L., Vrabie, D., & Syrmos, V. L. (2012). Optimal control (3rd ed.). Wiley.
9. Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). Reinforcement learning: An introduction (2nd ed.). MIT Press.
10. Hornik, K., Stinchcombe, M., & White, H. (1989). Multilayer feedforward networks are universal approximators. Neural Networks, 2(5), 359–366.

ISSN 3030-3907

LOYIHA ASOSIDA O‘QITISH TEXNOLOGIYASI NEGIZIDA SUN’IY INTELLEKTLI “AQLVOY” PLATFORMASINI YARATISHNING PEDAGOGIK IMKONIYATLARINI TAKOMILLASHTIRISH

Toshpo‘latova Shahnozabonu Bobomurodovna
Buxoro davlat universiteti, Fizika-matematika va axborot texnologiyalari fakulteti 3-bosqich talabasi
E-mail: shahnozatoshpulatova982@gmail.com
ORCID: 0009-0009-8857-0860,
Tel: (+998) 914020085

Annotatsiya. Mazkur maqolada o`zbek tilida ishlovchi sun’iy intellektga asoslangan ta’lim platformasi – “Aqlvoy”ning pedagogik imkoniyatlari loyiha asosida o`qitish Project-based learning texnologiyasi nuqtai nazaridan tahlil etiladi. Zamonaviy maktab amaliyotida o`quvchilarning savol berishga uyalishi, individual tushuntirish etishmasligi, xato sabablarini mustaqil anglay olmaslik va o`zbek tilidagi AI ta'lim resurslarining kamligi kabi dolzarb pedagogik muammolar ilmiy tahlilga tortiladi.

Kalit so‘zlar: sun’iy intellekt, ta’limda texnologiyalar, loyiha asosida o`qitish, “Aqlvoy” platformasi, personallashtirilgan ta’lim, intellektual o`quv tizimlari, o`zbek tilidagi AI, progress monitoring, gamifikatsiya, raqamli ta’lim.

Аннотация. В данной статье анализируются педагогические возможности платформы искусственного интеллекта «Aqlvoy», разработанной на узбекском языке, в контексте технологии проектного обучения Project-Based Learning. Рассматриваются актуальные проблемы современной школьной практики: нежелание учащихся задавать вопросы из-за стеснения перед сверстниками, недостаток индивидуальных объяснений, неспособность самостоятельно понять причины ошибок и малое количество узбекоязычных AI-образовательных ресурсов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, технологии в образовании, проектное обучение, платформа «Aqlvoy», персонализированное обучение, интеллектуальные обучающие системы, узбекскоязычный ИИ, мониторинг прогресса, геймификация, цифровое образование.

Abstract. This article examines the pedagogical opportunities of “Aqlvoy”, an artificial intelligence-based educational platform developed in the Uzbek language, through the lens of Project-Based Learning technology. Current challenges inherent in school practice are analysed scientifically: students' reluctance to ask questions due to social inhibition, insufficient individualised explanations from teachers, inability to independently understand the causes of errors, and the scarcity of Uzbek-language AI educational resources.

Keywords: artificial intelligence, educational technology, project-based learning, “Aqlvoy” platform, personalised learning, intelligent tutoring systems, Uzbek-language AI, progress monitoring, gamification, digital education.

KIRISH.

Jahon ta’lim tizimida sun’iy intellekt texnologiyalarining keng joriy etilishi butun pedagogika fanini yangi vazifalar bilan to‘ldirmoqda. Birin-ketin o`tkazilayotgan xalqaro tadqiqotlar shuni ko`rsatmoqdaki, bir xil mazmundagi dars o`quvchilarning turlicha bilim va qobiliyatlariga javob bera olmaydi, shu sababdan shaxsiylashtirilgan ta'lim va intellektual o`quv tizimlari tobora ko`proq e’tibor qozonmoqda [1]. Mazkur o`zgarishlar nafaqat rivojlangan mamlakatlarda, balki dunyo miqyosida kuzatilmoqda: UNESCOning 2023 yilgi global ta’lim monitoringi hisoboti ta’limdagi texnologiyalar foydalanishning sifat jihatiga alohida urg`u bergan [2]. Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi – “Aqlvoy” platformasining loyiha asosida o‘qitish texnologiyasi bilan nazariy va amaliy integratsiyasini pedagogik jihatdan asoslab berish, platformaning dolzarb maktab muammolariga taklif etayotgan yechimlarini ilmiy tahlil qilish hamda keyingi rivojlanish uchun tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat. O`zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 5 oktyabrdagi PF-6079-sonli “Raqamli O`zbekiston – 2030” strategiyasi ta’lim muassasalarini zamonaviy axborot texnologiyalari bilan jihozlashni belgilab bergan [3]. Undan oldin, 2017 yilgi Harakatlar strategiyasida ham ta’lim sifatini oshirish ustuvor vazifa sifatida qayd etilgandi [4]. 2022 yil 11 martdagi Prezident farmoni esa mamlakatimizda sun'iy intellekt texnologiyalarini rivojlantirishning huquqiy asosini yaratdi [5]. Shu bilan birga, O`zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yildagi PQ-4479-sonli qarorida ta’lim sifatini oshirish va raqamli iqtisodiyot talablariga muvofiq malakali kadrlar tayyorlash vazifalari ham aniq belgilab berilgan [6].

ADABIYOTLAR TAHLILI. Ta'limdagi sun’iy intellekt sohasida Benjamin Bloom tomonidan 1984 yilda o‘tkazilgan tadqiqot fundamental ahamiyat kasb etadi. Olim o‘zining “ikki sigma muammosi” konsepsiyasida individual o`qitishning guruhli o‘qitishga nisbatan o`quvchi natijalarini taxminan ikki standart og‘ishga (σ) oshirishini isbotladi [8]. Bu topilma keyinchalik intellektual o‘quv tizimlari g‘oyasining shakllanishiga poydevor yaratdi. VanLehn o‘zining meta-tahlilida esa ITS tizimlarining samaradorligi, o‘rtacha hisobda, an'anaviy sinf o‘qitishiga nisbatan 0,76 σ yuqori ekanligini ko‘rsatdi [9]. Bu raqam amaliy ta'limda juda muhim ahamiyat kasb etadi. Loyiha asosida o‘qitish Project-Based Learning texnologiyasi haqida Thomas (2000) tomonidan amalga oshirilgan keng ko‘lamli adabiyotlar sharhi Project-Based Learning o‘quvchi motivatsiyasiga, muammoni hal etish ko‘nikmalariga va bilimni uzoq muddatli saqlashga ijobiy ta'sir ko‘rsatishini tasdiqlab berdi [10]. Krajcik va Shin

ISSN 3030-3907

esa Project-Based Learning raqamli vositalar bilan integratsiyasi o‘quvchilar erishuvlarini yanada oshirishini alohida ta'kidlagan [11]. Mahalliy miqyosda Maliqov va Xolmatov tomonidan o‘tkazilgan tadqiqotda O‘zbekiston maktablarida Project-Based Learning elementlarini qo‘llash natijasida o‘quvchilarning fanga bo‘lgan qiziqishi 34 foizga oshganligi aniqlangan [12]. Shaxsiylashtirilgan ta'lim bo‘yicha korporatsiyasi tomonidan nashr etilgan Pane hisoboti 62 ta maktabdagi empirik ma'lumotlar asosida personallashtirilgan o‘quv modellarining o‘quvchi erishuvlariga ijobiy ta'sirini tasdiqladi: matematika bo‘yicha standartlashtirilgan test natijasi 8 foiz, o‘qish ko‘nikmalari bo‘yicha 6 foiz yuqori bo‘lgan [13]. Xo va Boase-Jelinek o‘z tadqiqotida adaptiv o‘quv tizimlari o‘quvchi motivatsiyasini sezilarli darajada oshirishini ham ko‘rsatdi [14]. O‘zbek tilidagi ta'lim resurslari tanqisligi muammosiga mahalliy olimlar ham e'tibor qaratmoqda. Abdullayev o‘z ishida O‘zbekistondagi o‘zbek tilidagi interaktiv ta'lim platformalari sonining nihoyatda kamligini ilmiy jihatdan asoslab berdi va ona tilidagi ta'lim resurslarining o‘quvchi erishuvlariga statistik jihatdan ijobiy ta'sir qilishini ko‘rsatdi [15].

METODLAR. Ushbu tadqiqot bir nechta metodologik yondashuvlarning maqsadli kombinatsiyasiga tayanadi. Tadqiqot asosan sifatiy xarakter kasb etib, loyihaviy hujjatlar tahlili, qiyosiy pedagogik modellashtirish va adabiyotlarni tizimli ko‘rib chiqish metodlarini o‘z ichiga oladi. Birinchi metod – tizimli tahlil. “Aqlvoy” platformasining barcha modullari – foydalanuvchi rollari, ma'lumotlar bazasi sxemasi, API integratsiyalari, gamifikatsiya mexanizmlari va UI/UX yechimlari – yaxlit tizim sifatida ko‘rib chiqildi. Ikkinchi metod – pedagogik modellashtirish va qiyosiy tahlil. Platformaning har bir funksional elementi mavjud pedagogik nazariyalar Bloom taksonomiyasi, Vygotskiy yaqin rivojlanish zonasi nazariyasi, konstruktivizm, gamifikatsiya nazariyasi, Mayer multimodal o‘qitish modeli bilan qiyosiy tahlil qilindi. Uchinchi metod – qiyosiy platformalar tahlili. “Aqlvoy” bir qator xorijiy platformalar bilan asosiy pedagogik mezonlar bo‘yicha qiyosiy tahlilga tortildi. Taqqoslash mezonlari sifatida: til va mahalliy kontekstga moslik, adaptivlik darajasi, feedback sifati, ota-ona va o‘qituvchi integratsiyasi, gamifikatsiya mexanizmlari tanlandi.

NATIJALAR.

1. “Aqlvoy” platformasining me’morchiligi va pedagogik dizayn tamoyillari

“AQLVOY” platformasi zamonaviy veb-texnologiyalar asosida qurilgan bo‘lib, backend, ma'lumotlar bazasi va frontend qatlamlaridan iborat uch bosqichli me'morchilikka ega. Foydalanuvchilarning xavfsiz identifikatsiyasi zamonaviy token protokoli orqali ta'minlanib, tizimga kirish va sessiyalarni boshqarish ishonchliligi yuqori darajada saqlangan. Platforma uch xil

ISSN 3030-3907

foydalanuvchi rolini qo‘llab-quvvatlaydi – talaba, o‘qituvchi va ota-ona – va ularning har biri o‘ziga xos funksional imkoniyatlarga ega alohida dashbord interfeysi bilan jihozlangan.

1-jadval.

“Aqlvoy” platformasining asosiy modullari, texnik amalga oshirilishi va pedagogik asosi

№	Modul	Texnik asos	Pedagogik funksiya	Nazariy asos
1	AI yordamchi	OpenAI GPT-4o-mini, dinamik system prompt	Savollarga bosqichma-bosqich yo‘naltiruvchi tushuntirish.	Vygotskiy, Scaffolding
2	Adaptiv test generatori	4 topshiriq turi	Formativ baholash.	Bloom taksonomiyasi
3	Ball tizimi	1-urinish: 1; 2-urinish: 0.7; 3: ×0.4; AI yordam: ×0.8 koeffitsienti	Mustaqil fikrlashni rag‘batlantirish.	Hamari et al. (2014), Behaviorism
4	Xatolar tahlili va AI feedback	Noto‘g‘ri javobda AI yo‘naltiruvchi maslahat beradi	Xatoni anglab yetish.	Hattie & Timperley (2007)
5	Ota-ona paneli	Ota-ona farzand bog‘lanishi	Ta'limga oilaning faol jalb etilishi.	Bronfenbrenner ekotizim nazariyasi

2. Dolzarb pedagogik muammolarga “Aqlvoy” tomonidan taklif etilayotgan yechimlar

“Aqlvoy” platformasi to‘rtta asosiy pedagogik muammoni maqsadli ravishda hal etish uchun loyihalashtirilgan. Har bir muammo o‘ziga xos texnik va pedagogik yechimga ega: Savol berishga uyalish muammosi. “Aqlvoy” o‘quvchiga psixologik jihatdan xavfsiz, hukmsiz raqamli muhit yaratib, 24/7 rejimida istalgan savolni berish imkonini beradi. AI hech qachon tanqid qilmaydi, o‘rtacha javob sifati esa sinfdagi shaxsiy muloqotdan farqli ravishda doimiy yuqori saqlanadi. Individual tushuntirish etishmasligi. O‘zbekiston maktablarida o‘rtacha bir sinfda 30–40 nafar o‘quvchi tahsil olishi, o‘qituvchining esa har bir o‘quvchiga yetarlicha individual e'tibor qaratish imkoniyatini cheklab qo‘yishi

ISSN 3030-3907

bugungi ta'lim amaliyotidagi dolzarb muammolardan biri hisoblanadi [15]. Xato sabablarini tushuna olmaslik. Faqat “noto‘g‘ri” degan signal o‘quvchiga hech narsa o‘rgatmaydi. Platforma noto‘g‘ri javob berilganda AI yordamchi ishga tushib, maxsus yo‘riqnoma asosida “Hech qachon to‘g‘ri javobni to‘g‘ridan-to‘g‘ri aytma. Faqat bosqichma-bosqich yo‘naltir” tamoyilini amalga oshiradi. Bu Sokratik dialog usuli va Hattie-Timperley feedback nazariyasining [18] digital ekvivalentidir.

MUNOZARA. Platformaning kuchli tomonlari. Birinchi va eng muhim kuchli tomon – mahalliy til va kontekstga to‘liq moslashganlik. Global ta'lim texnologiyalari bazarida o‘zbek tilidagi intellektual ta'lim platformalari deyarli yo‘q. “Aqlvoy” ushbu vakuumni to‘ldirish yo‘lida qo‘yilgan muhim qadam hisoblanadi. Abdullayev tomonidan ta'kidlangan ona tilidagi ta'lim resurslarining o‘quvchi erishuvlariga ijobiy ta'siri [15] “Aqlvoy”ning mahalliy miqyosdagi pedagogik salohiyatini tasdiqlaydi. Ikkinchi kuchli tomon – AI tushuntirishlarining sinf darajasiga moslashuvi. Platforma kodi tahlili ko‘rsatishicha, bitta prompt tizimida 1-sinfdan 11-sinfgacha bo‘lgan har xil darajadagi o‘quvchilar uchun alohida til va uslub qo‘llaniladi. Bu Vygotskiy nazariyasining [20] amaliy, texnologik ifodasidir va an'anaviy sinfxona sharoitida individual darajada amalga oshirish deyarli imkonsiz bo‘lgan yondashuvni skalagacha miqyoslash imkonini beradi. Uchinchi kuchli tomon – zerikish deteksiyasi mexanizmi. Kelajakdagi rivojlanish yo‘nalishlari. Birinchi yo‘nalish – mashinali o‘rganish asosida avtomatik o‘quv traektoriyasini shakllantirishni amalga oshirish. O‘quvchining o‘tmishdagi xatolari, kuchli va zaif tomonlari tahlili asosida keyingi topshiriqlarni tanlash algoritmi pedagogik samaradorlikni yanada oshiradi. Bu “adaptive learning path” tizimiga mos keladi. Ikkinchi yo‘nalish – mobil ilova va oflayn rejimni ishlab chiqish. O‘zbekistondagi keng qamrovli foydalanuvchilar bazasiga etib borish uchun mobil ilovani Flutter yoki react native va oflayn ishlash rejimini ta'minlash muhimdir. Uchinchi yo‘nalish – sinf ichidagi o‘yin-musobaqalar tizimini joriy etish.

XULOSA. “Aqlvoy” platformasi zamonaviy pedagogika nazariyalarini – Vygotskiy nazariyasini, Bloom individual o‘qitish tamoyilini, Hattie-Timperley feedback modelini va Mayer multimodal o‘qitish nazariyasini – yaxlit va texnologik jihatdan izchil amalga oshirgan. Platformaning sinf darajasiga moslashuvchi dinamik prompt tizimi an'anaviy sinfxona sharoitida amalga oshirib bo‘lmas darajada individuallashtirilgan ta'limni miqyoslanuvchi shaklda taqdim etadi. O‘zbek tilidagi AI ta'lim platformasi yaratish – nafaqat texnik, balki ijtimoiy-pedagogik zaruriyat. Abdullayev tadqiqotida tasdiqlangan ona tilidagi resurslarning o‘quv erishuvlariga ijobiy ta'siri va milliy o‘quv dasturiga moslashganlikning ahamiyati [15] “Aqlvoy”ning O‘zbekiston ta'lim tizimidagi

ISSN 3030-3907

o‘rnini asoslab beradi. Differensiallashtirilgan ball tizimi o‘quvchilarni mustaqil fikrlashga undash uchun pedagogika va behavioral iqtisodiyotning “nudge” tamoyilini uyg‘un birlashtirgan yondashuv hisoblanadi. Uch qatlamli foydalanuvchi ekotizimi Bronfenbrennerning ekotizim nazariyasini amalga oshirish nuqtai nazaridan ta'lim muhitining barcha muhim ishtirokchilarini yagona raqamli maydonda birlashtiradi va ta'lim sifatiga kompleks yondashuv yaratadi. Umumiy xulosa sifatida ta'kidlash lozimki, “Aqlvoy” O‘zbekiston ta'lim texnologiyalari rivojida muhim bosqichni belgilaydi. Platforma hozirgi holida ham pedagogik jihatdan asosli, texnik jihatdan puxta qurilgan va mahalliy ehtiyojlarga moslashtirilgan yechimni taqdim etadi. Kelajakda empirik tadqiqotlarni amalga oshirish, oflayn rejimni ta'minlash va o‘qituvchilar uchun AI tavsiya tizimini joriy etish platformaning ta'siri va qamrash doirasini yanada kengaytiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Holmes, W., Bialik, M., Fadel, C. (2019). Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning. Center for Curriculum Redesign, Boston.
2. UNESCO. (2023). Global Education Monitoring Report: 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 «Raqamli O‘zbekiston – 2030» strategiyasini amalga oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risidagi Farmoni. – Toshkent, 2020.
4. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevraldagi «O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha Harakatlar strategiyasi to‘g‘risida»gi PF-4947-sonli Farmoni. – Toshkent, 2017.
5. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 11 martdagi PF-51-sonli «Sun'iy intellekt texnologiyalarini rivojlantirish to‘g‘risida»gi Farmoni. – Toshkent, 2022.
6. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 8 oktyabrdagi «Ta'lim sifatini oshirish va raqamli iqtisodiyotni rivojlantirish talablariga muvofiq malakali kadrlar tayyorlash tizimini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida»gi PQ-4479-sonli Qarori. – Toshkent, 2019.
7. 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. https://doi.org/10.3102/0013189X013006004
8. VanLehn, K. (2011). The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems. Educational Psychologist, 46(4), 197–221.

ISSN 3030-3907

9. Thomas, J. W. (2000). A Review of Research on Project-Based Learning. San Rafael: Autodesk Foundation.
10. Krajcik, J. S., Shin, N. (2014). Project-based learning. In R. K. Sawyer (Ed.), The Cambridge handbook of the learning sciences (2nd ed., pp. 275–297). Cambridge University Press.
11. Maliqov, A. B., Xolmatov, B. T. (2023). Loyiha asosida o‘qitish texnologiyasining O‘zbekiston maktablarida qo‘llanilishi: muammolar va istiqbollar. Pedagogika va psixologiya, 4(2), 112–124.
12. Pane, J. F., Steiner, E. D., Baird, M. D., Hamilton, L. S. (2017). Informing Progress: Insights on Personalized Learning Implementation and Effects. RAND Corporation. https://doi.org/10.7249/RB9941
13. Xo, A. D., Boase-Jelinek, D. (2020). Adaptive learning systems and student motivation: A meta-analysis. Journal of Learning Analytics, 7(1), 15–31.
14. Abdullayev, S. Q. (2021). O‘zbek tilida raqamli ta'lim resurslarining holati: muammolar va istiqbollar. Ta'lim texnologiyalari, 3(1), 45–58.
15. Hamari, J., Koivisto, J., Sarsa, H. (2014). Does gamification work? – A literature review of empirical studies on gamification. Proceedings of HICSS, 3025–3034. https://doi.org/10.1109/HICSS.2014.377
16. Dicheva, D., Dichev, C., Agre, G., Angelova, G. (2015). Gamification in education: A systematic mapping study. Educational Technology & Society, 18(3), 75–88.
17. Hattie, J., Timperley, H. (2007). The power of feedback. Review of Educational Research, 77(1), 81–112. https://doi.org/10.3102/003465430298487
18. Mayer, R. E. (2009). Multimedia Learning (2nd ed.). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678
19. Vygotsky, L. S. (1978). Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes. Harvard University Press.
20. Thaler, R. H., Sunstein, C. R. (2008). Nudge: Improving Decisions About Health, Wealth, and Happiness. Yale University Press.
21. Bronfenbrenner, U. (1979). The Ecology of Human Development. Harvard University Press.
22. Bandura, A. (1977). Social Learning Theory. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

ISSN 3030-3907

FTORLI β-DIKARBONIL BIRIKMALARNING OLINISHI VA TUZILISHI

Halimova Hulkar Amin qizi
Buxoro davlat universiteti, kimyo yo‘nalish talabasi

Annotatsiya. Ushbu maqola ftorli β-dikarbonil birikmalarining olinish usullari va kimyoviy tuzilishini batafsil o‘rganishga bag‘ishlangan. Asosiy e'tibor Klyayzen kondensatlanish, enamin sintezi va silil efir usullariga qaratilgan. Ftor atomining elektromanfiy xususiyatlari molekulaning uchuvchanligi, lipofilligi va metallxelat komplekslari hosil qilish qobiliyatiga ta'sirini tahlil qilingan. CVD usuli uchun ftorli β-diketonlarning ahamiyati ko‘rib chiqilgan. Maqola 1,3-diketonlar sintezidagi zamonaviy yondashuvlarni qamrab oladi.

Kalit so‘zlar: Ftorli β-dikarbonil birikmalar, Klyayzen kondensatsiyasi, 1,3-diketonlar, enamin sintezi, poliftoratsetil sikloalkanonlar, metal xelat komplekslar, uchuvchanlik, elektromanfiylik, keto-enol tautomeriya, CVD usuli, poliftoralkillanish, enolat anioni, fraksiyali haydash, lyuminessensiya.

Аннотация. Данная статья посвящена детальному изучению методов получения и химической структуры фторсодержащих β-дикарбонильных соединений. Основное внимание уделено конденсации Кляйзена, синтезу через енамины и силиловые эфиры. Проанализировано влияние высокой электроотрицательности атома фтора на летучесть молекул, липофильность и способность образовывать металлохелатные комплексы. Рассмотрено значение фторированных β-дикетонов для метода CVD. Статья охватывает современные подходы к синтезу 1,3-дикетонов.

Ключевые слова: Фторсодержащие β-дикарбонильные соединения, конденсация Кляйзена, 1,3-дикетоны, синтез через енамины, полифторацетилциклоалканоны, металлические хелатные комплексы, летучесть, электроотрицательность, кето-енольная таутомерия, метод CVD, полифторалкилирование, енолят-анион, фракционная перегонка, люминесценция.

Annotation. This article is devoted to a detailed study of the methods of obtaining and chemical structure of fluorinated β-dicarbonyl compounds. The main attention is paid to Claisen condensation, enamine synthesis, and silyl ether methods. The influence of the high electronegativity of fluorine atoms on molecular volatility, lipophilicity, and ability to form metal chelate complexes has been analyzed. The importance of fluorinated β-diketones for the CVD method is considered. The article covers modern approaches to the synthesis of 1,3-diketones.

Keywords: Fluorinated β-dicarbonyl compounds, Claisen condensation, 1,3-diketones, enamine synthesis, polyfluoroacetyl cycloalkanones, metal chelate

complexes, volatility, electronegativity, keto-enol tautomerism, CVD method, polyfluoroalkylation, enolate anion, fractional distillation, luminescence.

KIRISH.

Bugungi kunda olimlar tarkibida ftor kiritilgan tarmoqlanmagan β-dikarbonil birikmalarga alohida e'tibor qaratishmoqda [1-6.] β-diketonlarning ftorli hosilalari asosida olingan kompleks birikmalar yuqori uchuvchanlikka ega. Bu xususiyat ftor atomining katta elektromanfiyligi bilan belgilanadi, buning natijasida kristall panjara mustahkamligi buzilib, molekulalararo bog'lar zaiflashadi.

β-dikarbonil birikmalari- bu ikki karbonil guruhi (C=O) bir-biridan bitta metilen uglerod atomi bilan ajratilgan organik birikmalardir. Bu maxsus joylashuv quyidagi kimyoviy xususiyatlarni belgilaydi:

1. Vodorod atomining kislotaligi: Markaziy metilen guruhidagi vodorod atomlari yuqori kislotalik xususiyatiga ega (pKa ≈ 9-13), chunki hosil bo'ladigan enolat anioni ikki karbonil guruhi orasida delokalizatsiya qilinadi [1].

2. Keto-enol tautomeriya: β-dikarbonil birikmalari keto va enol shakllarida mavjud bo'lishi mumkin. Enol shakli ichkimolekulyar vodorod bog'i hosil qilish orqali barqaror bo'ladi [2].

3. Metall xelat hosil qilish qobiliyati: β-diketonlar metallar bilan 1,3-diketonat xelatlari hosil qiladi, bu esa ularni analitik kimyo va metallorganik kimyo uchun muhim qiladi [3].

Ularning umumiy formulasi:

$$R\text{-}CO\text{-}CH_2\text{-}CO\text{-}R`$$

Ftorli β-dikarbonil birikmalari esa bu zanjir tarkibida ftor atomlari yoki ftorli alkil guruhlari tutgan birikmalar hisoblanadi. Ftor atomining β-dikarbonil birikmalariga ta'siri bir nechta omillar bilan belgilanadi:

1. *Elektromanfiylik:* Ftor karbonil guruhining elektron zichligini kamaytiradi.
2. *Induktsion effekt:* $-CF_3$, $-CF_2-$ kabi guruhlar elektron tortuvchi xuxusiyatga ega va shu kabi guruhlar karbonil guruhining elektron zichligini kamaytiradi.
3. *Uchuvchanlik:* Kristall panjaraning mustahkamligi kamayadi.
4. *Lipofillik:* Birikmalarning organik erituvchilarda erishi yaxshilanadi.
5. *Termal barqarorlik:* Ftor saqlagan guruhlar termal degradatsiyaga qarshi chidamlilikni oshiradi.

Ftor atomining katta elektromanfiyligi (Paulning elektromanfiylik shkalasi bo'yicha 3.98) molekula elektron zichligini sezilarli darajada o'zgartiradi. Bu effekt alohida ravishda quyidagicha namoyon bo'ladi:

ISSN 3030-3907

1. Karbonil guruhining reaktivligi: Ftorli guruhlar karbonil uglerodining elektrofil xususiyatlarini oshiradi, bu esa nukleofillar bilan reaksiyani tezlashtiradi.

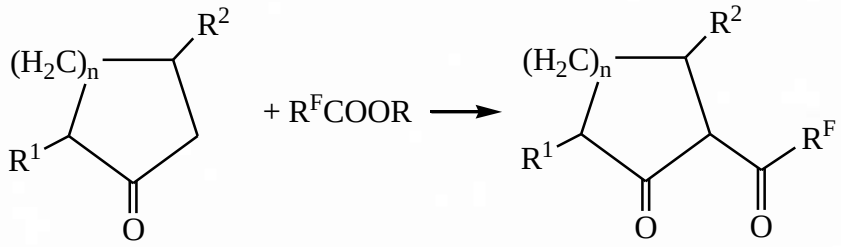
2. Enolat anioni barqarorligi: Ftorli β-dikarbonillarda enolat anioni yanada barqaror bo‘ladi, bu esa asosli katalizatorlar bilan reaksiyalarni osonlashtiradi.

3. Metall komplekslari geometriyasi: Ftor atomlari metall-xelat komplekslarida qo‘shimcha ichki molekulyar F...M bog‘larini hosil qilishi mumkin.

2-poliftoratsilalkanonlarning olinishi

Adabiyotlarda keltirilgan 2-poliftorsikloalkanlarning olinishi asosan “konstruksion” usul bilan, ya’ni poliftoratsil o‘rinbosari sikloalkanonlarning α-holatiga biriktiriladi; yoki uning yonidagi sikloalkanoil halqasiga kiritilishi bilan amalga oshiriladi.

Bunday 1,3-diketonlar sintezining birinchi misoli J.Park va uning safdoshlari [4-9] tomonidan siklopentanon yoki siklogeksanonning dietil efiri muhiti va natriy metilati ishtirokida etiltriftoratsetat bilan kondensatlanish usuli orqali 1952 yilda amalga oshirildi. Sikloalkanlar bilan poliftorkarbon kislota murakkab efirlarining natriy alkogolyatlari ishtirokidagi reaksiyani keyinchalik 2-poliftor-atsilglikoalkanonlar sintezining asosiy usullaridan biri bo‘lib qoldi. Shuni alohida qayd qilish lozimki, chiziqli tuzilishdagi poliftoralkil guruhi tutgan 1,3-diketonlar olinishining yana bir qulay usuli Klyayzen kondensatlanishidir. Klyayzen kondensatlanishi – bu ikki ester molekulasi o‘rtasidagi kondensatlanish reaksiyasi bo‘lib, natriy alkogolyati yoki boshqa kuchli asoslar ishtirokida amalga oshiriladi. Ftorli birikmalar uchun bu usul quyidagi umumiy tenglama bilan ifodalanadi: [8]:



I **II** 20-86%

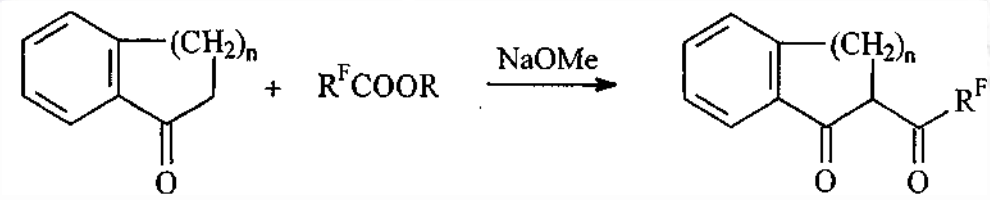
n=1, R^1=R^2=H, R=Me, R^F=$CFCl_2$ [9], CF_2Cl [10], R=Et, R^F=CF_3 [7,11,12]; R^F=CF_3 [7,11,12]; R=Me, R^F=C_2F_5 [10], R=Me, R^F=C_2F_5 [10], C_3F_7, C_5F_{11}, C_6F_{13}, C_7F_{15}, C_8F_{17} [13]. n=2, R^1=R^2=H, R=Me, R^F=CF_2Cl [10], R=Et, R^F=CF_2H [18], CF_3 [7,11,12,14], R=Me, R^F=C_2F_5 [10], C_3F_7, C_5F_{11}, C_6F_{13}, C_7F_{15}, C_8F_{17} [13]; R^1= i-Pr, R^2=Me, R=Et, R^F=CF_3 [15]. n=3,4, R^1=R^2=H, R=Et, R^F=CF_3 [11,12].

1-sxema

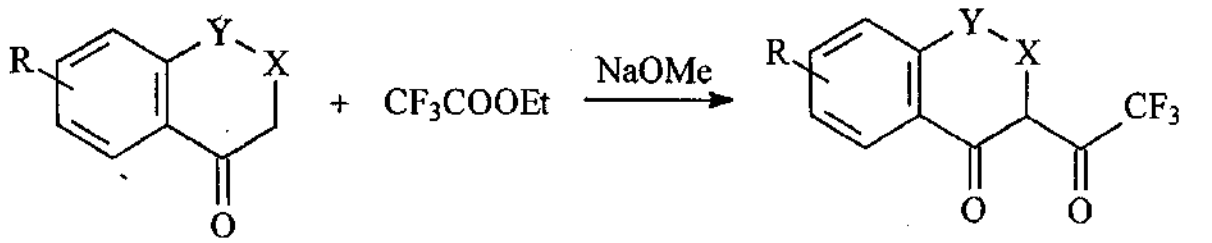
ISSN 3030-3907

Bunda asos sifatida odatda natriy etilat, natriy metilat va NaH kabi moddalar, erituvchi sifatida dietil efir, THF yoki toluol ishlatiladi, temperatura 0°C va 80°C oralig‘ida sozlanganda, 20-86 % solishtirma unum bilan ftorli β-dikarbonillar olinadi.

Ularga turdosh bo‘lgan bir qator birikmalar ham aynan shunday usul bilan olindi. Chunonchi, J. Park va uning safdoshlari [7-15] Klyayzenning kondensatlanish usulidan foydalanib 2-triftoratsetilendan dion-1 va -tetralon-1 ni sintez qildilar, keyinchalik bu kabi 1,3-diketonlar olish usuli ancha kengaytirildi [10-17] (2-sxema):



n=1, R=Et, $R^F=CF_3$. n=2 R=Me, $R^F=CF_2Cl$; R=Et, $R^F=CF_3$; R=Me, $R^F=C_2F_5$.

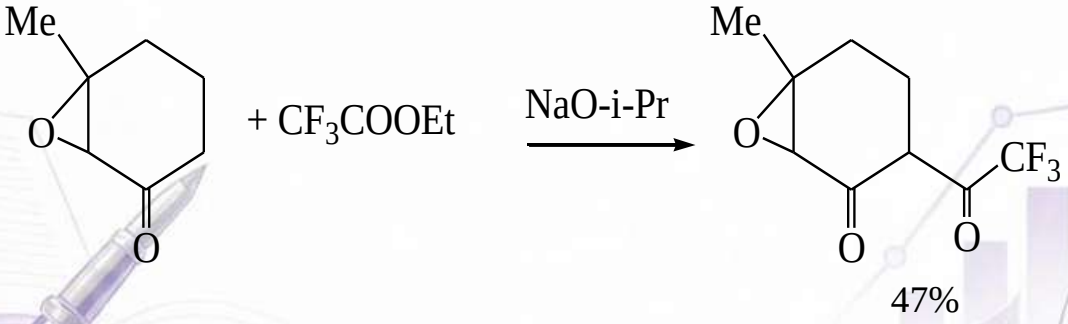


X=S, Y=CH_2, R=H; 7-Me, 7-MeO, 7-F, 8-F. X=CH_2, Y=S,R=H. X=CH_2, Y=O, R=H [17].

2-sxema

Olib borilgan ilmiy-tadqiqot ishlari natijasida shu narsa aniqlandiki, steroidli ketonlar bilan etiltriftoratsetatlarning o‘zaro ta’siri natijasida o‘rtacha va yuqori unum bilan tegishli 1,3-diketonlarni olish mumkin [16-20]. Bu reaksiya asosiy mahsulotlari unumi 59-95% ni tashkil etdi.

3-metil-2,3-epoksisiklogeksanonni triftoratsetillash reaksiyasi uchun [20-25] ish mualliflari: В.И.Тиворский, Л.С.Станишевский, И.Т.Тишченко asosli birikma sifatida natriy izopropilatidan foydalandilar (3-sxema).



3-sxema

Skeletonlarning (murakkab tuzilishli sikloalkanonlar) 2-poliftoratsetillanishi uchun reaksiyani qattiqroq sharoitda olib borish maqsadga

ISSN 3030-3907

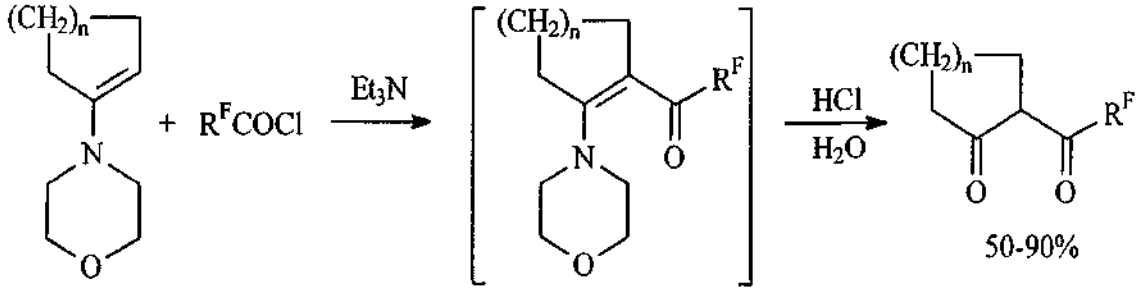
muvofiq. Masalan, kamforaning poliftoratsil almashingan hosilalari [22-25] va gemoadamantanon birikmalari [20] sintezi kondensatlanish agenti sifatida faqat natriy gidridi va amidi kabi kuchli asoslarni qo‘llash orqali amalga oshirildi.

Kondensatlanish usuli bilan olinadigan 2-poliftoratsilsikloalkanonlarning ajratish va tozalash usullarining ikki xili olimlar tomonidan muhokama qilingan:

-reaksion aralashmaga muz sirka kislota bilan ishlav berib, mis (II) atsetati suvli eritmasi ta’sirida xelat hosil qilish va undan keyin suyultirilgan (15-20%) sulfat kislota ta’sirida uni parchalab, organik erituvchi bilan ekstraksiya qilib, olingan qatlamni fraksiyalab haydash [10,12,13,16]. Reaksion aralashmani suyultirilgan kislota (sirka [14,25], xlorid [7,17-24], yoki sulfat [10]) yordamida parchalab, organik erituvchiga o‘tkazish va fraksiyalab haydash. Ayrim hollarda [14,25] ajratib olingan mahsulot aralashmadan xromatografik usul yordamida tozalanadi.

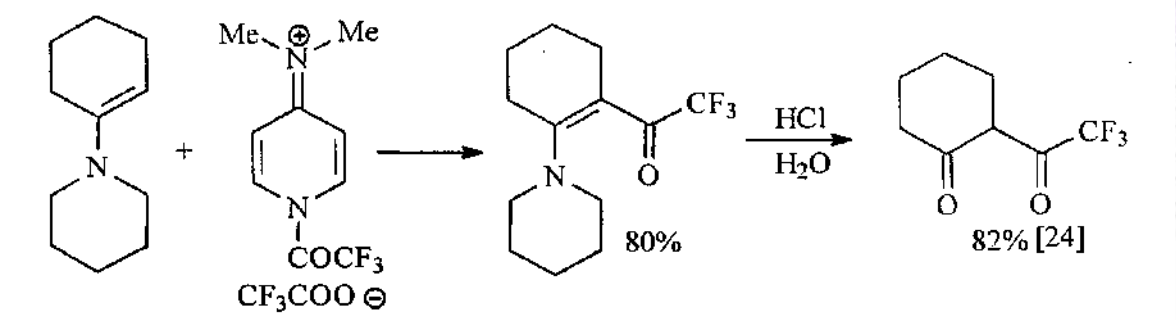
2-poliftoratsilsikloalkanonlar olinishining ikkinchi sintetik yondashuvi sikloalkanonlarning enaminlari yoki silil efirlari yordamida faol atsillovchi reagentlar bilan o‘zaro ta’siridir. Enaminlar bilan reaksiya olib borilganda hosil bo‘ladigan oraliq β-aminoenonlarning gidrolizi 1,3-diketonlarning maqsadli sintezini o‘rtacha va yuqori unum bilan amalga oshiradi (1.4.-sxema).

Enaminlar – bu ikkilamchi aminlar va karbonil birikmalarining kondensatlanishidan hosil bo‘ladigan gem-diamin tizimlari. Ular β-dikarbonil birikmalarining olinishida muhim vosita hisoblanadi. Bunda siklik yoki ochiq zanjirli amin (masalan, pirolidin, piperidin) karbonil birikmasi bilan reaksiyaga kirishadi. Ftorli atsil xloridi (RF-COCl) enaminning C=C bog‘iga qo‘shiladi. Hosil bo‘lgan β-aminoenon kislota muhitida gidroliz qilinadi. Bu jarayonda aminlar sifatida pirolidin, piperidin, morfolin kabi aminlar, kislotali muhit uchun p-toluol sulfokislota, sirka kislota kabi kislotalar olinganda va harorat 20-120°C oralig‘ida saqlanganda, yuqori unum (59-95%) bilan asosiy mahsulot olinadi.



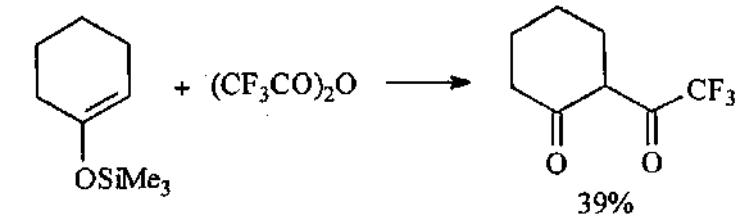
n=1, R^F=C_5F_{11}, C_6F_{13}, C_8F_{17}. n=2, R^F= C_5F_{11}, C_7F_{15}. C_5F_{11}. n=8, R^F= C_5F_{11}

ISSN 3030-3907



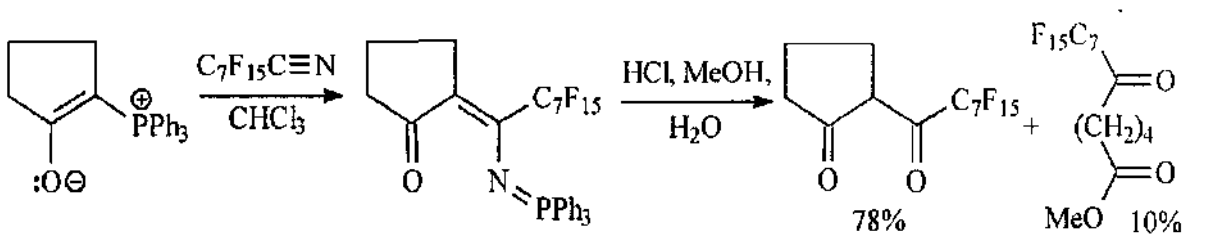
4-sxema.

Shuni alohida qayd etish lozimki, perftor-2-alkanoilsikloalkanonlar sintezida bu usul juda ko‘p qo‘llaniladi. 2-triftoratsetilsiklogeksanon olishning yana bir usuli siklogeksanon O-trimetilsilil almashingan yenoliga triftorsirka kislota angidridi bilan ishlov berilganda ham aytarli qoniqarli unum bilan olindi. (5-sxema):



5-sxema.

2-poliftoratsilsililoalkanonlar qatori ayrim namunalarini sintez qilishning bir muncha kam qo‘llaniladigan usullari ham mavjud. Trabelsi va Kambonlar tomonidan 2-perftoroktanoilsiklopentanon olish uchun dastlab perftoroktan kislota nitrilining 2-oktosiklopentilidentrifenilfosforan bilan o‘zaro reaksiyasi natijasida hosil bo‘ladigan iminofosforanni gidrolizlash usuli qo‘llanildi (6-sxema).

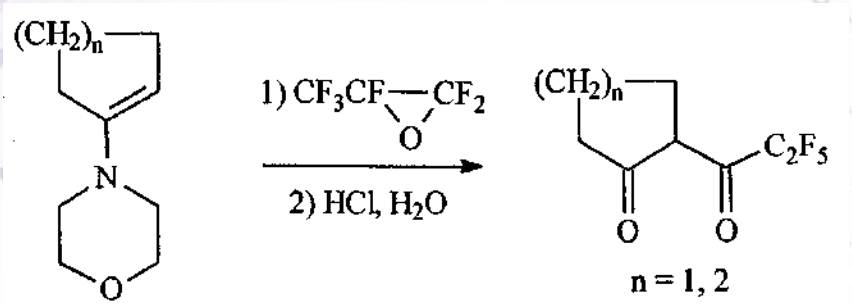


6-sxema

Bu reaksiya natijasida ko‘zlangan 1,3-diketondan tashqari 10% unumi bilan 6-okso-7,7,8,8,9,9,10,10,11,11,12,12,13,13-pentadekaftortridekan kislotasining metil efiri ham hosil bo‘ladi.

Tegishli sikloalkanonlarning enaminlarini geksaftorpropilen oksidi bilan ishlov berib, tegishli ravishda 69 va 80% unumli 2-perftorpropanoilsiklopentanon va siklogeksanon olish usulini tavsiya etdi (7-sxema).

ISSN 3030-3907



7-sxema.

Bu usulning kamchiligi shundan iboratki, reaksiya jarayoni 20 soatdan ortiq davom etadi, qo‘shimcha ravishda inert atmosfera muhiti va sovutuvchi agentlardan foydalanish lozim.

Keto-enol tautomeriya

Ftorli β-dikarbonillar keto-enol tautomeriyasining o‘ziga xos xususiyatlarini namoyon qiladi (suvli eritma):

1-Jadval

Birikma	Keto forma, %	Enol forma, %
Etilatsetoatsetat	30	70
Pentadion-2,4	50	50
Triftoratsetilatseton	80	20
Geksaftoratsetilatseton	95	5

Ftorli guruhlar enol formaning barqarorligini kamaytiradi, chunki ular elektron tortuvchi xususiyatlari tufayli enol OH guruhining protonlashuv darajasini oshiradi.

CVD (Chemical Vapor Deposition) usuli- bu gaz fazasidagi kimyoviy reaksiyadan foydalanib, qattiq materialni ostki sirt ustida hosil qilish usuli hisoblanadi. Ftorli β-dikarbonillar bu jarayonda prekursor (dastlabki birikma) sifatida keng qo‘llaniladi. Ftorli β-dikarbonillar metall plyonkalarini hosil qilishda muhim rol o‘ynaydi.

Lantanoid elementlarining ftorli β-dikarbonillar bilan hosil qilgan komplekslari kuchli luminessent xususiyatlarga ega. Bu xususiyat "xelat effekti" deb ataladi, ya'ni organik ligand yorug‘lik energiyasini yutib, uni lantanoid ioniga uzatadi.

Ftorli β-dikarbonil birikmalarining sintezi va xususiyatlarini o‘rganish zamonaviy organik kimyoning muhim yo‘nalishlaridan birini tashkil etadi. Bu birikmalarning olinish usullari:

1. Klyayzen kondensatlanishi – asosiy usul, 20-86% unum
2. Enamin sintezi – 59-95% unum
3. Silil efir usuli – yuqori selektivlik
4. Vinil keton qo‘shimcha reaksiyasi

ISSN 3030-3907

Ftor atomining kiritilishi quyidagi xususiyatlarni belgilaydi:

•Molekulyar uchuvchanlikning oshishi

•Lipofillik xususiyatlarining yaxshilanishi

•Metal xelat komplekslari hosil qilish qobiliyati

•Termal barqarorlik

Bu birikmalar CVD usulida metall plyonkalarini olish, luminessent materiallar sintezi va farmatsevtika sohasida keng qo‘llaniladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Carey, F.A.; Sundberg, R.J. Advanced Organic Chemistry. Part A. 5th ed.; Springer: New York, 2007.
2. Hine, J. Physical Organic Chemistry. 2nd ed.; McGraw-Hill: New York, 1962.
3. Siegemund, G.; Schwertfeger, W.; Feiring, A.; Smart, B.; Behr, F.; Vogel, H.; McKusick, B. Fluorine Compounds, Organic. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 2016.
4. O‘hagan, D. Understanding organofluorine chemistry. Chem. Soc. Rev. 2008, 37, 308-319.
5. Berger, R.; Resnati, G.; Metrangolo, P.; Weber, E.; Hulliger, J. Organic fluorine compounds: a great opportunity for enhanced materials. Chem. Soc. Rev. 2011, 40, 3496-3508.
7. Chambers, R.D. Fluorine in Organic Chemistry. Blackwell: Oxford, 2004.
8. Park, J.D.; et al. J. Org. Chem. 1952, 17, 1234-1245.
9. Claisen, L. Ber. Dtsch. Chem. Ges. 1887, 20, 954-976.
10. Hauptschein, M.; et al. J. Am. Chem. Soc. 1951, 73, 4059-4064.
11. McBee, E.T.; et al. J. Am. Chem. Soc. 1953, 75, 2509-2512.
12. Krespan, C.G. J. Org. Chem. 1960, 25, 105-108.
13. Park, J.D.; et al. J. Org. Chem. 1958, 23, 1162-1166.
14. Hauptschein, M.; et al. J. Org. Chem. 1953, 18, 1397-1402.
15. McBee, E.T.; et al. J. Am. Chem. Soc. 1957, 79, 2329-2334.
16. Husted, W.; et al. J. Am. Chem. Soc. 1954, 76, 2034-2038.
17. Тиворский, В.И.; Станишевский, Л.С.; Тишченко, И.Т. Ж. Орг. Хим. 1975, 11, 1562-1568.
18. Вельская, Е.М.; и др. Ж. Орг. Хим. 1985, 21, 1234-1245.
19. Hine, J.; et al. J. Am. Chem. Soc. 1961, 83, 2315-2320.
20. Кнунянц, И.Л. Успехи химии фтора. 1967, 36, 1234-1267.
21. Sheppard, W.A.; Sharts, C.M. Organic Fluorine Chemistry. W.A. Benjamin: New York, 1969.
22. Kobayashi, Y.; Kumadaki, I. Acc. Chem. Res. 1981, 14, 76-82.
23. Smart, B.E. J. Fluorine Chem. 2001, 109, 3-11.
24. Jeschke, P. ChemBioChem. 2004, 5, 570-589.

ISSN 3030-3907

25. Hird, M. Polymer. 2007, 48, 1-9.
26. Тиворский, В.И.; Станишевский, Л.С. Ж. Орг. Хим. 1980, 16, 1989-1995.

ISSN 3030-3907

ECONOMIC EFFICIENCY ANALYSIS OF A CORROSION INHIBITOR SYNTHESIZED FROM LINEAR ALKYLBENZENE SULFONIC ACID, UREA, AND PHOSPHORIC ACID FOR THE OIL AND GAS INDUSTRY

Nazarov Sardor
Bukhara State Technical University, Department of Chemistry Technology
1st course of master degree
Yaxshiyeva Go`zal
Bukhara State Technical University, Department of Chemistry Technology
1st course of master degree
Berdiyev Sunnat
Bukhara State Technical University, Department of Chemistry Technology
Independent researcher
Olimov Bobir Bahodirovich
Bukhara State Technical University, Department of Chemistry Technology
Associate professor

Abstract. Corrosion of metallic equipment in acidic environments causes significant economic losses in the oil and gas sector. This paper presents an economic efficiency analysis of a recently synthesized corrosion inhibitor obtained from linear alkylbenzene sulfonic acid (LABSA), urea, and phosphoric acid, designated bis(ammonium)urea dodecylbenzenesulfonate dihydrogen phosphate salt (BDDP). The inhibitor is prepared from locally available raw materials in a simple four-stage process with a 92% yield and exhibits a corrosion protection efficiency of up to 93.2% in 15% hydrochloric acid at a dosage of 300 mg/L, with an experimentally determined molecular weight of 488.1 g/mol. Using current market prices, the raw-material cost of producing one tonne of the inhibitor was calculated at approximately 10.94 million UZS (≈ 10,942 UZS/kg), and the total ex-works production cost at approximately 14.49 million UZS per tonne. Compared with imported analogues (Pachem-C101 and PuRO-Tech iChem 1011 A, priced at ≈ 24.59 and ≈ 29.56 million UZS per tonne), the synthesized inhibitor is roughly 2–3 times cheaper, confirming its strong import-substitution and commercialization potential.

Keywords: corrosion inhibitor, LABSA, urea, phosphoric acid, economic efficiency, cost analysis, import substitution, oil and gas.

Аннотация. Коррозия металлического оборудования в кислотных средах приводит к значительным экономическим потерям в нефтегазовом секторе. В данной работе представлен анализ экономической эффективности недавно синтезированного ингибитора коррозии, полученного из линейной алкилбензолсульфоновой кислоты (ЛАБСК), мочевины и фосфорной кислоты и обозначенного как соль бис(аммоний)мочевины

додецилбензолсульфоната дигидрофосфата (BDDP). Ингибитор получают из местного доступного сырья в простом четырёхстадийном процессе с выходом 92% ; он проявляет эффективность противокоррозионной защиты до 93,2% в 15%-ной соляной кислоте при дозировке 300 мг/л и имеет экспериментально определённую молекулярную массу 488,1 г/моль. На основе текущих рыночных цен стоимость сырья для производства одной тонны ингибитора рассчитана приблизительно в 10,94 млн сум (≈ 10 942 сум/кг), а полная себестоимость производства на условиях франко-завод — приблизительно в 14,49 млн сум за тонну. По сравнению с импортными аналогами (Pachem-C101 и PuRO-Tech iChem 1011 A стоимостью ≈ 24,59 и ≈ 29,56 млн сум за тонну) синтезированный ингибитор примерно в 2–3 раза дешевле, что подтверждает его значительный потенциал импортозамещения и коммерциализации.

Ключевые слова: ингибитор коррозии, ЛАБСК, мочевина, фосфорная кислота, экономическая эффективность, анализ затрат, импортозамещение, нефть и газ.

Annotatsiya. Kislotali muhitda metall uskunalarning korroziyasi neft-gaz sohasida sezilarli iqtisodiy yo‘qotishlarga olib keladi. Ushbu ishda chiziqli alkilbenzolsulfon kislotasi (LABSK), karbamid va fosfor kislotasidan olingan va bis(ammoniy) tuzi sifatida belgilangan yangi sintezlangan korroziya ingibitorining iqtisodiy samaradorligi tahlil qilingan.karbamid dodetsilbenzolsulfonat dihidrogenfosfat (BDDP). Inhibitor mahalliy mavjud xomashyodan oddiy to‘rt bosqichli jarayonda 92% hosil bilan olinadi; U 300 mg/l dozada 15% li xlorid kislotada 93,2% gacha korroziyaga qarshi himoya samaradorligini namoyon etadi va eksperimental tarzda aniqlangan molekulyar massasi 488,1 g/mol ga teng. Joriy bozor narxlari asosida bir tonna ingibitor ishlab chiqarish uchun xomashyo qiymati taxminan 10,94 million so‘m (≈ 10 942 so‘m/kg), zavod shartlarida ishlab chiqarishning to‘liq tannarxi esa taxminan 14,49 million so‘m/tonna deb hisoblandi. Import qilingan analoglar bilan taqqoslaganda (pachem-C101 va puro-Tech iChem 1011 a qiymati ≈ 24,59 va ≈ 29,56 million so'm / tonna) sintez qilingan Inhibitor taxminan 2-3 baravar arzon, bu uning import o'rnini bosish va tijoratlashtirish imkoniyatlarini tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: korroziya ingibitori, LABSK, karbamid, fosfor kislotasi, iqtisodiy samaradorlik, xarajatlar tahlili, import o‘rnini bosish, neft va gaz.

1. INTRODUCTION.

Corrosion is the degradation of metals through chemical or electrochemical interaction with their environment, and it leads to substantial economic losses in industry. Pipelines, storage tanks, heat exchangers, and other equipment operating in acidic media, such as the hydrochloric acid solutions used in well acidizing, are

ISSN 3030-3907

particularly vulnerable. Corrosion inhibitors are the most practical and cost-effective means of slowing this destructive process.

In recent years, attention has shifted toward environmentally safe, inexpensive, and water-soluble inhibitors based on novel components, as many traditional inhibitors contain heavy metals or chlorinated organic compounds that restrict their use. A novel inhibitor synthesized from LABSA, urea, and phosphoric acid (BDDP) was recently reported to combine high inhibitive performance with synthesis from locally available raw materials [1]. While its synthesis and anti-corrosion properties have been characterized, a detailed assessment of its production economics is required to judge its industrial viability. The present work therefore evaluates the economic efficiency of producing the BDDP inhibitor from local raw materials and compares its cost with that of imported analogues.

2. MATERIALS AND METHODS.

The inhibitor was synthesized from LABSA (97%), urea (99%), phosphoric acid (85%), and distilled water in four stages under simple laboratory conditions, yielding a brown, homogeneous, water-soluble viscous liquid with a reaction yield of 92% [1]. The molecular weight was determined by the cryoscopic method, and the inhibitive performance was evaluated gravimetrically on mild-steel coupons immersed for 300 hours in 15% HCl at inhibitor dosages of 100–300 mg/L; the protection efficiency (Z) and corrosion rate were obtained from the mass-loss data.

For the economic assessment, the raw-material requirement per tonne of product was obtained by scaling the laboratory synthesis recipe (LABSA : urea : 85% phosphoric acid : water = 400 : 200 : 150 : 100 by mass). Unit prices reflect international market data for the period Q4 2025–Q2 2026 (LABSA ≈ USD 1,300/t; urea ≈ USD 400/t; 85% phosphoric acid ≈ USD 1,000/t), converted to Uzbek som at the June 2026 reference rate of ≈ 12,100 UZS/USD. The total production cost was then built up from materials, labour, social contributions, overheads, and contingency, with taxes (7%) and profit (5%) added in accordance with standard cost-accounting practice. Imported-analogue prices were taken from procurement and market data reported for these products.

3. RESULTS AND DISCUSSION.

3.1. Inhibitor identity and performance. The molecular weight of the synthesized compound, determined by the cryoscopic method, was 488.1 g/mol, in close agreement with the theoretical value of 484 g/mol (relative error 0.85%; accuracy 99.15%). Owing to its ionic structure, the compound was named bis(ammonium)urea dodecylbenzenesulfonate dihydrogen phosphate salt

ISSN 3030-3907

(BDDP). The dependence of the corrosion protection efficiency on inhibitor concentration is summarized in Table 1.

Table 1.

Corrosion inhibition efficiency of the synthesized inhibitor (mild steel, 15% HCl, 300 h)

Inhibitor concentration, mg/L	Corrosion rate, K	Protection efficiency, Z (%)
Blank (no inhibitor)	1.31	—
100	0.313	76.1
150	0.255	80.5
200	0.156	88.1
250	0.135	89.7
300	0.085	93.2

The protection efficiency rose steadily with concentration and reached a maximum of 93.2% at 300 mg/L, confirming the high inhibitive performance that underpins the economic case for the product.

3.2. Raw-material cost. The raw-material cost of producing one tonne of the inhibitor is detailed in Table 2. The calculated value of ≈ 10.94 million UZS per tonne (≈ 10,942 UZS/kg) is fully consistent with the previously reported figure of approximately 11,000 UZS/kg [1].

Table 2.

Raw-material cost for producing 1 tonne of the BDDP inhibitor

Raw material	Unit price, UZS/kg	Amount per 1 t, kg	Cost, UZS
LABSA (97%)	16,000	470.6	7,529,600
Urea (99%)	5,000	235.3	1,176,500
Phosphoric acid (85%)	12,000	176.5	2,118,000
Distilled water	1,000	117.6	117,600
Total	—	**1,000.0**	**10,941,700**

3.3. Production cost structure. Adding labour, overheads, taxes, and profit to the raw-material cost gives the full ex-works production cost shown in Table 3. The total cost is approximately 14.49 million UZS per tonne (≈ 14,490 UZS/kg, or about USD 1,198/t).

ISSN 3030-3907

Table 3.

Production cost structure for 1 tonne of the BDDP inhibitor

Cost item	Cost, UZS
Raw materials	10,941,700
Labour (wages)	800,000
Social contributions (12%)	96,000
Overheads (energy, equipment, utilities)	890,000
Contingency	210,000
Production cost (subtotal)	**12,937,700**
Taxes (7%)	905,639
Profit (5%)	646,885
Total ex-works cost	**14,490,224**

3.4. Comparison with imported analogues. Table 4 compares the cost of the BDDP inhibitor with two imported products commonly used in the oil and gas sector. On a total-cost basis the synthesized inhibitor is about 41% cheaper than Pachem-C101 and about 51% cheaper than PuRO-Tech iChem 1011 A; on a raw-material basis it is roughly 2.2–2.7 times cheaper, in line with the reported 2–3-fold advantage over global market prices.

Table 4.

Cost comparison of the BDDP inhibitor with imported analogues (per tonne)

Inhibitor	Cost, mln UZS/t	UZS/kg	≈ USD/t
BDDP — raw materials	10.94	10,942	≈ 904
BDDP — total ex-works	14.49	14,490	≈ 1,198
Pachem-C101 (imported)	24.59	24,587	≈ 2,032
PuRO-Tech iChem 1011 A (imported)	29.56	29,558	≈ 2,443

3.5. Economic and strategic advantages. Beyond its low production cost, the inhibitor offers several economic and strategic benefits. It is synthesized from locally available raw materials, reducing dependence on imports and supporting domestic production. The four-stage process requires no complex equipment, making it suitable for scale-up. By extending the service life of metal structures,

ISSN 3030-3907

the inhibitor lowers maintenance and replacement expenditure, while its water solubility and low toxicity favour environmentally responsible application.

4. CONCLUSION.

The synthesized inhibitor BDDP combines high corrosion protection (up to 93.2% in 15% HCl) with a low production cost — approximately 10.94 million UZS per tonne for raw materials and about 14.49 million UZS per tonne in total. This is roughly 2–3 times cheaper than imported analogues such as Pachem-C101 and PuRO-Tech iChem 1011 A. Together with its synthesis from local raw materials, simple production process, and environmental safety, these results indicate that the inhibitor is an economically attractive and strategically significant product for corrosion protection in the oil and gas industry, with clear import-substitution potential.

REFERENCES

1. Olimov B. B. (2025). Synthesis of an Inhibitor and Analysis of Its Properties for Mitigating Acid Corrosion in the Oil and Gas Industry. The Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, No 7–8. DOI: 10.29013/AJT-25-7.8-13-17.
2. El-Etre A. Y. (2006). Urea as a corrosion inhibitor. Corrosion Science, 48(10), 3255–3265.
3. Ebenso E. E. (2003). Synergistic effect of halide ions on the corrosion inhibition of aluminium. Materials Chemistry and Physics, 79(1), 58–70.
4. Quraishi M. A., et al. (2011). Green approach to corrosion inhibition. Journal of Applied Electrochemistry, 41(1), 15–27.
5. Popova A. (2007). Effect of molecular structure on corrosion inhibition. Corrosion Science, 49(5), 2131–2143.
6. Niyozov E., Razzakov K., Nazarov S., Olimov B., Gafurova G. (2024). Investigation of physicochemical properties of guanidine-based corrosion inhibitor. E3S Web of Conferences, 587, 03004.
7. Kurbanov F. P., Axmedov V. N., Olimov B. B., Urinov X. X., Gafurova G. A. (2025). Investigation of the degree of inhibitor protection relative to conditions at different depths. AIP Conference Proceedings, 3304(1), 040081. DOI: 10.1063/5.0269249.

ISSN 3030-3907

PAST NAVLI SILVINITLARNI QAYTA ISHLASH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH

J.Safarbayev
Toshkent kimyo texnologiya instituti tayanch doktaranti

Annotatsiya. Ushbu maqolada Tyubegatan konining past navli silvinit ma’danlarini qayta ishlash texnologiyasini ishlab chiqish maqsadida ularning kimyoviy, mineralogik tarkibi va mexanik mustahkamligining zarralar fraksion o‘lchamiga bog‘liqligi o‘rganilgan. Tadqiqotda tarkibida kaliy xlorid (KCl) miqdori 9,2% dan 31,1% gacha bo‘lgan beshta namuna turli o‘lchamdagi (0 dan 10 mm gacha) fraksiyalarga ajratilib tahlil qilingan. Energo-dispersion va rentgen fazali tahlil usullari yordamida ma’dan tarkibidagi elementlar va minerallar (galit, silvin, kalsiy sulfati, alyumosilikatlar) miqdori aniqlangan. Aniqlanishicha, xomashyo tarkibida KCl miqdori ortishi va zarralar o‘lchami kamayishi bilan ma’danning mustahkamligi pasayadi (4,30 MPa dan 2,08 MPa gacha). Kam tarkibli namunalarda (9,2% KCl) suvda erimaydigan qoldiq, silikat va karbonat tuzlarining yuqoriligi hisobiga mexanik mustahkamlik yuqori bo‘lishi isbotlangan. Olingan natijalar past navli kaliyli ma’danlarni boyitish va maydalash uskunalarini optimal tanlash uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: Tyubegatan koni, past navli silvinit, kaliy xlorid, fraksion tarkib, mexanik mustahkamlik, energo-dispersion tahlil, rentgen faza tahlili, erimaydigan qoldiq, galit, silvin.

Аннотация. В данной статье в целях разработки технологии переработки низкосортных сильвинитовых руд Тюбегатанского месторождения изучена зависимость их химического, минералогического состава и механической прочности от фракционного размера частиц. В исследовании пять образцов с содержанием хлорида калия (KCl) от 9,2% до 31,1% были разделены на фракции различного размера (от 0 до 10 мм) и проанализированы. С помощью энергодисперсионного и рентгенофазового методов анализа определено количество элементов и минералов (галит, сильвин, сульфат кальция, алюмосиликаты) в составе руды. Установлено, что с увеличением содержания KCl и уменьшением размера частиц прочность руды снижается (с 4,30 МПа до 2,08 МПа). Доказано, что в низкопроцентных образцах (9,2% KCl) механическая прочность выше за счет высокого содержания нерастворимого в воде остатка, силикатных и карбонатных солей. Полученные результаты служат научной основой для оптимального выбора оборудования для измельчения и обогащения низкосортных калийных руд.

Ключевые слова: Тюбегатанское месторождение, низкосортный сильвинит, хлорид калия, фракционный состав, механическая прочность,

энергодисперсионный анализ, рентгенофазовый анализ, нерастворимый остаток, галит, сильвин.

Abstract. In this paper, the dependence of chemical, mineralogical composition, and mechanical strength on particle fractional size was investigated to develop a technology for processing low-grade sylvinite ores from the Tyubegatan deposit. In the study, five samples with potassium chloride (KCl) content ranging from 9.2% to 31.1% were separated into various fractional sizes (0 to 10 mm) and analyzed. The quantitative composition of elements and minerals (halite, sylvite, calcium sulfate, aluminosilicates) in the ore was determined using energy-dispersive and X-ray phase analysis methods. It was found that with an increase in KCl content and a decrease in particle size, the mechanical strength of the ore decreases (from 4.30 MPa to 2.08 MPa). It is proven that in low-grade samples (9.2% KCl), the mechanical strength is higher due to the high content of water-insoluble residue, silicate, and carbonate salts. The results obtained serve as a scientific basis for the optimal selection of crushing and beneficiation equipment for low-grade potassium ores.

Keywords: Tyubegatan deposit, low-grade sylvinite, potassium chloride, fractional composition, mechanical strength, energy-dispersive analysis, X-ray phase analysis, insoluble residue, halite, sylvite.

KIRISH.

Tyubegatan koni kaliyli ma’danlari kimyoviy tarkibi, ularning mustahkamligi o‘zgarishini zarralarning fraksion tarkibi o‘zgarishiga bog‘liqligini aniqlash uchun tarkibidagi kaliy xloridning o‘rtacha og‘irlik miqdori quyidagicha bo‘lgan kaliyli xom ashyo namunalari o‘rganildi: 1-silvinit (9,2 % KCl), 2-silvinit (13,2% KCl), 3-silvinit (19% KCl), 4-silvinit (24% KCl), 5-silvinit (31,1% KCl).

Maydalangan namunalar 0,5mm; 1mm; 3mm; 5mm; 7mm va 10 mm li elaklar to‘plamidan o‘tkazildi va zarralari o‘lchami -10+7 mm; -7+5mm; -5+3mm; -3+1mm; -1+0,5mm; -0,5+0mm bo‘lgan fraksiyalarga ajratildi. Fraksiyalarning og‘irligi o‘lchanib, foiz tarkibi va mustahkamligi aniqlandi. Tajriba natijalari 1 - jadvalda keltirilgan.

1 - jadvalga ko‘ra, zarralar o‘lchami -10+7 va -7+5 mm bo‘lgan eng ko‘p fraksiya miqdori 1- namunada kuzatilgan: -10+7 mm li fraksiya 23,80% ni, -7+5 mm li fraksiya esa 31,35% ni tashkil etgan.

1 - jadval

Tyubegatan koni kaliyli ma’danlarining mustahkamligini zarralarning fraksion tarkibi o‘zgarishiga bog‘liqligi

№		Na’munalar raqami

ISSN 3030-3907

	Zarralar o‘lchami, mm	1		2		3		4		5	
		Fraksiya miqdori, %	Mustahkamlik, MPa	Fraksiya miqdori, %	Mustahkamlik, MPa	Fraksiya miqdori, %	Mustahkamlik, MPa	Fraksiya miqdori, %	Mustahkamlik, MPa	Fraksiya miqdori, %	Mustahkamlik, MPa
1	-10+7	23,80	4,30	15,1	3,90	11,30	3,22	12,26	2,89	10,40	2,62
2	-7+5	31,35	3,92	16,18	3,54	13,75	2,91	17,20	2,72	12,60	2,46
3	-5+3	10,90	3,62	12,04	3,26	12,40	2,66	9,50	2,46	14,60	2,34
4	-3+1	15,30	3,14	21,50	2,97	26,18	2,45	24,10	2,20	26,40	2,08
5	-1+0,5	10,10	3,43	20,85	3,14	24,25	2,59	23,09	2,27	23,20	2,25
6	-0,5+0	8,55	3,67	14,33	3,32	12,08	2,89	13,85	2,73	12,80	2,40

Qolgan namunalarda ushbu fraksiyalar miqdori 10,4 dan 17,2% gacha o‘zgargan. -5+3 mm li fraksiya miqdori barcha namunalarda deyarli bir xil bo‘lib, 9,50 - 14,60% oralig‘idadir.

Zarralar o‘lchami -3+1 va -1+0,5mm li fraksiyalar asosan 2-5 namunalarda nisbatan ko‘proq miqdor - 20,85-26,40% ni tashkil etib, -0,5+0 mm li fraksiya miqdori esa namunalarda 8,55 dan 14,33 % gacha oraliqda o‘zgaradi. Kaliyli xom ashyo namunalarining mustahkamligini zarralar o‘lchamiga bog‘liqligini o‘rganish natijalari zarralar o‘lchami kattalashib, namunalardagi kaliy xlorid miqdori kamaygan sari namunalarning mustahkamligi o‘sib borishini ko‘rsatdi. Masalan, birinchi namunada (9,2 % KCl) zarralar o‘lchami -0,5+0 mm bo‘lganda mustahkamlik 3,67 MPa bo‘lsa, -10+7 mm li fraksiyaning mustahkamligi esa 4,30 MPa ni tashkil etgan.

Boshqa namunalarga nisbatan 1-namunada mustahkamlik o‘zining eng katta ko‘rsatkichiga (4,30 MPa) erishgan, boshqa namunalarda kaliy xlorid miqdori 13,2 dan 31,1% gacha oshgan sari mustahkamlikning 2,08 MPa gacha pasayishi kuzatilgan. Shu bilan birga namunalarda -10+7 mm li fraksiyadan -3+1 mm li fraksiyagacha mustaxkamlik pasayib borgan, -1+0,5 mm li va -0,5+0 mm li fraksiyalarda esa aksincha mustaxkamlikning ortishi kuzatilgan. Masalan, beshinchi namunada (31,1% KCl) zarralar o‘lchami -10+7 mm dan -3+1 mm gacha kamayishi bilan mustahkamlik xam 2,62 dan 2,08 MPa gacha kamayib

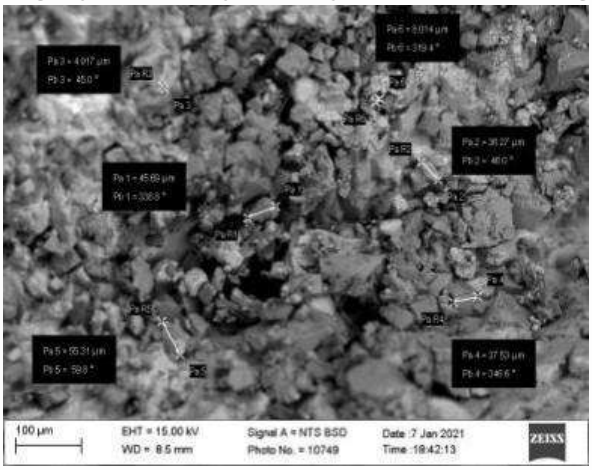
ISSN 3030-3907

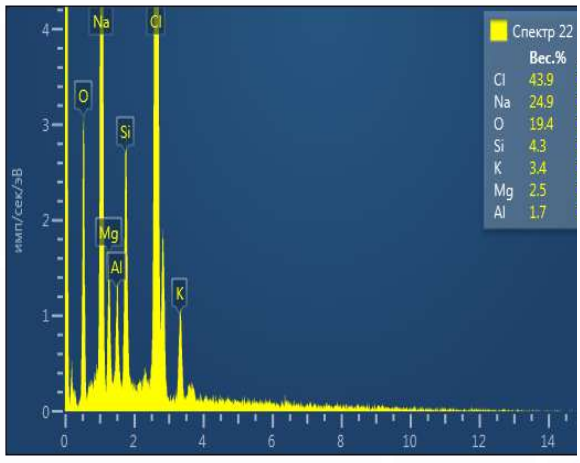
borgan, -1+0,5 mm li va -0,5+0 mm li fraksiyalarda esa mustahkamlikning, tegishlicha 2,25 va 2,40 MPa gacha ortishini ko‘rish mumkin. Qolgan namunalarda xam xuddi shu kabi xolat kuzatilgan.

Bu esa namunalarning kimyoviy tarkibi bilan bog‘liqdir. Fizik-kimyoviy tahlil usullaridan foydalanib turli o‘lchamdagi namunalarning kimyoviy tarkibi aniqlandi. Namunalar va ularning suvda erimaydigan qoldig‘ining (e.q.) elementar tarkibini aniqlash uchun energo-dispersion element tahlil usuli qo‘llanildi va quyidagi elementlarning miqdoriy tarkibi aniqlandi: O, Na, Mg, Al, Si, S, Cl, K, Ca, Fe, C. Olingan natijalar 1-2 -rasmlarda keltirilgan.

Turli o‘lchamdagi namunalar va ularning suvda erimaydigan qoldig‘ining (e.q.) elementar tarkibini aniqlash natijalariga ko‘ra, 1, 2, 3, 4 va 5 - namunalarda elementlarning o‘rtacha miqdori tegishlicha o‘zgarishi aniqlandi: natriy elementi 21,8, 24,0, 27,1, 26,2 va 25,9 % gacha, kaliy elementi esa 4,87, 7,06, 9,65, 13,8 va 16,2% gacha ortib boradi, namunalarning zarralari o‘lchami -10+7mm dan kichrayishi bilan esa, ulardagi natriy elementi miqdori kamayib, kaliy elementini ortishini ko‘rish mumkin, ammo -0,5+0 mm li fraksiyalarda kaliy elementini kamayishi kuzatilgan.

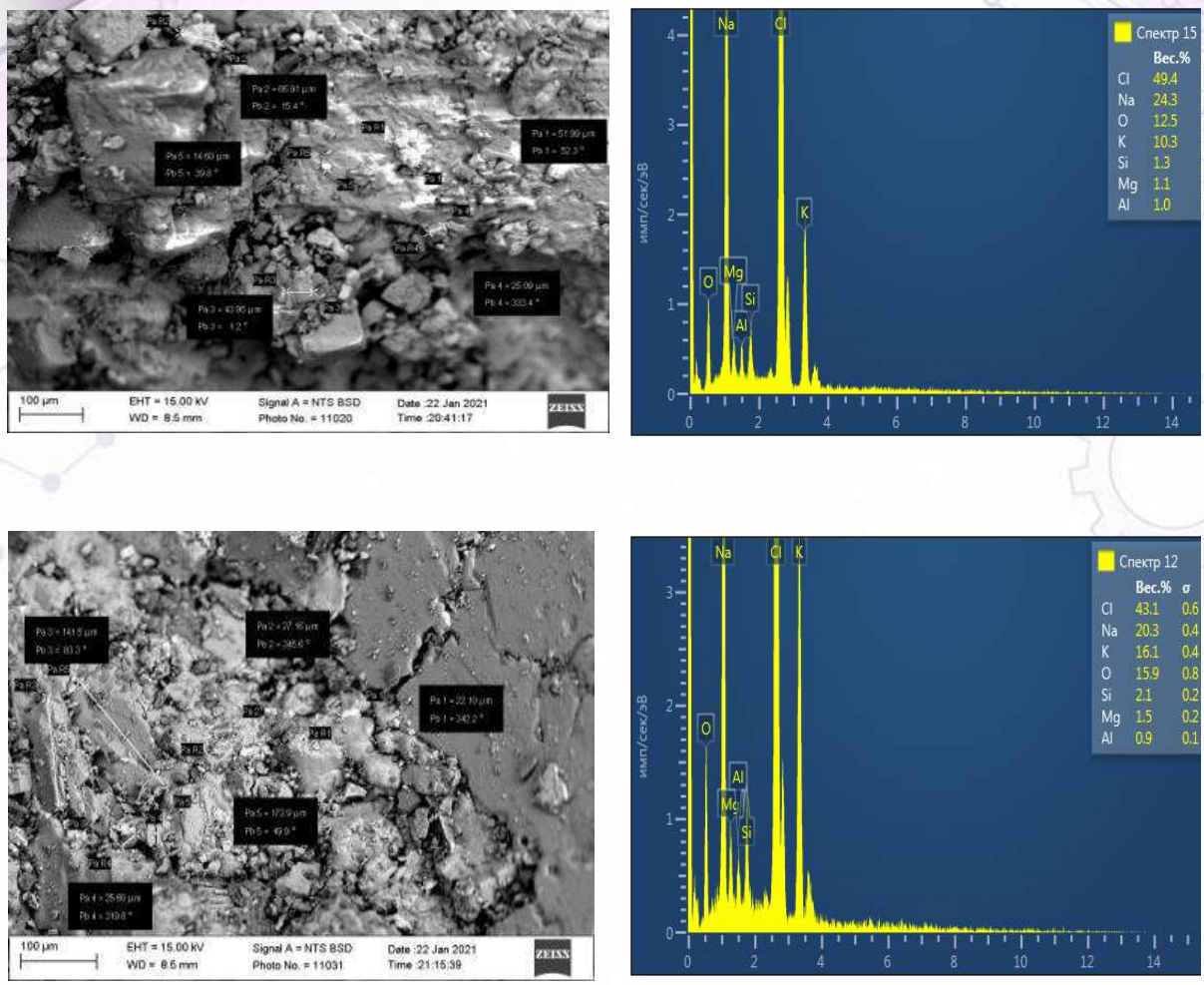
Olingan natijalarga ko‘ra namunalardagi magniy, aluminiy, kremniy, oltingugurt va kalsiyning o‘rtacha miqdori tegishlicha 3,85, 5,58, 5,45, 1,74 va 1,68% dan ko‘p emas. Natijalar kaliyning miqdori ortishi bilan birga ulardagi magniy, kremniy, kalsiy elementlarining miqdori kamayishini ko‘rsatdi.



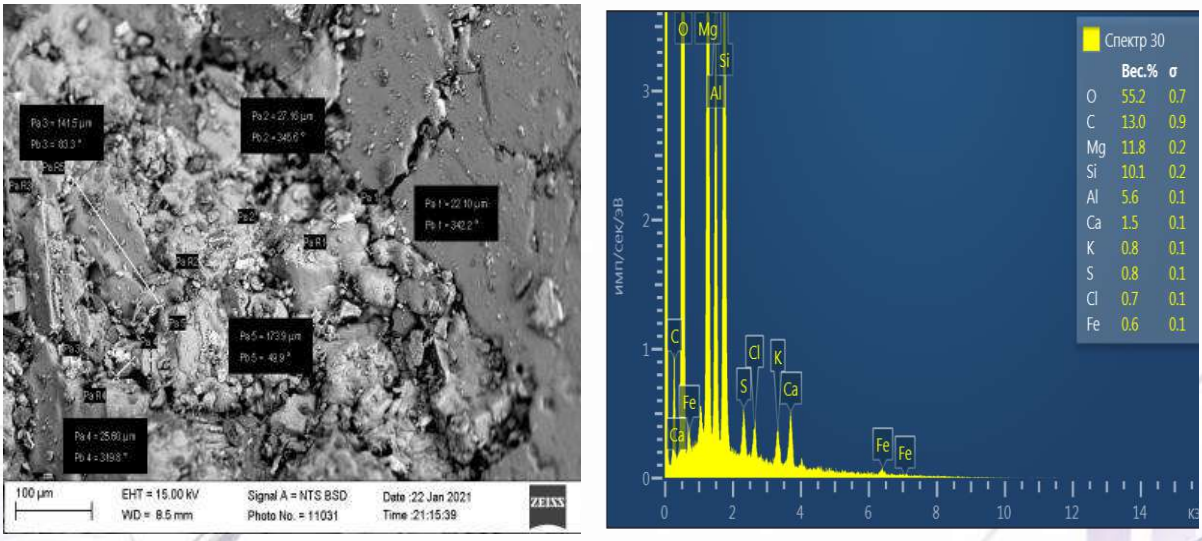


Namuna -1 (-3+1 mm li fraksiya)

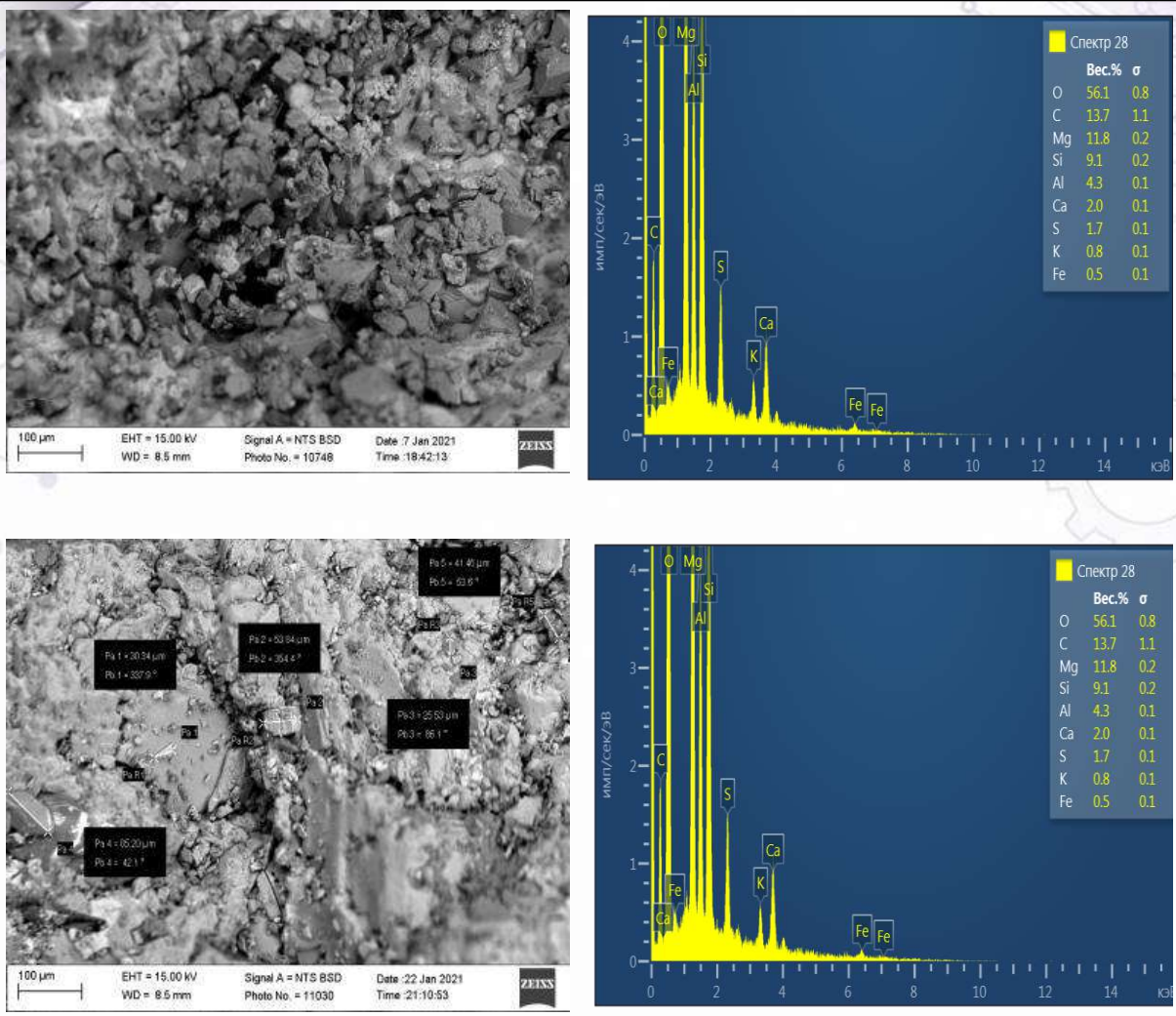
ISSN 3030-3907



1-rasm. 1, 3, 5 - namunalarning elektron tasviri va energodispersion spektrlari (namunalar tarkibidagi KCl miqdori: 1-9,2%; 3-19,0%; 5-31,1%)



ISSN 3030-3907



2-rasm. 1, 3, 5 - namunalarning suvda erimaydigan qoldig‘ini elektron tasviri va energodispersion spektrlari (namunalar tarkibidagi KCl miqdori: 1-9,2%; 3-19,0%; 5-31,1%)

Kaliyli xom ashyolarning erimaydigan qoldiqlari o‘rganilganda ularning tarkibida asosan kislorod, magniy, kremniy, aluminiy, kalsiy, uglerod, temir elementlari mavjudligi aniqlandi. Temir va uglerod elementlari miqdori kamligi sababli ularning energodispersion spektrlari faqatgina erimaydigan qoldiq tarkibida ko‘ringan.

Turli o‘lchamdagi silvinit namunalari va ularning erimaydigan qoldiqlarining mineralogik tarkibini o‘rganish uchun rentgenografik tahlil usulidan foydalanildi. Olingan natijalar 3 va 4 - rasmlarda keltirilgan. Na’munalarning rentgen fazali tahlillari natijalariga ko‘ra, namunalarning asosiy mineralogik tarkibi galit va silvindir. Galitning ulushi 52,2 dan 70,5% gacha, silvin esa 7,2 dan 32,9% gacha oraliqda o‘zgargan. Shuningdek, namunalar tarkibida kalsiy sulfati, magniy, kalsiy karbonatlari, magniy xloridi, aluminiy, kalsiy silikatlari kabi birikmalar mavjud. Na’munalarda KCl miqdorining ortishi bilan ularning tarkibidagi kalsiy sulfat, kremniy birikmalari, alyumosilikatlar miqdori kamayib borishi kuzatiladi.

ISSN 3030-3907

1-na’muna fraksiyalarida kalsiy sulfat, kremniy birikmalari, alyumosilikatlar miqdori katta bo‘lib, bu esa ushbu namunalardagi erimaydigan qoldiq miqdorining kattaligiga va natijada namunalardagi mustahkamlikning yuqori bo‘lishiga sabab bo‘lgan.

XULOSA. Xulosa qilganda, na’munalardagi kaliy xlorid miqdori ortishi bilan ularning mustahkamligi kamayib, natijada oson maydalanadi, mustahkamligi yuqori bo‘lgan namunalarni esa ko‘proq maydalash, yani maydalash jarayonida yuqori quvvatga ega maydalash uskunalaridan foydalanish zarur bo‘ladi.

Kaliyli ma’danlar tarkibidagi erimaydigan qoldiq, silikat, karbonat, natriy xlorid tuzlarining ma’dan tarkibidagi kaliy xlorid miqdori va ma’dan zarralari o‘lchamiga o‘zaro bog‘liqligini qanday o‘zgarishini yorqin ko‘rsatish uchun namunalar tarkibidagi suvda erimaydigan qoldiq, silikat, karbonat, natriy xlorid tuzlarining KCl ga nisbati o‘rganildi. Olingan natijalar 5-8-rasmlarda keltirilgan.

Natijalarga ko‘ra namunalar tarkibidagi KCl miqdorining kamayib borishi bilan kichik o‘lchamli zarralardagi erimaydigan qoldiq miqdorining KCl ga nisbati keskin ortadi. Mos xolda KCl miqdori ortishi va zarralar o‘lchamining kattalashishi bilan esa ushbu nisbat 0,139 gacha kamayib boradi. Erimaydigan qoldiqning KCl ga nisbatini maksimal miqdori 9,15 ni tashkil etdi.

Na’munalar tarkibidagi silikat, natriy xlorid, karbonat tuzlarining KCl ga nisbatlarida xam yuqoridagi qonuniyat saqlanadi.

Birinchi na’munada (9,2% KCl) silikat tuzlari yig‘indisini kaliy xlorid miqdoriga nisbati zarralar o‘lchami kichrayishi bilan ortib borgan, zarralar o‘lchami -10mm dan +0,5mm gacha pasayishi bilan silikat tuzlari yig‘indisini kaliy xlorid miqdoriga nisbati 1,95 dan 3,12 gacha ortgan. 2-chi (13,2% KCl), 3-chi (19,0 % KCl), 4-chi (24,0% KCl), 5-chi (31,1% KCl) na’munalarda ham silikat tuzlarining kaliy xlorid miqdoriga nisbati zarralar o‘lchami kamayib borishi bilan ortib borgan. Namuna tarkibida kaliy xloridning miqdori kamayishi bilan ham nisbatlar miqdori ortishi kuzatiladi, yani 2-namunada nisbat 0,93 dan 1,5 gacha ortsa, 3-namunada 0,26 dan 0,42 gacha, 4- namunada 0,084 dan 0,18 gacha, 5-na’munada esa 0,042 dan 0,072 nisbatgacha ortganini ko‘rish mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Эркаев, А. У., Реймов, А. М., & Туробжонов, С. М. (2012). Технология калийных удобрений. Ташкент: Навруз.

2. Эркаев, А. У., Бозоров, И. А., Тоиров, З. К., & Сафаров, А. К. (2018). Исследование процесса флотационного обогащения низкосортных сильвинитов Тюбегатанского месторождения. Химическая технология. Контроль и управление, 4(2), 15-22.

ISSN 3030-3907

3. Эркаев, А. У., Таджиев, С. М., & Реймов, А. М. (2010). Разработка технологии получения хлорида калия из низкосортных сильвинитовых руд. Узбекский химический журнал, (3), 45-49.
4. Бадалходжаев, А. А., Эркаев, А. У., & Мирзакулов, Х. Ч. (2014). Интенсификация процесса выщелачивания калийных солей из некондиционного сырья. Химическая промышленность, 91(3), 124-129.
5. Эркаев, Ж. А., & Тоиров, З. К. (2021). Физико-химические основы переработки бедных сильвинитовых руд методом галургии. Молодой ученый, (24), 88-92.

ISSN 3030-3907

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОБСУЖДЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СОСТАВНОГО ДИСКРЕТИЗИРУЮЩЕГО БАРАБАНЧИКА ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЯДИЛЬНЫХ МАШИН

Эшмухамедов Латиф Махмаюсуфович
Старший преподавател Каршинский государственный технический университет Республика Узбекистан, г. Карши
E-mail: latifbek95@gmail.com
Мирзаев Отабек Абдукаримович
PhD, д-р филос. по техн. наукам, Каршинский государственный технический университет, Республика Узбекистан, г. Карши
E-mail: kiamoa@mail.ru
Эгамбердиева Манзура Олимжон кизи
Магистрант, Каршинский государственный технический университет, Республика Узбекистан, г. Карши.

Аннотация. В статье выведено уравнение вынужденных колебаний составного разрыхлительного барабанчика, расположенного в зоне дискретизации пневмомеханической прядильной машины. Обзор литературы выполнен с учётом рассматриваемой проблематики и её взаимосвязи с поставленной задачей. Теоретическая часть работы основана на законах и методах решения специальных задач теоретической механики. Для разрыхлительного барабанчика приведены некоторые необходимые параметры в виде численных значений. В статье также представлены графические зависимости, позволяющие проанализировать влияние параметров системы на её поведение и оценить динамические характеристики процесса.

Ключевые слова. зуб, сила давления воздуха, частота, центробежная, механика, динамика, колебания, результат, уравнение, частота, волокон,оболочка, колебания,вынужденная, расположения.

Annotatsiya. Maqolada pnevmo-mexanik yigirish mashinasining diskretizatsiya (tolalarga ajratish) zonasida joylashgan tarkibiy (kompozit) ochuvchi barabanchasining majburiy tebranishlari tenglamasi keltirib chiqarilgan. Ko‘rib chiqilayotgan muammolar va ularning qo‘yilgan vazifa bilan bog‘liqligi hisobga olingan holda adabiyotlar sharhi bajarilgan. Ishning nazariy qismi nazariy mexanikaning maxsus masalalarini yechish qonuniyatlari va usullariga asoslangan. Ochuvchi barabancha uchun bir nechta zaruriy parametrlar sonli qiymatlar ko‘rinishida keltirilgan. Shuningdek, maqolada tizim parametrlarining uning xatti-harakatiga ta’sirini tahlil qilish va jarayonning dinamik

ISSN 3030-3907

xarakteristikalarini baholash imkonini beruvchi grafik bog‘liqliklar taqdim etilgan.

Kalit so‘zlar: havo bosimi kuchi, tish, chastota, markazdan qochma, mexanika, dinamika, tebranishlar, natija, tenglama, tolalar, qobiq, majburiy, joylashuvi.

Abstrakt. The article derives the equation of forced vibrations of a composite opening drum located in the discretization zone of a pneumatic-mechanical spinning machine. The literature review has been carried out with regard to the considered problem and its relationship to the formulated objective. The theoretical part of the work is based on the laws and methods for solving specialized problems of theoretical mechanics. Several necessary parameters of the opening drum are presented in the form of numerical values. The article also provides graphical dependencies that allow analyzing the influence of system parameters on its behavior and evaluating the dynamic characteristics of the process.

Keywords. Tooth, air pressure force, frequency, centrifugal, mechanics, dynamics, vibrations, result, equation, fiber, shell, oscillations, forced, arrangement.

ВВЕДЕНИЕ.

Изучение процесса выборки теоретически и путем его применения на практике расширяет возможности получения пряжи с высокими показателями качества. Решения поставленных проблем можно искать, применяя правила динамики и теории вибрации к изучению конкретной задачи [1]. В рассматриваемом машинном узле вращательное движение передается на дискретные барабаны посредством ременной передачи, приводимой в движение электроприводом [2]. Композитный дискретный барабан снабжен резиновыми втулками в основании, между валом и зубчатой гарнитурой. В этом случае резиновую втулку можно брать целиком для всех трех зубчатых передач. Однако для каждого зубчатого ряда могут быть установлены отдельные резиновые втулки [3]. В этом варианте отмечается, что отдельные резиновые втулки получаются по-разному. Это связано с тем, что основная нагрузка при работе дискретного барабана приходится на его среднюю часть. Поэтому целесообразно повысить девственность резиновой втулки со средним зубчатым рядом [4].

Повышения требования к анализу и синтезу тяжело нагруженных и быстроходных современных машин привели к необходимости расширения его раздела общего курса теории механизмов и машин, в которое изучается динамика механизмов и, в частности, колебательные процессы в машинах. Колебания в машинах могут быть полезными, когда само действия машины основано на эффект колебаний, но чаще они является нежелательными, та

ISSN 3030-3907

как снижают надежность машин, вызывает шум и оказывает вредное влияния на организм человека [5].

МЕТОДЫ И МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ. В ходе выполнения работы были использованы методы теоретической механики и теории колебаний. Теоретической основой исследования послужили труды Батья «Теоретическая механика в примерах и задачах», а также научная литература по динамике механических систем и теории колебаний. Сложность и громоздкость полного расчета вибрации и колебаня , а также недостаточная еще изученность ряда вопросов приводит к тому, что мы не имеем возможности произвести исчерпывающего исследования вибрации в процессе проектирования судна [6].

Поэтому иногда приходится сталкиваться с повышенной либрацией на построенных судах и возникает вопрос о способах ее уменьшения [7].

Для правильного решения этого вопроса нужно выяснить причины, вызывающие повышенную вибрацию и колебания , произвести эксперименты для установления форм и частот колебаний отдельных конструкций или всего корпуса в целом и разработать мероприятия для уменьшения вибрации и колебаний [8].

Практически амплитуда оказывается конечной, так как при значительных перемещениях нарушается линейная связь между реакцией упругой связи и перемещением, но все же величины перемещений иногда могут достигнуть значений, опасных для прочности упругой связи [9].

Для решения поставленных задач применялись методы математического моделирования, динамического анализа механических систем, исследования собственных и вынужденных колебаний, а также методы аналитического решения дифференциальных уравнений движения. Полученные результаты использовались для оценки динамических характеристик исследуемой системы и анализа её поведения при различных условиях эксплуатации. Решение задач на вынужденные колебания материальной точки рекомендуется проводить в следующем порядке:

-выбрать систему отсчета, взяв начало отсчета в положении статического равновесия материальной точки;

-записать начальные условия движения материальной точки;

-изобразить на рисунке силы, приложенные к материальной точке;

-составить дифференциальное уравнение движения в проекции на соответствующую ось;

-проинтегрировать дифференциальное уравнение движения, использовав начальные условия для определения постоянных интегрирования.

ISSN 3030-3907

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЯ.

Силы действующих зон питании в пневмомеханических прядильных машин приведено на рис 1. Это поможет нам лучше понять поставленную задачу и уменьшит трудности, возникающие при её решении.

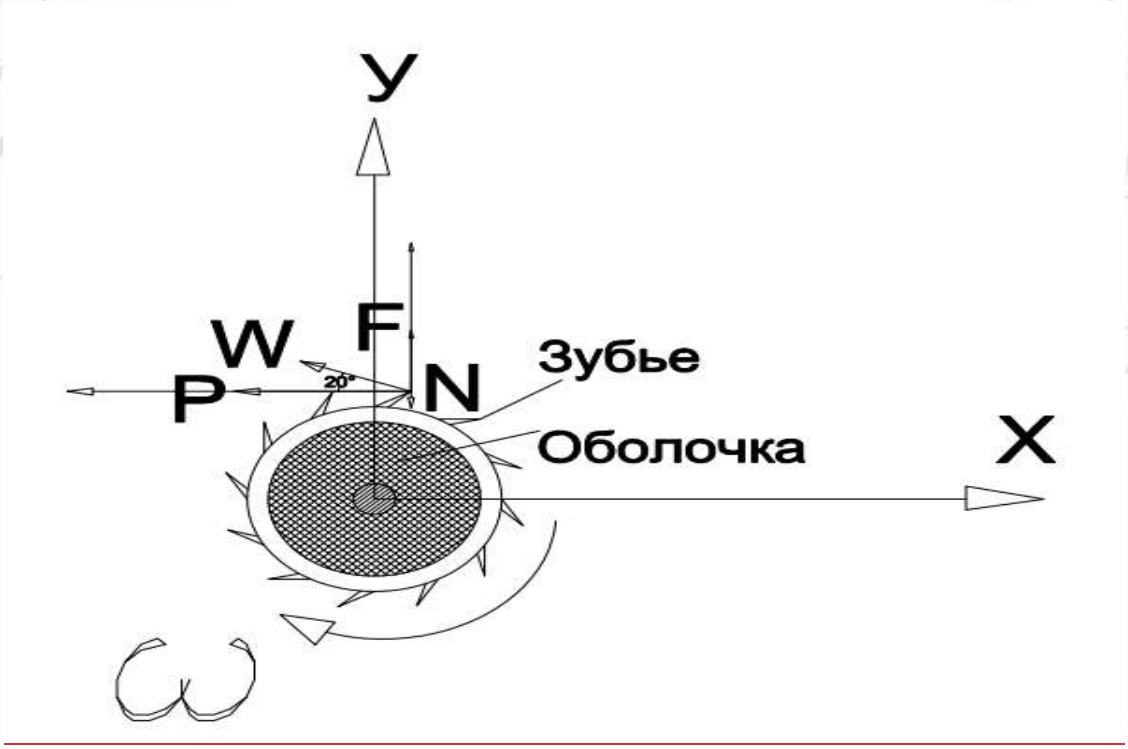


Рис 1. Силы действующих зон питании в пневмомеханических прядильных машин приведено

На зуб действуют следующие силы: P — сила чесания (направлена горизонтально влево, противоположно вращению). ,$W-$ сила давления воздуха (направлена под углом к касательной/горизонтали). F −центробежная сила (направлена радиально вверх, вдоль оси). N — сила упругого сопротивления оболочки (восстанавливающая сила, направлена к центру, вдоль оси). ,ω — угловая частота вращения барабана. Пусть жесткость упругого основания равна , тогда сила упругости выражается как , где — деформация (смещение зуба вдоль радиальной оси).

Выбор системы отсчета и начало отсчета Выбираем декартову систему координат XY с началом в положении статического равновесия зуба. Ось Y направлена радиально вверх, ось X — горизонтально вправо. После этого напишем начальное условия поставленных задачи: при

$$t = 0: y = y_0: \dot{y} = v_{y0}.$$

Силы $FQ(t) = Q_0 \sin(pt)\, p$ иN действуют вдоль осиY . Вынуждающие силы (аэродинамическая Wи технологическая P) вызывают колебательный процесс. Предположим, что сила чесания и давления воздуха имеют гармонический (колебательный) характер из-за дискретного

ISSN 3030-3907

взаимодействия с волокном и вращения, то есть суммарная возмущающая сила вдоль оси колебаний Y равна $Q(t) = Q_0 \sin(pt)$, где p — частота возмущающей силы.

Составление дифференциального уравнения в проекции на ось Y. Согласно второму закону Ньютона в проекциях на ось Y :

$$m\ddot{y} = \sum F_y \quad (1)$$

Проецируем силы на радиальную ось Y :

$$F - N + W_y \quad (2)$$

Учитывая, что центробежная сила F в положении равновесия компенсируется статической деформацией, а динамическая составляющая силы упругости равна cy , запишем уравнение колебаний относительно положения равновесия:

$$m\ddot{y} + cy = Q_0 \sin(pt) \quad (3)$$

После этого разделим его на m *и введем стандартные обозначениия* ($k^2 = \frac{c}{m}$ *−собственная частота ,* $q_0 = \frac{Q_0}{m}$):

$$\ddot{y} + k^2 y = q_0 \sin(pt) \quad (4)$$

Надо указать, что общее решение данного уравнения представляется как сумма решения однородного уравнения и частного решения неоднородного уравнения:

$$y(t) + y_h(t) + y_p(t) \quad (5)$$

После этого рассмотрим однородное уравнение

$$\ddot{y} + k^2 y = 0 \quad (6)$$

Характеристическая уравнение имеет следующий вид

$$\lambda^2 + k^2 = 0 \quad (7)$$

Откуда $\lambda_{1,2} = \pm ik$

Следовательно, общее решение однородного уравнения:

$$y_h = C_1 \cos(kt) + C_2 \sin(kt) \quad (8)$$

Узная такая условия напишем что, частное решение неоднородного уравнения ищем в виде:

$$y_p = A \sin(kt) \quad (9)$$

Подставляя такая результаты его в уравнение (4), получаем:

$$-Ap^2 \sin(pt) + k^2 A \sin(pt) = q_0 \sin(kt) \quad (10)$$

Отсюда можно получать что,

$$A(k^2 - p^2) = q_0 \quad (11)$$

следовательно,

$$A = \frac{q_0}{(k^2 - p^2)} \quad (12)$$

Тогда частное решение:

ISSN 3030-3907

$$y_p = q_0/(k^2 - p^2)\sin(pt) \quad (13)$$

Таким образом, общее решение уравнения движения имеет вид:

$$y(t) = C_1\cos(kt) + C_2\sin(kt) + q_0/(k^2 - p^2)\sin(pt) \quad (14)$$

Определим постоянные интегрирования из начальных условий:

$$\text{при } t = 0: y(t) = y_0, \dot{y}(0) = v_{y0}:$$

Из условия $y(0) = y_0$ получаем:

$$C_1 = y_0$$

Найдем первую производную:

$$y(t) = -kC_1\sin(kt) + kC_2\cos(kt) + q_0p/(k^2 - p^2)\cos(pt) \quad (15)$$

При $t = 0$: *можно написат условная что*

$$v_{y0} = kC_2 + q_0p/(k^2 - p^2) \quad (16)$$

Отсюда можно получать что

$$C_2 = \left(\frac{1}{k}\right)[v_{y0} - q_0p/(k^2 - p^2)] \quad (17)$$

Следовательно, окончательное решение имеет имеет младуюўий вид:

$$y(t) = y_0\cos(kt) + \left(\frac{1}{k}\right)[v_{y0} - q_0p/(k^2 - p^2)]\sin(kt) + q_0p/(k^2 - p^2)\sin(pt) \quad (15)$$

На таблице 1 приведено справочные и результатные данные по составного дискретизирующего барабанчика при его чесание

Таблице 1

№	Обозначения	Имя параметров	Численные значения или их предел границ
1	y_0	Сила действующий на зуб дискретизирующего барабанчиа	120Н
2	k	Собственная частота дискретизирующего барабанчика зависимо от его упругого оболочки и по его массе	400Н/мм^2
3	v_{y0}	частота вращения дискретизирующего барабана, об/мин	6500
4	p	сила чесания (направлена горизонтально влево, противоположно вращению).	245Н
5	q_0	Условная параметр зависимо от упругого оболочки и частота вращения барабанчика	$12 \cdot 10^3$ Нм/рад

На рис. 2 представлена экспериментальная зависимость силы на зубе дискретизирующего барабана от силы чесания при различных уровнях

ISSN 3030-3907

нагрузки. Полученные результаты показывают, что с увеличением силы чесания P наблюдается устойчивый рост силы , действующей на зуб барабана.

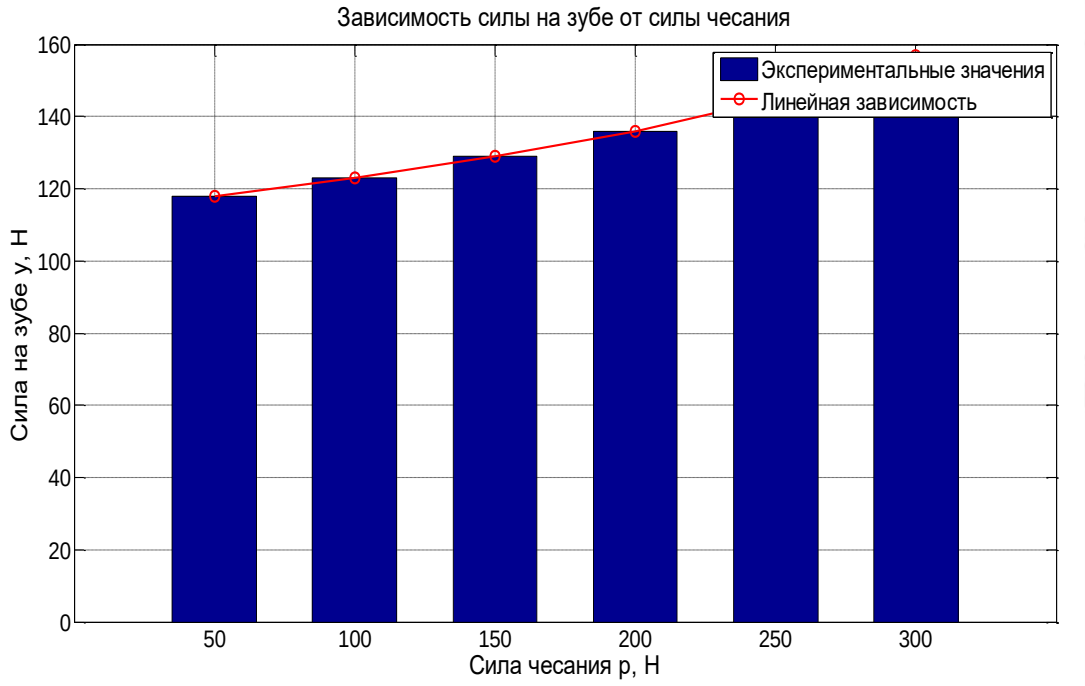


Рис. 2. Экспериментальная зависимость силы на зубе дискретизирующего барабана от силы чесания при различных уровнях нагрузки

При чрезмерно высоких скоростях возможно хаотичное расположение волокон в поперечном направлении пряжи, что ухудшает её структурную однородность. Установлено, что увеличение высоты зубьев на краевых участках барабанчика на 0,4–0,6 мм по сравнению с центральной частью, при использовании секционных наружных втулок, способствует выравниванию движения гарнитуры и обеспечивает более равномерное дискретирование волокон по всей длине барабанчика.

ВЫВОД. Повышение частоты вращения дискретизирующего барабанчика до определённого оптимального значения приводит к увеличению эффективности процесса дискретизации и улучшению ориентации волокон, подаваемых в прядильную камеру. В результате возрастает удельная прочность пряжи и её относительное удлинение. Однако при высоких частотах вращения усиливается повреждение волокон, увеличивается доля коротких волокон, что приводит к повышению неравномерности пряжи по сечению. Кроме того, снижается срок службы опорных узлов и возрастает потребление электроэнергии.

ISSN 3030-3907

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов и др. Опыт результатов производственного освоения пневмомехагнического способа прядения. М.,
2. “Легпромбытиздат”, 1986 г., стр. 125-127.
3. Shukhratov, Sh.; Milašius, R.; Gafurov, K.; Gafurov, J. Investigation of twist waves distribution along structurally
4. nonuniform yarn // Autex research journal. Warsaw : Sciendo. ISSN 1470-9589. 2021, p. 1-5.
5. Севостьянов А.Г. Моделирование технологическогго процесса. М., “Легпромбытиздат”, 1980, стр. 98-93.
6. Максудов, Р., Ш. Шухратов, О. Мирзаев, и Н. Юнусов. «Изучения изменений коэффициента жесткости упругой оболочки прядильной установки». InterConf, вып. 41, февраль 2021 г
7. Бабаков И.М. Теория колебания.М:Машиностроение, г.2014.стр.187.
8. 3. Тимошенко, С.П. Колебания в инженерном деле. / С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У. Уивер: пер. с англ. Л.Г. Корнейчука; под ред. Э.И. Григолюка. – М.: Машиностроение. – 1985. – стр.543 .
9. Алексеев, В.В. Демпфирование крутильных колебаний в судовых валопроводах / В.В. Алексеев, Ф.Ф. Болотин, Г.Д. Кортын. – Л.: Судостроение, 1973. – стр.255 .
10. Цзе, Ф.С. Механические колебания / Ф.С. Цзе, И.Е. Морзе, Р.Т. Хинкл; под ред. И.Ф. Образцова: пер. с англ. – М.: Машиностроение, 2017. – стр.508.
11. Djurayev, A., Maksudov, R.X., Shukhratov, S., & Tashpulatov, D.S. (2018). Improvement in design and methods of calculation the characteristics of vibrant diamond bars of cotton cleaners. International journal of advanced research in science, engineering and technology, 5(11), 397-401

ПОЛУЧЕНИЕ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ КОРЫ СОСНЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕЁ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Умурзакова М.Г.
Магистр 2 курса национальногопедагогического университета Узбекистана
Махматкулова З.Х.
К.т.н., доцент Национальногопедагогического университета Узбекистана
E-mail: mahmatkulovazuhro@gmail.com

Аннотация. В статье представлены результаты оптимизации процесса получения лигноцеллюлозы из коры сосны (Pinus) и оценки физико-химических свойств полученного материала. Использована многостадийная схема обработки, включающая механическую подготовку сырья, удаление экстрактивных веществ, щелочную делигнификацию и organosolv-обработку. Изучено влияние концентрации NaOH, температуры и продолжительности обработки на выход твёрдого лигноцеллюлозного продукта. В качестве оптимального режима выбраны 5% NaOH, температура 80 °C и продолжительность 3 часа; при этих условиях выход продукта составил 55,8%. FTIR-анализ подтвердил сохранение целлюлозного скелета и снижение интенсивности сигналов, характерных для лигнина. По данным SEM сформировалась пористая, неоднородная и волокнистая морфология, а DLS-анализ показал высокую полидисперсность дисперсной системы.

Ключевые слова: лигноцеллюлоза, кора сосны, делигнификация, гидроксид натрия, organosolv-обработка, FTIR, SEM, DLS, биополимерные материалы.

Annotasiya. Mazkur maqolada qarag‘ay (Pinus) po‘stlog‘idan lignosellyuloza olish jarayonini optimallashtirish va olingan mahsulotning fizik-kimyoviy xossalarini baholash natijalari bayon etildi. Xomashyoni mexanik tayyorlash, ekstraktiv moddalarni ajratish, ishqoriy delignifikatsiya va organosolv ishlov bosqichlari ketma-ket qo‘llanildi. NaOH konsentratsiyasi, harorat va ishlov berish vaqtining mahsulot unumiga ta’siri o‘rganildi. Optimal sharoit sifatida 5% NaOH, 80 °C harorat va 3 soatlik ishlov berish rejimi tanlandi; bu sharoitda mahsulot unumi 55,8% ni tashkil etdi. FTIR tahlili sellyuloza skeletining saqlanganini, ligninga xos signallar intensivligining kamayganini ko‘rsatdi. SEM natijalari g‘ovak va tolali morfologiya shakllanganini, DLS tahlili esa dispers tizim yuqori polidispers xususiyatga ega ekanini tasdiqladi.

Kalit so‘zlar: lignosellyuloza, qarag‘ay po‘stlog‘i, delignifikatsiya, NaOH, organosolv ishlov, FTIR, SEM, DLS, biopolimer materiallar.

Abstract. This article presents the results of optimizing lignocellulose production from pine (Pinus) bark and evaluating the physicochemical properties of the obtained material. A multistage processing scheme was applied, including mechanical preparation of the raw material, removal of extractives, alkaline delignification, and organosolv treatment. The effects of NaOH concentration, temperature, and treatment time on the yield of the solid lignocellulosic product were investigated. The optimal conditions were determined as 5% NaOH, 80 °C, and 3 h treatment time; under these conditions, the product yield reached 55.8%. FTIR analysis confirmed the preservation of the cellulose skeleton and a decrease in the intensity of lignin-related signals. SEM observations revealed a porous, irregular, and fibrous morphology, while DLS analysis demonstrated the highly polydisperse nature of the dispersion system.

Keywords: lignocellulose, pine bark, delignification, sodium hydroxide, organosolv treatment, FTIR, SEM, DLS, biopolymer materials.

ВВЕДЕНИЕ.

Рациональное использование растительной биомассы относится к числу актуальных направлений современной химии природных полимеров, материаловедения и «зелёной» химии. Особый интерес представляет лигноцеллюлозное сырьё, поскольку оно формируется в больших объёмах, имеет возобновляемое происхождение и содержит природные полимерные компоненты, способные служить основой для получения сорбентов, наполнителей, биокомпозитов и функциональных материалов. Лигноцеллюлозная биомасса рассматривается не только как источник энергии, но и как химическая платформа для создания продуктов с более высокой добавленной стоимостью [1-3].

Структура лигноцеллюлозы определяется сочетанием целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина, экстрактивных веществ и минеральных компонентов. Целлюлоза образует прочный полисахаридный каркас, гемицеллюлозы выполняют роль менее упорядоченной матрицы, а лигнин придаёт растительной клеточной стенке жёсткость и устойчивость к химическому и биологическому разрушению. Именно сложные связи между этими компонентами делают биомассу труднопереработываемой, поэтому предварительная химическая обработка является ключевым этапом выделения лигноцеллюлозной фракции.

Кора сосны является перспективным, но одновременно сложным объектом переработки. В ней присутствуют смолы, воски, фенольные соединения, дубильные вещества и ароматические фрагменты лигнина, которые могут снижать эффективность делигнификации и ухудшать воспроизводимость получаемого материала. Поэтому для такого сырья

ISSN 3030-3907

целесообразно применять не одну операцию, а последовательную схему: механическое измельчение, удаление экстрактивных веществ, щелочную обработку и organosolv-фракционирование.

Актуальность исследования определяется необходимостью подбора таких условий обработки, при которых лигнин и часть гемицеллюлозы удаляются достаточно эффективно, но целлюлозный скелет не подвергается чрезмерной деструкции. В этом отношении концентрация NaOH, температура и продолжительность процесса являются основными управляемыми факторами. Их оптимизация позволяет регулировать выход продукта, степень раскрытия поверхности и потенциальную реакционную способность получаемой лигноцеллюлозы.

Цель настоящей работы оптимизировать процесс получения лигноцеллюлозы из коры сосны, определить влияние концентрации NaOH, температуры и времени обработки на выход продукта, а также охарактеризовать химическую структуру и морфологию полученного материала методами FTIR, SEM и DLS.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.

В научной литературе лигноцеллюлозная биомасса рассматривается как один из наиболее доступных возобновляемых ресурсов для получения биотоплива, биоосновanных химических веществ, сорбентов и полимерных материалов. F.Isikgor и C.Becer показывает, что из лигноцеллюлозного сырья может быть получен широкий спектр мономеров, химических платформ и полимерных продуктов [3]. Более поздние исследования подчёркивают, что практическая ценность лигноцеллюлозы зависит не только от её состава, но и от выбранной схемы фракционирования, поскольку разные виды сырья требуют различной глубины предварительной обработки [6].

Одним из наиболее распространённых подходов к деструкции лигноуглеводного комплекса является щелочная обработка. Согласно данным J.Kim и соавторов, щелочная предварительная обработка способствует селективному удалению части лигнина, увеличению пористости и повышению доступности полисахаридной фазы [4]. Механизм действия NaOH связан с омылением сложных эфирных связей, разрушением части связей между лигнином и гемицеллюлозой, набуханием клеточной стенки и увеличением доступности внутренних слоёв биомассы. Однако чрезмерная концентрация щёлочи или повышение температуры могут приводить к потере полисахаридов и снижению качества твёрдого продукта.

Обработка органическим растворителем, как указывается в работе I.Nair и др. занимает особое место среди методов фракционирования,

ISSN 3030-3907

поскольку сочетает органический растворитель, воду и, при необходимости, кислотный или щелочной катализатор. По литературным данным, обработка органическим растворителем способствует растворению фрагментов лигнина, ослаблению лигноуглеводных связей и получению более чистых целлюлозосодержащих фракций [5]. Для древесного и корового сырья важным преимуществом organosolv-систем является возможность удаления гидрофобных и ароматических компонентов, которые плохо устраняются только водной обработкой.

Кора хвойных пород отличается повышенным содержанием экстрактивных веществ и ароматических компонентов. В работе D.Barros и соавторов показано, что кора морской сосны содержит лигнин, целлюлозу, гемицеллюлозу, зольные и экстрактивные компоненты, что подтверждает необходимость комплексной химической характеристики такого вида сырья [7]. Следовательно, предварительное удаление липофильных и фенольных компонентов перед щелочной делигнификацией является технологически оправданным этапом.

Для контроля изменений структуры лигноцеллюлозы широко применяются спектральные и микроскопические методы. FTIR-спектроскопия позволяет оценить наличие гидроксильных групп, C-H-связей, гликозидных фрагментов, ароматических структур лигнина и изменений в полисахаридном скелете [8]. SEM используется для визуализации поверхности и выявления пористости, трещин, расслоения и волокнистой структуры. DLS-анализ, в свою очередь, даёт информацию о гидродинамических размерах частиц в суспензии и степени полидисперсности системы; при интерпретации таких данных необходимо учитывать, что крупные агрегаты могут давать значительный вклад в интенсивность рассеяния [9].

Таким образом, литературные данные подтверждают целесообразность комбинированного подхода к переработке коры сосны. Наиболее обоснованной является схема, объединяющая удаление экстрактивных веществ, контролируемую щелочную делигнификацию и organosolv-обработку с последующей оценкой структуры методами FTIR, SEM и DLS.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Объектом исследования служила кора сосны рода Pinus. Сырьё предварительно очищали от механических примесей, высушивали и измельчали до частиц размером 0,5-2,0 мм. Уменьшение размера частиц повышает площадь контакта сырья с реагентами и облегчает проникновение раствора в объём биомассы. После измельчения образцы дополнительно

ISSN 3030-3907

выдерживали до стабилизации влажности, поскольку избыток воды может изменять фактическую концентрацию реагентов и снижать воспроизводимость процесса.

Удаление экстрактивных веществ проводили в два этапа. На первом этапе сырьё обрабатывали гексаном для извлечения липофильных компонентов, включая смолы и восковые вещества. На втором этапе использовали смесь этанол:вода в соотношении 75:25 для частичного удаления гидрофильных, фенольных и низкомолекулярных компонентов. Такая предварительная обработка снижает влияние экстрактивных веществ на последующую делигнификацию и способствует более равномерному взаимодействию щёлочи с лигноуглеводным комплексом.

Щелочную делигнификацию проводили растворами NaOH концентрацией 3, 5 и 7%. Температурный интервал составлял 70, 80 и 90 °C, продолжительность обработки - 120-240 мин. Процесс осуществляли в водяной бане при постоянном перемешивании. После завершения обработки реакционную массу охлаждали, твёрдую фазу отделяли фильтрованием и многократно промывали дистиллированной водой до достижения pH 7-8.

На следующем этапе проводили organosolv-обработку в системе ацетон:вода 80:20 в присутствии серной кислоты при 120 °C. Данный этап был направлен на дополнительное удаление фрагментов лигнина и ослабление связей между ароматической и полисахаридной частью исходной биомассы. После обработки твёрдую и жидкую фазы разделяли фильтрованием. Твёрдый остаток рассматривали как лигноцеллюлозо-содержащую фракцию, затем высушивали методом лиофилизации. Выход продукта рассчитывали как отношение массы высушенного твёрдого остатка к массе исходного сухого сырья.

Химическую структуру полученного материала исследовали методом инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR). Морфологию поверхности оценивали методом сканирующей электронной микроскопии (SEM). Гидродинамические размеры частиц и характер распределения в суспензии определяли методом динамического светорассеяния (DLS).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.

Результаты оптимизации показали, что концентрация NaOH и температура являются определяющими факторами выделения лигноцеллюлозной фракции из коры сосны. При увеличении концентрации щёлочи и температуры выход твёрдого продукта закономерно снижался. Такое снижение связано с переходом части лигнина, гемицеллюлозы и

ISSN 3030-3907

низкомолекулярных компонентов в жидкую фазу. Однако слишком высокий выход не является признаком эффективного процесса: при мягких условиях в твёрдом остатке может сохраняться значительное количество лигнина и экстрактивных веществ.

Таблица-1.

Влияние концентрации NaOH и температуры на выход лигноцеллюлозного продукта

NaOH, %	Температура, °C	Время, ч	Выход продукта, %	Характеристика процесса
3	70	3	68,4	Делигнификация выражена слабо
3	80	3	64,7	Отделение лигнина улучшается
3	90	3	60,2	Селективность недостаточна
5	70	3	61,5	Процесс неполный
5	80	3	55,8	Оптимальное состояние
5	90	3	49,6	Начало избыточного разрушения
7	70	3	54,3	Лигнин удаляется интенсивнее
7	80	3	47,9	Потери полисахаридов возрастают
7	90	3	41,2	Высокий риск деструкции

При 3% NaOH и 70 °C выход продукта составил 68,4%, однако такой режим нельзя считать оптимальным, поскольку высокая масса твёрдого остатка обусловлена недостаточным удалением лигнина. При повышении температуры до 80 и 90 °C выход снижался до 64,7 и 60,2% соответственно, что указывает на усиление делигнификации, но при 3% NaOH процесс всё ещё остаётся недостаточно глубоким.

ISSN 3030-3907

Использование 5% раствора NaOH обеспечило более сбалансированное течение процесса. При 70 °C выход составил 61,5%, что указывает на неполное удаление лигнина. При 80 °C выход снизился до 55,8%, и этот режим был выбран как оптимальный, поскольку обеспечивал разумный компромисс между удалением лигнин-гемицеллюлозной части и сохранением целлюлозного каркаса. При 90 °C выход уменьшался до 49,6%, что может свидетельствовать о начале нежелательных потерь полисахаридной фракции.

Наиболее жёсткие условия - 7% NaOH и 90 °C - приводили к выходу 41,2%. Такой результат показывает интенсивное удаление компонентов, однако одновременно возрастает вероятность разрушения гемицеллюлозы и частичной деструкции целлюлозы. Следовательно, увеличение концентрации щёлочи сверх оптимального значения не повышает качество процесса, а может снижать ценность конечного материала.

Таблица-2.

Влияние продолжительности обработки на выход продукта при 5% NaOH и 80 °C

Время обработки, мин.	Выход продукта, %	Интерпретация результата
120	61,2	Делигнификация неполная, твёрдый остаток содержит больше примесей
180	55,8	Оптимальное соотношение между выходом и степенью обработки
240	50,3	Увеличиваются потери гемицеллюлозы и риск деструкции

Изучение продолжительности обработки показало, что 120 минут недостаточно для полного раскрытия структуры коры сосны. При этом выход продукта остаётся высоким, но высокая масса твёрдого остатка не всегда означает высокую степень очистки. Увеличение времени до 180 минут позволяет усилить удаление лигнина и гемицеллюлозных фрагментов без выраженной деструкции целлюлозного скелета.

При продолжительности 240 минут выход продукта снижается до 50,3%. Такое снижение может быть связано не только с дополнительным

ISSN 3030-3907

удалением лигнина, но и с частичным разрушением менее устойчивых полисахаридных компонентов. Поэтому дальнейшее увеличение времени обработки не является рациональным: оно снижает выход и может ухудшать функциональные свойства материала.

FTIR-анализ подтвердил, что полученный материал сохраняет признаки целлюлозного скелета. Широкая полоса в области 3419 $см^{-1}$ соответствует валентным колебаниям O-H-групп и указывает на наличие развитой системы водородных связей. Полоса около 2903 $см^{-1}$ связана с C-H-колебаниями алифатических фрагментов. Сигналы в области 1281-1031 $см^{-1}$ относятся к C-O-C и C-O-колебаниям полисахаридного скелета, а полоса 899 $см^{-1}$ подтверждает сохранение β-1,4-гликозидных связей целлюлозной цепи.

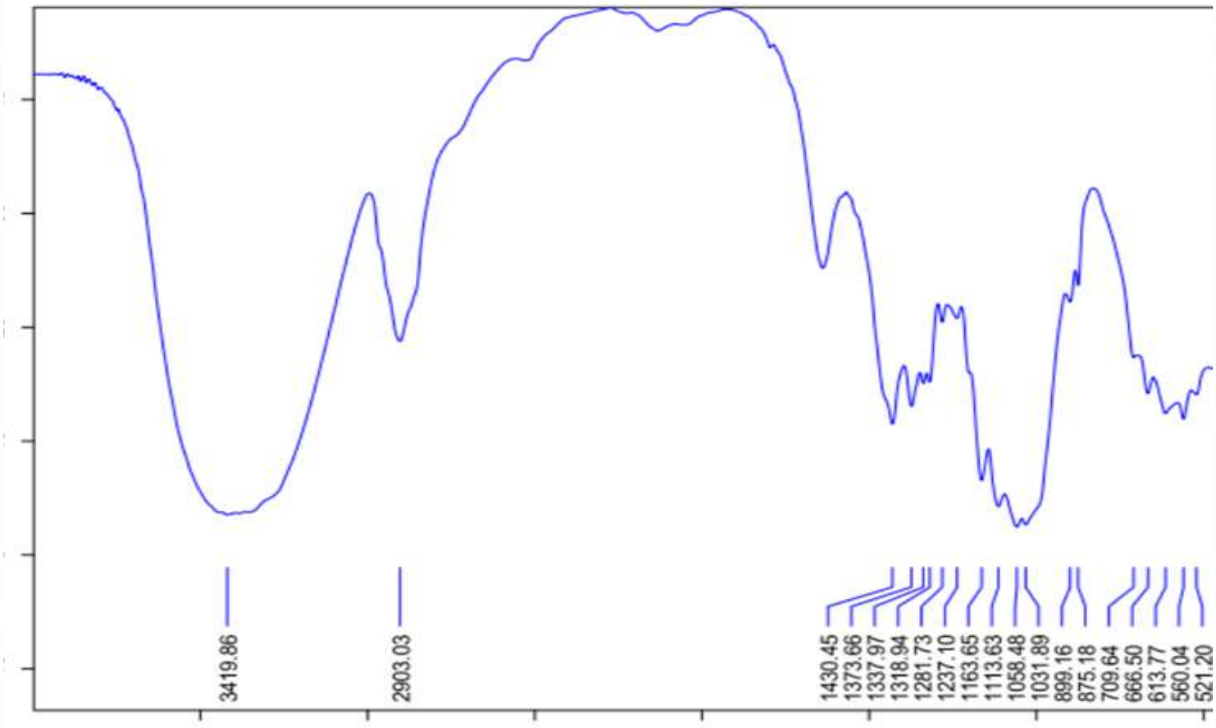


Рисунок-1. FTIR-спектр образца лигноцеллюлозы, полученного из коры сосны.

Таблица 3.

Основные полосы поглощения FTIR-спектра лигноцеллюлозы.

Диапазон, $см^{-1}$	Группа/связь	Аналитическое значение
3419	O-H-колебания	Гидроксильные группы и водородные связи
2903	C-H-колебания	Полисахаридные и лигниновые боковые фрагменты

ISSN 3030-3907

1430	Деформационные колебания CH_2	Сохранение целлюлозной структурной фазы
1281-1031	C-O-C, C-O	Полисахаридный скелет и гликозидные связи
899	β-1,4-гликозидная связь	Сохранение целлюлозной цепи
<800	Ароматические колебания	Остаточные фрагменты лигнина и модифицированная структура

Снижение интенсивности сигналов, связанных с ароматическими структурами лигнина, указывает на эффективность щелочной и organosolv-обработки. При этом сохранение полос в области 1030-1100 $см^{-1}$ и 899 $см^{-1}$ свидетельствует о том, что целлюлозная макромолекулярная основа не разрушена полностью. Такой результат особенно важен, поскольку целлюлозный каркас определяет дальнейшую возможность использования материала в качестве наполнителя, сорбента или структурообразующего компонента биокомпозитов.

SEM-анализ показал выраженное изменение морфологии материала после обработки. При меньшем увеличении частицы имеют неправильную форму, представлены вытянутыми, волокнистыми и пластинчатыми фрагментами. Их размеры находятся в широком интервале, что объясняется природной неоднородностью коры сосны и механическим измельчением сырья. При большем увеличении на поверхности видны трещины, углубления, расслоение и участки деламинации. Формирование шероховатой и пористой поверхности связано с удалением экстрактивных веществ, частичным растворением гемицеллюлозы и разрушением части лигниновой матрицы. Увеличение пористости является положительным признаком для материалов сорбционного назначения, поскольку развитая поверхность создаёт больше потенциальных активных центров. Одновременно SEM-изображения показывают склонность отдельных частиц к агломерации, что может быть связано с водородными связями между гидроксильными группами и межмолекулярным взаимодействием остаточных лигниновых фрагментов.

ISSN 3030-3907

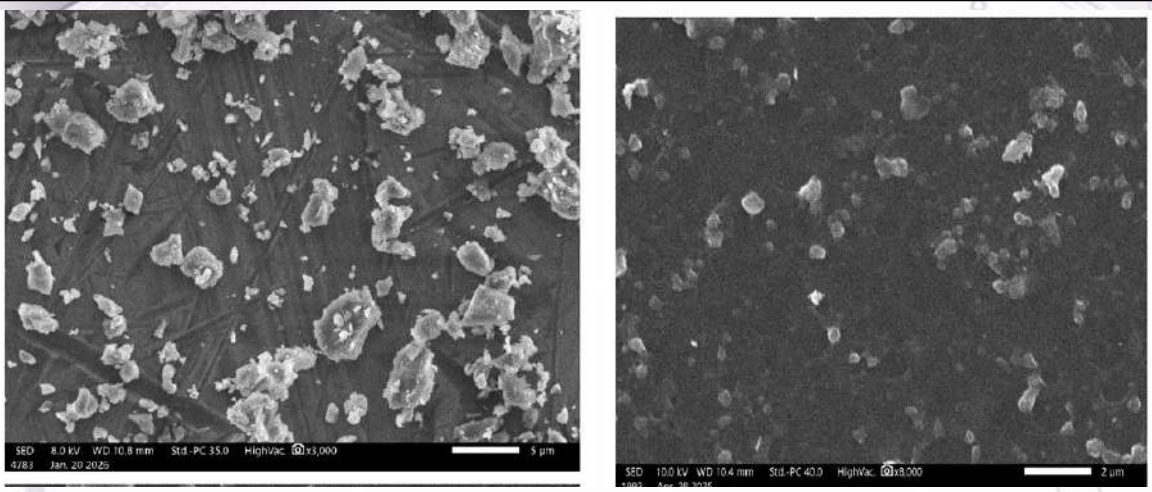


Рисунок-2. SEM-изображения частиц лигноцеллюлозы при увеличениях ×3000 и ×8000.

DLS-анализ водной суспензии лигноцеллюлозы выявил высокую полидисперсность системы. По интенсивности рассеяния были определены несколько фракций: 0,214 нм, 57,36 нм, 425,2 нм и $8{,}9\times10^4$ нм. Наличие пиков в нано- и субмикронной области может быть связано с мелкими коллоидными частицами и фрагментами волокнистой структуры. Основной вклад в интенсивность рассеяния крупных агрегатов объясняется тем, что DLS чувствителен к частицам большего размера; поэтому даже относительно небольшое количество агрегатов может заметно влиять на распределение по интенсивности. Крупная фракция около $8{,}9\times10^4$ нм, то есть примерно 89 мкм, подтверждает, что полученный материал в водной среде не образует истинный раствор, а существует как дисперсная система с выраженной склонностью к агрегации. Значение $\chi^2=0{,}019$ указывает на удовлетворительное соответствие расчётной модели экспериментальным данным. Следовательно, DLS-результаты необходимо рассматривать совместно с SEM-наблюдениями, поскольку микроскопия даёт прямое представление о форме частиц, а светорассеяние отражает их гидродинамическое поведение в суспензии.

Полученные данные позволяют заключить, что лигноцеллюлоза из коры сосны представляет собой неоднородный природный полимерный материал с развитой поверхностью, остаточными ароматическими фрагментами и сохранённым полисахаридным скелетом. Такая комбинация признаков делает материал перспективным для дальнейшего использования при создании сорбентов, биокомпозитов, наполнителей и функциональных биополимерных систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ.

В результате исследования разработана многостадийная схема получения лигноцеллюлозы из коры сосны, включающая механическую

ISSN 3030-3907

подготовку сырья, удаление экстрактивных веществ, щелочную делигнификацию и organosolv-обработку. Такой подход обеспечил частичное удаление лигнина и экстрактивных компонентов при сохранении целлюлозного скелета материала.

Установлено, что концентрация NaOH, температура и продолжительность обработки существенно влияют на выход лигноцеллюлозного продукта. Оптимальным режимом выбран процесс при 5% NaOH, 80 °C и продолжительности 180 минут. При этих условиях выход продукта составил 55,8%, что соответствует балансу между эффективностью делигнификации и сохранением полисахаридной основы.

FTIR-анализ показал наличие O-H, C-H, C-O-C и β-1,4-гликозидных связей, характерных для целлюлозосодержащих материалов. Уменьшение интенсивности сигналов, связанных с лигнином, свидетельствует об эффективности химической обработки. SEM-анализ подтвердил формирование пористой, шероховатой и волокнистой морфологии, благоприятной для последующего использования материала в сорбционных и композиционных системах. DLS-анализ показал, что суспензия лигноцеллюлозы является высокополидисперсной и содержит частицы различного размерного уровня, от нано- и субмикронных фрагментов до крупных агрегатов. Это необходимо учитывать при разработке композитов, гидрогелей и сорбентов на основе данного материала.

В качестве практического предложения целесообразно продолжить исследования по определению сорбционной активности полученной лигноцеллюлозы по отношению к органическим красителям, ионам металлов и другим загрязнителям. Дополнительно рекомендуется провести сравнительный анализ образцов, полученных при разных соотношениях растворителя и воды в organosolv-системе, а также оценить термическую устойчивость и удельную поверхность материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kumar P., Barrett D.M., Delwiche M.J., Stroeve P. Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2009. Vol. 48, No. 8. P. 3713-3729.
2. Sun Y., Cheng J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review // Bioresource Technology. 2002. Vol. 83, No. 1. P. 1-11.
3. Isikgor F.H., Becer C.R. Lignocellulosic biomass: a sustainable platform for the production of bio-based chemicals and polymers // Polymer Chemistry. 2015. Vol. 6. P. 4497-4559.

ISSN 3030-3907

4. Kim J.S., Lee Y.Y., Kim T.H. A review on alkaline pretreatment technology for bioconversion of lignocellulosic biomass // Bioresource Technology. 2016. Vol. 199. P. 42-48.
5. Nair L.G., Agrawal K., Verma P. Organosolv pretreatment: an in-depth purview of mechanics of the system // Bioresources and Bioprocessing. 2023.
6. Segers B., Nimmegeers P., Spiller M., Tofani G., Jasiukaityte E., Dace E., Kikas T., Marchetti J.M. Lignocellulosic biomass valorisation: a review of feedstocks, processes and potential value chains and their implications for the decision-making process // RSC Sustainability. 2024.
7. Barros D., Sousa S., Ferreira I.C.F.R., et al. The chemical characterisation of the maritime pine bark (Pinus pinaster Aiton subsp. atlantica) // Plants. 2023. Vol. 12, No. 23. Article 3940.
8. Md Salim R., Asik J., Sarjadi M.S. Chemical functional groups of extractives, cellulose and lignin extracted from native Leucaena leucocephala bark // Wood Science and Technology. 2021.
9. Tarrés Q., Aguado R., Zoppe J.O., Mutjé P., Fiol N., Delgado-Aguilar M. Dynamic Light Scattering Plus Scanning Electron Microscopy: usefulness and limitations of a simplified estimation of nanocellulose dimensions // Nanomaterials. 2022. Vol. 12, No. 23. Article 4288.
10. Segal L., Creely J.J., Martin A.E., Conrad C.M. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer // Textile Research Journal. 1959. Vol. 29, No. 10. P. 786-794.

ISSN 3030-3907

GIPOMAGNIT MAYDONNING DORIVOR YALPIZDA MENTOL HOSILDORLIGI VA FOTOSINTETIK FAOLLIKKA TA'SIRI

Dilnura Saidqulova
Samarqand davlat tibbiyot universiteti, Pedagogika va psixologiya fakulteti 1-bosqich talabasi.
Anvarjon Buronov
Samarqand davlat tibbiyot universiteti Biotexnologiya, muhandislik va farmatsiya fakulteti assistenti.
E-mail: anvarjon4488@gmail.com

Annotatsiya. Yerning geomagnit maydoni (*GMF*) o'simliklar hayotida ko'pincha e'tibordan chetda qoladigan muhim ekologik omil hisoblanadi. Ushbu tadqiqotda GMF ni sun'iy ravishda kamaytirish (gipomagnit maydon, *hMF*) yaltiz (*Mentha piperita*) o'simligining fiziologik va metabolik jarayonlariga qanday ta'sir qilishi o'rganildi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, *hMF* sharoitida mentol miqdori sezilarli darajada kamaygan, garchi mentol biosintezidagi asosiy genlarning ifodasi kuchaygan bo'lsa-da. Fotosintetik samaradorlik pasaygan, buning natijasida o'simlik resurslarini qayta taqsimlab, himoya mexanizmlarini faollashtirgan. *GMF* o'simlik metabolizmini nozik sozlovchi muhim omil ekanligi aniqlandi.

Kalit so'zlar: geomagnit maydon, yaltiz, mentol, fotosintez, flavonoidlar, reaktiv kislorod turlari, gen ifodasi.

Аннотация. Геомагнитное поле Земли (*GMF*) является важным экологическим фактором, часто недооцениваемым в физиологии растений. В данном исследовании изучалось влияние искусственного уменьшения GMF (гипомагнитное поле, *hMF*) на мяту перечную (*Mentha piperita*). Результаты показали, что в условиях *hMF* содержание ментола значительно снижается, несмотря на парадоксальное усиление экспрессии ключевых генов его биосинтеза. Снижение эффективности фотосинтеза приводит к перераспределению ресурсов в пользу защитных механизмов. Установлено, что *GMF* является важным фактором тонкой регуляции метаболизма растений.

Ключевые слова: геомагнитное поле, мята перечная, ментол, фотосинтез, флавоноиды, активные формы кислорода, экспрессия генов.

Abstract. The Earth's geomagnetic field (*GMF*) is rarely considered a major environmental regulator of plant physiology. This study investigated the effects of a reduced *GMF* (hypomagnetic field, *hMF*) on peppermint (Mentha piperita). Our results show that *hMF* significantly reduces menthol content, despite the paradoxical upregulation of key menthol biosynthesis genes. Photosynthetic efficiency is impaired, as evidenced by lower PSII parameters and reduced photochemical quenching under high light. The plant adjusts its reactive oxygen

ISSN 3030-3907

species (ROS) homeostasis by increasing ROS generation and detoxification, leading to reduced steady-state H_2O_2 levels. These changes are associated with a significant decrease in total photoprotective phenolic compounds. Our findings establish the *GMF* as a critical, fine-tuning factor regulating peppermint‘s metabolic homeostasis.

Keywords: geomagnetic field, peppermint, menthol, photosynthesis, flavonoids, reactive oxygen species, gene expression.

KIRISH.

Yerning geomagnit maydoni (*GMF*) nafaqat ko‘chib yuruvchi hayvonlar uchun yo‘l ko‘rsatuvchi vosita, balki butun tirik dunyoni zararli kosmik va quyosh radiatsiyasidan himoya qiluvchi muhim qalqon vazifasini ham bajaradi [1]. *GMF* doimiy emas – uning qutblari vaqt o‘tishi bilan o‘zgarib turadi, hatto to‘liq qutblanish inversiyasi ham sodir bo‘lishi mumkin [2]. So‘nggi yillarda o‘simliklar *GMF* ning o‘zgarishlarini abiotik stress sifatida sezishi va ularga javoban fiziologik va metabolik o‘zgarishlar bilan munosabat bildirishi aniqlangan [3].

O‘zbekistonda ham yaltiz (*Mentha piperita*) kabi efir moyli o‘simliklar qishloq xo‘jaligida muhim ahamiyatga ega. Yaltiz efir moyi tarkibidagi mentol va boshqa terpenoidlar farmatsevtika, oziq-ovqat va kosmetika sanoatida keng qo‘llaniladi [4]. Shu sababli, *GMF* kabi noyob ekologik omillarning yaltiz metabolizmiga ta’sirini o‘rganish nafaqat fundamental fan, balki amaliy jihatdan ham dolzarb hisoblanadi.

Ushbu tadqiqotning maqsadi – *GMF* ni sun’iy ravishda kamaytirish (gipomagnit maydon, *hMF*) yaltiz o‘simligining fotosintetik samaradorligi, terpenoid va flavonoid biosintezi, shuningdek, reaktiv kislorod turlari (ROS) gomeostaziga qanday ta’sir qilishini aniqlash. Ilmiy yangilik – *GMF* ning o‘simlik metabolizmini nozik sozlashdagi roli birinchi marta kompleks fizologik va molekulyar darajada o‘rganilmoqda.

ADABIYOTLAR TAHLILI.

Dunyo miqyosida o‘rganishlar holati. Geomagnit maydonning biologik ta’sirlari kvant biologiyasi bilan bog‘liq holda o‘rganilmoqda [5]. Ma’lumki, o‘simliklar magnit maydon o‘zgarishlariga ildiz o‘sishi, gullash vaqti va gen ifodasidagi o‘zgarishlar bilan javob beradi [6]. Masalan, Arabidopsis thaliana da *GMF* ning kamayishi gullash vaqtini kechiktirishi aniqlangan [7]. Biroq, aromatik o‘simliklarda, xususan, terpenoid metabolizmiga *GMF* ta’siri deyarli o‘rganilmagan.

Yaltiz efir moyi tarkibi suv tangisligi [8], og‘ir metallar [9] va tuz stressi [10] kabi omillar ta’sirida o‘zgarishi ma’lum. Biroq, magnit maydonning bevosita ta’siri haqidagi ma’lumotlar juda kam. Masalan, Parmagnani va boshq. (2022) [11] *hMF* sharoitida Arabidopsis da ROS gomeostazining o‘zgarishini qayd

ISSN 3030-3907

etganlar, biroq terpenoidlarga ta’sirini o‘rganmaganlar.

O‘zbekiston sharoitida olib borilgan tadqiqotlar. O‘zbekistonda magnit maydonlarning o‘simliklarga ta’siri bo‘yicha tadqiqotlar juda cheklangan. Asosan, magnitlangan suvning o‘simliklarning o‘sishi va rivojlanishiga ta’siri o‘rganilgan bo‘lsa-da, geomagnit maydonning bevosita o‘zgarishlari (masalan, *hMF*) bo‘yicha ilmiy ishlar mavjud emas. Shu sababli, ushbu tadqiqot natijalari O‘zbekiston olimlari uchun qimmatli bo‘lib, ularni mahalliy sharoitda takrorlash va moslashtirish istiqbolli hisoblanadi. Asosiy bo‘shliq – *GMF* ning terpenoid biosinteziga ta’sir mexanizmlari hali to‘liq ochilmagan.

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Tadqiqot turi: Eksperimental, *in vitro* va *ex situ* sinovlarni o‘z ichiga olgan laboratoriya tadqiqoti.

Ob’yekt: O‘zbekistonning Samarqand hududidan olingan *Mentha piperita* L. (‘Black Mitcham’ navi) yaltiz o‘simligi.

Predmet: hMF sharoitida yaltizning fotosintez samaradorligi, terpenoid va flavonoid tarkibi, ROS gomeostazi va tegishli genlarning ifodasi.

Asosiy metodlar:

1. *Gipomagnit maydon (hMF) yaratish:* Uch o‘qli Helmholtz g‘altaklari tizimi yordamida *GMF* ~50 μT dan ~50 nT gacha (taxminan 1000 marta) kamaytirilgan. O‘simliklar 4 hafta davomida *hMF* yoki normal *GMF* (nazorat) sharoitida o‘stirilgan.

2. *Efir moyi tahlili:* Gidrodistillatsiya, so‘ng gaz xromatografiyasi (*GC-FID*) va GC-mass-spektrometriya (*GC-MS*) yordamida terpenoidlar aniqlangan [12].

3. *Trichoma zichligi:* Peltat trichomalar (terpenoid sintezi joyi) stereomikroskop yordamida hisoblangan [13].

4. *Fotosintetik pigmentlar va samaradorlik:* Xlorofillar va karotinoidlar spektrofotometrik usulda aniqlandi [14]. Fotosintez samaradorligi OJIP, NPQ va PAM florometriyasi yordamida baholangan.

5. *Flavonoid tahlili:* Yuqori samarali suyuq xromatografiya (*HPLC*) bilan bog‘langan DAD va ESI-MS/MS tizimida o‘tkazilgan [15].

6. *Statistik tahlil:* Ma’lumotlar o‘rtacha ± standart og‘ish sifatida taqdim etilgan. Guruhlar o‘rtasidagi farqlar bir o‘lchovli ANOVA va Tukey post-hoc testi bilan baholangan ($p < 0.05$). Klaster tahlili va bosh komponentlar tahlili (PCA) ham o‘tkazilgan.

MUHOKAMA VA NATIJALAR.

hMF mentol miqdorini kamaytiradi, ammo gen ifodasini oshiradi.

Efir moyi tahlili shuni ko‘rsatdiki, hMF sharoitida efir moyining umumiy chiqishi o‘zgarmagan, biroq mentol miqdori sezilarli darajada kamaygan

ISSN 3030-3907

(hMF/GMF nisbati = 0,57; 1-jadval). Ayrim kichik monoterpenlar (masalan, sabinen, β-pinen, p-simen) esa aksincha, bir necha baravar ko‘paygan. Mentol/menton nisbati hMF da sezilarli darajada past bo‘lgan, bu menton reduktaza fermenti faolligining pasayishidan dalolat beradi.

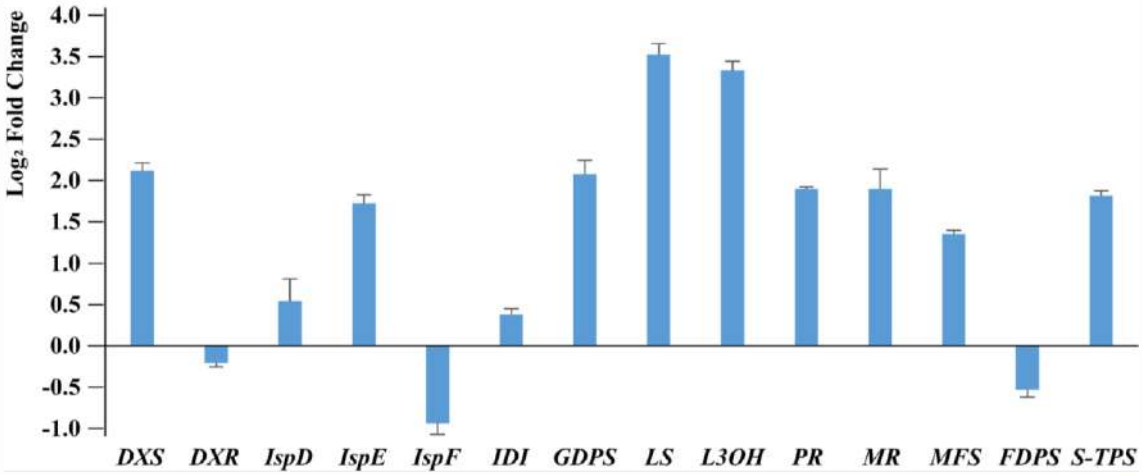
1-jadval.

Yaltiz efir moyining asosiy komponentlari GMF va hMF sharoitida (mg/kg quruq vazn).

Birikma	GMF	hMF	hMF/GMF nisbati
Mentol	1037,62 ± 106,64	586,49 ± 61,81	0,57 *
Menton	4108,8 ± 422,49	4274,46 ± 505,67	1,04
Menthofuran	2128,31 ± 179,05	1790,79 ± 218,4	0,84
Pulegon	1480,76 ± 262,97	1606,73 ± 249,46	1,09
Sabinen	9,82 ± 0,87	51,88 ± 2,84	5,28 *

– p < 0,05 (GMF ga nisbatan farq statistik ahamiyatli)

Qiziqarli jihati shundaki, *hMF* sharoitida mentol biosintezidagi asosiy genlar – DXS, IspE, LS, L3OH, PR, MR va hatto menthofuran sintezasi (MFS) – sezilarli darajada yuqori ifodalangan (1-rasm). Bu paradoks – gen ifodasining kuchayishi, ammo metabolit miqdorining kamayishi – transkripsiyadan keyingi bosqichda (masalan, ferment faolligining pasayishi yoki kofaktor yetishmovchiligi) muammo borligini ko‘rsatadi. Peltat trichomalar zichligi o‘zgarmagan, shuning uchun o‘zgarishlar metabolik, morfologik emas.



***1-rasm. Yalpizda terpenoid biosintez genlarining ifodasi (Log₂ hMF/GMF).* Ijobiy qiymatlar hMF da ifodaning kuchayishini, manfiy qiymatlar esa pasayishini bildiradi. DXS, LS, L3OH va MFS kabi genlar sezilarli darajada yuqori ifodalangan (p < 0,05).**

hMF flavonoid metabolizmini o‘zgartiradi. hMF sharoitida umumiy fenolik birikmalar miqdori (TPC) sezilarli darajada kamaygan. HPLC-ESI-MS/MS tahlili 80 dan ortiq flavonoid aglikon va glikozidlarni aniqlagan. Katexin, dihidrokempferol, dihidromiritsetin va dihidrokversetin *hMF* da ko‘proq bo‘lsa,

ISSN 3030-3907

ramnetin, kversetin, naringenin va kempferol *GMF* da ko‘proq bo‘lgan. Glikozidlanish darajasi o‘zgargan – *hMF* da diglukozidlar, arabinozidlar va glyukuronidlar ko‘paygan. Bu GMF ning glikoziltransferaza fermentlari faolligini modulyatsiya qilishini ko‘rsatadi.

hMF ROS gomeostazini modulyatsiya qiladi. hMF da H_2O_2 ning barqaror konsentratsiyasi *GMF* ga nisbatan sezilarli darajada past bo‘lgan. ROS ishlab chiqaruvchi gen RBOHD *hMF* da yuqori ifodalangan bo‘lsa, H_2O_2 ni parchalovchi katalaza (*CAT*) past ifodalangan. Buning o‘rniga, askorbat peroksidaza (*APX2*) – sitozolik, stress bilan induksiyalanadigan ferment – kuchli yuqori ifodalangan. *SOD1* ifodasi o‘zgarmagan. Bu shuni ko‘rsatadiki, *hMF* da o‘simlik ROS gomeostazini o‘zgartirgan: *RBOHD* orqali ROS ishlab chiqarish kuchaygan, ammo *APX2* orqali samarali detoksifikatsiya qilish tufayli H_2O_2 ning barqaror miqdori past bo‘lgan.

Metabolik kompromiss: himoya yoki hosildorlik?

Umumiy natijalar shuni ko‘rsatadiki, *hMF* o‘simlikda bir qator o‘zgarishlarni keltirib chiqaradi: fotosintez samaradorligi pasayadi, bu NADPH ishlab chiqarilishini kamaytiradi; NADPH ning kamayishi o‘z navbatida menton reduktaza fermenti faolligini cheklab, mentol sintezini inhibe qiladi. Shu bilan birga, o‘simlik APX2 ni kuchaytirib, ROS detoksifikatsiyasiga ko‘proq resurs sarflaydi. Bu esa flavonoidlar (fotoprotektorlar) sinteziga yo‘naltiriladigan uglerod va energiyaning kamayishiga olib keladi. Natijada, o‘simlik qisqa muddatli himoyani (ROS detoksifikatsiyasi) uzoq muddatli samaradorlik va hosildorlikdan (mentol, flavonoidlar) ustun qo‘yadi – bu klassik metabolik kompromiss (trade-off) hisoblanadi.

XULOSA VA TAKLIFLAR.

Ushbu tadqiqot asosida quyidagi xulosalar chiqarildi:

1. Yerning geomagnit maydoni (*GMF*) yaltiz o‘simligi metabolizmini nozik sozlovchi muhim ekologik omil ekanligi aniqlandi. *GMF* ning kamayishi (*hMF*) o‘simlikda sistematik fiziologik va metabolik o‘zgarishlarga olib keladi.
2. *hMF* sharoitida mentol miqdori kamayadi, ammo uning biosintezidagi asosiy genlar paradoksal ravishda yuqori ifodalanadi. Bu transkripsiyadan keyingi bosqichda (ferment faolligining pasayishi) uzilish borligini ko‘rsatadi.
3. *hMF* fotosintez samaradorligini pasaytiradi (F_0, F_j, Fm, Fv, ΦPSII), ayniqsa yuqori yorug‘lik sharoitida. Bu NADPH yetishmovchiligiga va mentol sintezining keyingi bosqichlarining inhibisiyasiga olib keladi.
4. *hMF* da o‘simlik ROS gomeostazini o‘zgartiradi: *APX2* orqali samarali detoksifikatsiya qilish hisobiga H_2O_2 ning barqaror konsentratsiyasi pasayadi, ammo bu resurslarni flavonoid sintezidan chalg‘itadi.
5. *hMF* yaltizda himoya mexanizmlari (ROS detoksifikatsiyasi) va hosildorlik

ISSN 3030-3907

(mentol va flavonoid sintezi) o‘rtasida metabolik kompromissni keltirib chiqaradi.

Amaliy takliflar:

- O‘zbekiston sharoitida yaltiz va boshqa efir moyli o‘simliklarni (rayhon, yalpiz) yetishtirishda *GMF* o‘zgarishlarini (masalan, sun’iy magnit maydonlar yordamida) boshqarish orqali kerakli metabolitlar (mentol, karvon) sintezini kuchaytirish imkoniyatlari o‘rganilsin.
- *hMF* ning o‘simliklarga uzoq muddatli ta’siri va hujayra darajasidagi mexanizmlarini (masalan, magnitoreseptorlarni) aniqlash bo‘yicha fundamental tadqiqotlar tashkil etilsin.
- Qishloq xo‘jaligi amaliyotida magnit maydonlarni (masalan, magnitlangan suv, magnit maydonli issiqxonalar) qo‘llashning iqtisodiy samaradorligi va ekologik xavfsizligi baholansin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Mannino G, Caldo F, Maffei ME. Reduced geomagnetic field modulates photosynthetic electron flow, menthol yield, flavonoid photoprotection and ROS homeostasis in peppermint (Mentha × piperita L.). *Plant Physiology and Biochemistry*. 2026;233:111213. doi: 10.1016/j.plaphy.2026.111213
2. Valet J, Fournier A. Deciphering records of geomagnetic reversals. *Reviews of Geophysics*. 2016;54(2):410-446. doi: 10.1002/2015rg000506
3. Hafeez MB, Zahra N, Ahmad N, et al. Growth, physiological, biochemical and molecular changes in plants induced by magnetic fields: a review. *Plant Biology*. 2023;25(1):8-23. doi: 10.1111/plb.13459
4. Salehi B, Stojanovic-Radic Z, Matejic J, et al. Plants of genus Mentha: from farm to food factory. *Plants*. 2018;7(3):70. doi: 10.3390/plants7030070
5. Maffei ME. Plant quantum biology: the quantum dimension of plant responses to stress. *Plant Stress*. 2025;17:100930. doi: 10.1016/j.stress.2025.100930
6. Maffei ME. Magnetoreception in plants. In: Shoogo U, Tsukasa S, editors. *Bioelectromagnetism. History, Foundations and Applications*. CRC Press; 2022. p. 191-214. doi: 10.1201/9781003181354
7. Agliassa C, Narayana R, Bertea CM, Rodgers CT, Maffei ME. Reduction of the geomagnetic field delays Arabidopsis thaliana flowering time through downregulation of flowering-related genes. *Bioelectromagnetics*. 2018;39(5):361-374. doi: 10.1002/bem.22123
8. Abdi G, Shokrpour M, Salami S. Essential oil composition at different plant growth development of peppermint (Mentha x piperita L.) under water deficit stress. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2019;22(2):431-440. doi: 10.1080/0972060x.2019.1581095
9. Azimychetabi Z, Nodehi M, Moghadam T, Motesharezadeh B. Cadmium stress

alters the essential oil composition and the expression of genes involved in their synthesis in peppermint (Mentha piperita L.). *Industrial Crops and Products*. 2021;168:113602. doi: 10.1016/j.indcrop.2021.113602

10. Caldo F, Mannino G, Maffei ME. Salt stress re-routes terpenoid and flavonoid metabolism in peppermint (Mentha x piperita L.). *Physiologia Plantarum*. 2025;177:e70694. doi: 10.1111/ppl.70694

11. Parmagnani AS, Mannino G, Maffei ME. Transcriptomics and metabolomics of reactive oxygen species modulation in near-null magnetic field-induced Arabidopsis thaliana. *Biomolecules*. 2022;12(12):1824. doi: 10.3390/biom12121824

12. Bicchi C, Maffei M. The plant volatile: methods of analysis. In: Normanly J, editor. *High-Throughput Phenotyping in Plants: Methods and Protocols*. Humana Press; 2012. p. 289-310. doi: 10.1007/978-1-61779-995-2_15

13. Maffei M, Chialva F, Sacco T. Glandular trichomes and essential oils in developing peppermint leaves. *New Phytologist*. 1989;111(4):707-716. doi: 10.1111/j.1469-8137.1989.tb02366.x

14. Lichtenthaler H, Wellburn A. Determination of total carotenoids and chlorophylls A and B of leaf in different solvents. *Biochemical Society Transactions*. 1983;11(5):591-592. doi: 10.1042/bst0110591

15. Mannino G, Kunz R, Maffei ME. Discrimination of green coffee (Coffea arabica and Coffea canephora) of different geographical origin based on antioxidant activity, high-throughput metabolomics, and DNA RFLP fingerprinting. *Antioxidants*. 2023;12(5):1135. doi: 10.3390/antiox12051135

16. Maffei M, Scannerni S. UV-B effect on photomorphogenesis and essential oil composition in peppermint (Mentha piperita L.). *Journal of Essential Oil Research*. 2000;12(5):523-529. doi: 10.1080/10412095.2000.9712150

ISSN 3030-3907

TEXNOLOGIK JARAYONLARNI AVTOMATLASHTIRISHDA NEYRON TARMOQLARNI O‘QITISH QOIDALARINI QO‘LLASH

Sabirov Ulug‘bek Kuchkarovich
Andijon davlat texnika instituti, “Intellektual boshqaruv va robototexnika” kafedrasi professori i.f.n.
E-mail: uqsabirovasu1951@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishda sun’iy neyron tarmoqlarni o‘qitish qoidalarining qo‘llanilishi o‘rganilgan. Neyron tarmoqlarning asosiy o‘qitish algoritmlari — gradient tushish, xatolikni minimallashtirish, Hebb o‘qitish qoidasi hamda backpropagation algoritmi tahlil qilindi. Tadqiqotda texnologik jarayonlarni boshqarish misolida neyron tarmoqlarning ishlash prinsipi va ularni o‘qitish jarayoni ko‘rib chiqildi. Shuningdek, sanoat jarayonlarini modellashtirish va optimallashtirishda neyron tarmoqlarning samaradorligi ilmiy manbalar asosida baholandi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, neyron tarmoqlar murakkab va nochiziqli texnologik tizimlarni modellashtirish va boshqarishda samarali vosita hisoblanadi.

Kalit so‘zlar: neyron tarmoq, texnologik jarayon, avtomatlashtirish, mashinaviy o‘rganish, backpropagation, adaptiv boshqaruv.

Аннотация. В данной статье исследуется применение правил обучения искусственных нейронных сетей при автоматизации технологических процессов. Проанализированы основные алгоритмы обучения нейронных сетей — градиентный спуск, минимизация ошибки, правило обучения Хебба и алгоритм обратного распространения ошибки (backpropagation). В исследовании на примере управления технологическими процессами рассмотрены принцип работы нейронных сетей и процесс их обучения. Кроме того, на основе научных источников оценена эффективность нейронных сетей при моделировании и оптимизации промышленных процессов. Результаты исследования показывают, что нейронные сети являются эффективным инструментом для моделирования и управления сложными и нелинейными технологическими системами.

Ключевые слова: нейронная сеть, технологический процесс, автоматизация, машинное обучение, backpropagation, адаптивное управление.

Abstract. This article examines the application of artificial neural network training rules in the automation of technological processes. The main neural network training algorithms — gradient descent, error minimization, the Hebbian learning rule, and the backpropagation algorithm — are analyzed. The study considers the operating principles of neural networks and their training process using the example of technological process control. In addition, the effectiveness

ISSN 3030-3907

of neural networks in modeling and optimizing industrial processes is evaluated based on scientific sources. The research results show that neural networks are an effective tool for modeling and controlling complex and nonlinear technological systems.

Keywords: neural network, technological process, automation, machine learning, backpropagation, adaptive control.

KIRISH.

Sanoat jarayonlarini avtomatlashtirish zamonaviy ishlab chiqarish tizimlarining muhim tarkibiy qismi hisoblanadi. Murakkab texnologik jarayonlarni boshqarishda an'anaviy matematik modellar ko'pincha yetarli aniqlikni ta'minlay olmaydi. Buning asosiy sababi ko'plab texnologik tizimlarning nochiziqli, ko'p parametrli va dinamik xarakterga ega bo'lishidir.

So'nggi yillarda ushbu muammolarni hal qilish uchun sun'iy neyron tarmoqlar (Artificial Neural Networks – ANN) keng qo'llanilmoqda. Neyron tarmoqlar katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlash, yashirin bog'lanishlarni aniqlash hamda jarayon parametrlarini optimallashtirish imkonini beradi.

Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, ko'p qatlamli neyron tarmoqlar yetarli miqdordagi neyronlar mavjud bo'lganda istalgan murakkab funksiyani yaqinlashtira oladi [1].

Sanoat avtomatlashtirishida neyron tarmoqlar quyidagi vazifalarni bajarishda qo'llaniladi:

- texnologik jarayonlarni modellashtirish;
- jarayon parametrlarini bashorat qilish;
- avariya holatlarini aniqlash;
- adaptiv boshqaruvni amalga oshirish.

Ilmiy tadqiqotlar neyron tarmoqlar kimyo sanoati, energetika, metallurgiya va ishlab chiqarish tizimlarida jarayonlarni identifikatsiya qilish hamda optimal boshqarishda samarali qo'llanilayotganini ko'rsatadi [2].

Ushbu maqolaning maqsadi texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishda neyron tarmoqlarni o'qitish qoidalarini tahlil qilish hamda ularning amaliy samaradorligini baholashdan iborat.

MATERIALLAR VA USULLAR.

1. Neyron tarmoq modeli. Ko'p qatlamli perceptron (MLP) modeli quyidagi qatlamlardan tashkil topadi:

- kirish qatlam;
- yashirin qatlamlar;
- chiqish qatlam.

Neyronning matematik modeli quyidagi ko'rinishga ega:

$$y = f\left(\sum_{i=1}^{n} w_i x_i + b\right).$$

ISSN 3030-3907

Bu yerda:

- x_i — kirish signallari;
- w_i — og‘irlik koeffitsiyentlari;
- b — siljitish parametri;
- $f(\cdot)$ — aktivatsiya funksiyasi.

Ushbu model yordamida kirish signallari chiziqli kombinatsiya orqali qayta ishlanadi va aktivatsiya funksiyasi orqali chiqish qiymati hosil qilinadi.

2. Neyron tarmoqlarni o‘qitish algoritmlari.

2.1. Xatolikni minimallashtirish qoidasi. Neyron tarmoq chiqishi bilan kerakli chiqish o‘rtasidagi farq xatolik funksiyasi orqali baholanadi:

$$E = \frac{1}{2}(y_d - y)^2.$$

Bu yerda:

- E — xatolik funksiyasi;
- y_d — kerakli chiqish;
- y — model chiqishi.

Algoritm bosqichlari:

- kirish ma’lumotlari tarmoqqa uzatiladi;
- chiqish qiymati hisoblanadi;
- kerakli qiymat bilan solishtiriladi;
- xatolik aniqlanadi;
- og‘irlik koeffitsiyentlari yangilanadi.

Masalan, kimyoviy reaktorda kerakli harorat 500°C, modelning chiqishi 480°C bo‘lsa, tizim og‘irliklarni shunday yangilaydiki, keyingi iteratsiyada chiqish qiymati kerakli qiymatga yaqinlashadi.

2.2. Gradientli tushish algoritmi. Gradientli tushish algoritmi xatolik funksiyasining gradienti bo‘yicha og‘irliklarni yangilaydi:

$$w_{new} = w_{old} - \eta\frac{\partial E}{\partial w}.$$

Bu yerda:

- w — og‘irlik koeffitsiyenti;
- η — o‘qitish tezligi;
- $\frac{\partial E}{\partial w}$ — xatolik gradienti.

Ushbu algoritm quyidagi bosqichlarda ishlaydi:

- forward propagation;
- xatolikni hisoblash;
- gradientni aniqlash;
- og‘irliklarni yangilash.

ISSN 3030-3907

Masalan, issiqlik almashinuv apparatida bug‘ sarfi, suv harorati va bosim kabi parametrlar asosida chiqish haroratini bashorat qilish mumkin.

2.3. Hebb o‘qitish qoidasi. Hebb qoidasi biologik neyronlarning ishlash prinsipi asosida ishlab chiqilgan. Ushbu qoidaga ko‘ra, agar ikki neyron bir vaqtda faollashsa, ular orasidagi bog‘lanish kuchayadi.

$$\Delta w_{ij} = \eta x_i y_j.$$

Bu yerda:

- x_i — kirish signali;
- y_j — chiqish signali;
- η — o‘rganish koeffitsiyenti.

Masalan, elektr dvigatel monitoring tizimida tok, vibratsiya va harorat sensorlari orqali nosozlik belgilarini aniqlash mumkin.

2.4. Raqobatli o‘qitish algoritmi. Raqobatli o‘qitish algoritmi klasterlash masalalarida qo‘llaniladi. Ushbu usulda kirish signaliga eng yaqin neyron g‘olib bo‘ladi va faqat shu neyron o‘rganadi.

Algoritm bosqichlari:

- kirish vektori beriladi;
- neyronlar orasidagi masofa hisoblanadi;
- eng yaqin neyron aniqlanadi;
- og‘irliklar yangilanadi.

Masalan, gaz turbinalarida ishlash rejimlarini avtomatik klassifikatsiya qilishda qo‘llanilishi mumkin.

2.5. Backpropagation algoritmi. Backpropagation ko‘p qatlamli neyron tarmoqlarni o‘qitishda eng keng tarqalgan algoritm hisoblanadi.

Algoritm bosqichlari:

- forward propagation;
- xatolikni hisoblash;
- xatolik gradientini orqaga uzatish;
- og‘irliklarni yangilash.

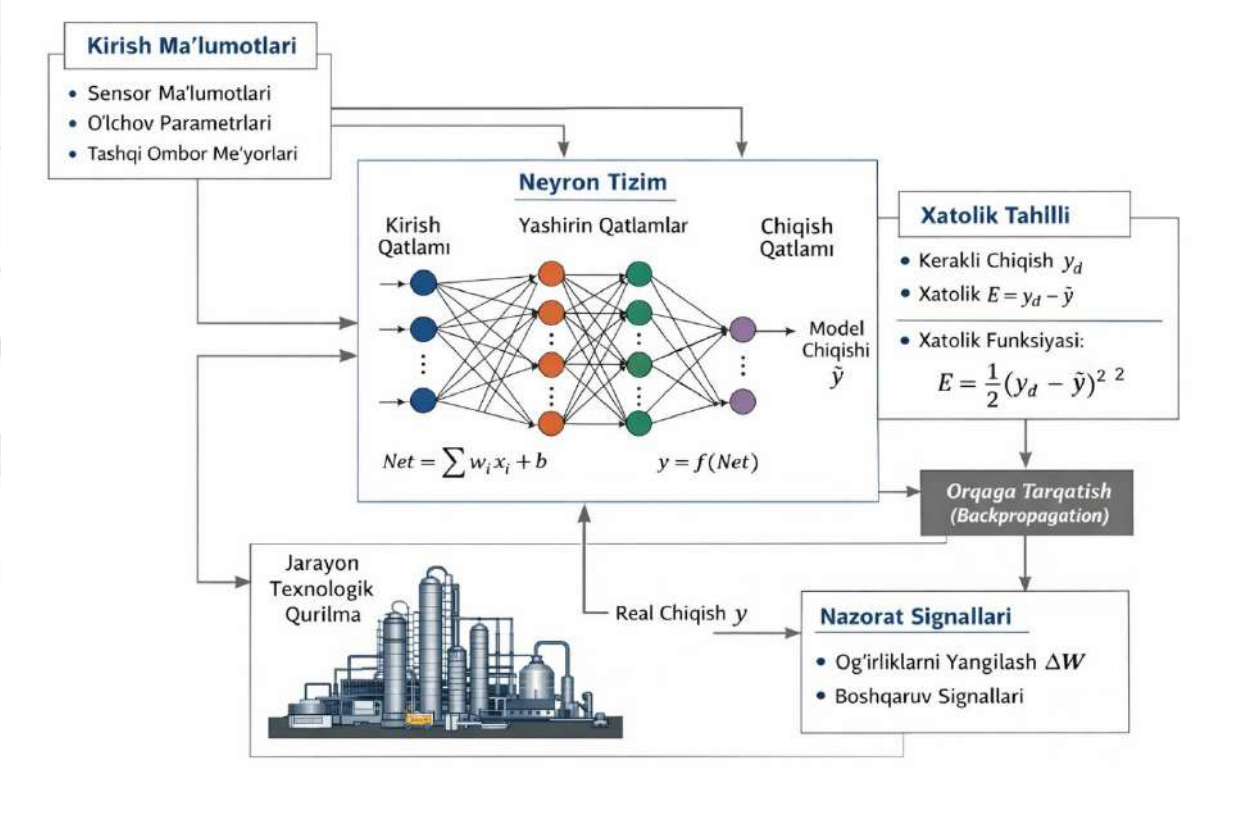
Ushbu algoritm gradient tushish usuliga asoslangan bo‘lib, murakkab ko‘p qatlamli tarmoqlarni samarali o‘qitish imkonini beradi [3].

3. Texnologik jarayonlar uchun umumiy o‘qitish sxemasi (1-rasm). Sanoat ishlab chiqarishini avtomatlashtirishida neyron tarmoq asosidagi boshqaruv tizimi quyidagi ketma-ket bosqichlarda ishlaydi:

- sensorlardan ma’lumot yig‘ish;
- ma’lumotlarni oldindan qayta ishlash;
- neyron tarmoq orqali parametrlarni bashorat qilish;
- xatolikni hisoblash;

ISSN 3030-3907

•model parametrlarini yangilash;
•optimal boshqaruv signalini hosil qilish.



1-rasm. Texnologik jarayonlar uchun umumiy o‘qitish sxemasi.

Mazkur sxema texnologik jarayonni yopiq konturli adaptiv boshqaruv tizimi sifatida tashkil etishga imkon beradi. Sensorlardan olingan ma’lumotlar asosida neyron tarmoq jarayon parametrlarini bashorat qiladi. Agar bashorat natijasi bilan kerakli qiymat o‘rtasida farq aniqlansa, tizim og‘irlik koeffitsiyentlarini yangilaydi va boshqaruv signallarini optimallashtiradi. Natijada energiya sarfi kamayadi, mahsulot sifati oshadi va jarayon barqarorligi ta’minlanadi.

NATIJALAR.

O‘tkazilgan tadqiqotlar quyidagi natijalarni ko‘rsatdi:

1. Neyron tarmoqlar murakkab texnologik jarayonlarni yuqori aniqlik bilan modellashtira oladi.

2. Gradientli tushish algoritmi model parametrlarini samarali optimallashtiradi.

3. Backpropagation algoritmi ko‘p qatlamli tarmoqlarni o‘qitishda yuqori samaradorlikka ega.

Ba’zi tadqiqotlarda sanoat jarayonlarida neyron tarmoqlar yordamida bashorat xatoligi 11 % dan 2 % gacha kamaygani qayd etilgan [4].

ISSN 3030-3907

MUHOKAMA. Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, neyron tarmoqlar sanoat jarayonlarini boshqarishda katta imkoniyatlarga ega. Masalan:

- neyron tarmoqlar model predictive control tizimlarida qo‘llanilishi mumkin [5];
- kimyoviy reaktorlarni boshqarishda neyron tarmoq asosidagi MPC samarali natija beradi [6];
- energetika tizimlarida barqarorlikni boshqarishda ham keng qo‘llaniladi [7].

Shunga qaramay, ayrim tadqiqotlar neyron tarmoqlarning sanoat jarayonlarida qo‘llanishi ba’zi cheklovlarga ega ekanligini ham ko‘rsatadi. Masalan, ayrim holatlarda klassik holat-fazo modellarining bashorat aniqligi yuqoriroq bo‘lishi mumkin [8]. Bundan tashqari, sanoat tizimlari uchun neyron tarmoqlarning ishonchlilik mezonlarini ishlab chiqish ham dolzarb masalalardan biridir [9].

XULOSA. Tadqiqot natijalari quyidagi xulosalarni ko‘rsatadi:

1. Neyron tarmoqlar murakkab texnologik jarayonlarni modellashtirishda samarali vosita hisoblanadi.
2. Backpropagation algoritmi sanoat boshqaruv tizimlarida eng keng qo‘llaniladigan o‘qitish usuli hisoblanadi.
3. Neyron tarmoqlar yordamida jarayon parametrlarini bashorat qilish aniqligi sezilarli darajada oshadi.
4. Kelajakda sanoat avtomatlashtirishida sun’iy intellekt asosidagi boshqaruv tizimlarining roli yanada ortadi.

ADABIYOTLAR

1. Hornik K., Stinchcombe M., White H. Multilayer feedforward networks are universal approximators. Neural Networks, 1989. https://doi.org/10.1016/0893-6080(89)90020-8 (ScienceDirect)
2. Willis M., Montague G. Artificial neural networks in process estimation and control. Automatica, 1997. https://doi.org/10.1016/S0005-1098(96)00154-9
3. Rumelhart D., Hinton G., Williams R. Learning representations by back-propagating errors. Nature, 1986. https://doi.org/10.1038/323533a0
4. Lawrence N. Machine learning for industrial sensing and control. ScienceDirect. https://www.sciencedirect.com
5. González C. Neural networks for fast optimization in model predictive control. arXiv. https://arxiv.org/abs/2003.04216
6. Kiš K. Neural network based MPC for chemical reactor control. arXiv. https://arxiv.org/abs/2103.01542
7. Yousefian R. Neural network approaches for stability control in energy systems. arXiv. https://arxiv.org/abs/2104.03054

ISSN 3030-3907

8. Vyatkin V. Intelligent automation systems in industry. MDPI. https://www.mdpi.com
9. Emmanouilides C. Neural network control of industrial processes. Springer. https://link.springer.com

ISSN 3030-3907

УДК: 622.245.6

НЕОБХОДИМОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАСШИРЯЮЩЕГОСЯ ВОЛОКНИСТОГО ТАМПОНАЖНОГО РАСТВОРА ДЛЯ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОЙ ЧАСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

Айтмуратов Шарапат Азатович
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова
Комилов Толиб Олимович
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова
Орипов Азиз Аброрович
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова
Умедов Шерали Халлокович
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова

Annotatsiya. Zamonaviy ishlab chiqarishlarning paydo bo‘lishi uglevodorod resurslariga bo‘lgan ehtiyojning ortishiga olib kelmoqda. Shu sababli, ko‘p qatlamli konning mahsuldor qatlamining yotish oralig‘ida kolonnalararo bo‘shliqning germetikligini ta’minlash uchun sementlashning yangi texnologiyalarini joriy etish zarurati hozirgi kunning eng dolzarb vazifalaridan biri hisoblanadi. Shu munosabat bilan, maqolada mahsuldor qatlam oralig‘ida kolonna orti bo‘shlig‘ining germetikligini ta’minlash uchun tolali, kengayish xususiyatiga ega tamponaj eritmasining yangi tarkibi keltirilgan. O‘tkazilgan laboratoriya tadqiqotlari natijasida tolali, kengayish xususiyatiga ega tamponaj eritmasining tarkibi ishlab chiqildi va olingan natijalar mavjud tamponaj eritmalari bilan taqqoslandi.

Kalit so‘zlar: akustik nazorat, yuqori mahsuldor, qotish, kolonna orti bo‘shliq, yuqori o‘tkazuvchanlik, germetik emaslik, sement toshi, ilashish, yuqori yoriqli.

Аннотация. Появление современных производств приводит к увеличению потребности в углеводородных ресурсах. Поэтому одними из наиболее актуальных задач современности является необходимость внедрения новых технологий цементирования для обеспечения герметичности межколонного пространства в интервале залегания продуктивного пласта многопластового месторождения. В связи с этим в статье приведено состав новой рецептуры тампонажного раствора расширяющегося волокнистого свойством для обеспечения герметичности заколонного пространства в интервале продуктивного пласта. В результате проведенных лабораторных

ISSN 3030-3907

исследований был разработан состав тампонажного раствора расширяющегося волокнистого и полученные результаты сравнивались с данными о применяемых тампонажных растворах.

Ключевые слова: акустический контроль, высокопродуктивный, затвердения, межколонное пространства, высокопроницаемый, негерметичность, цементный камень, сцепления, высокотрещиноватый.

Abstract. The emergence of modern industries leads to an increase in the demand for hydrocarbon resources. Therefore, one of the most pressing tasks of our time is the necessity of implementing new cementing technologies to ensure the airtightness of the intercolumn space within the productive layer of a multi-layer deposit. In this regard, the article presents the composition of a new prescription for an expanding fibrous tamponade solution to ensure the airtightness of the post-column space within the productive layer interval. As a result of the conducted laboratory studies, the composition of the expanding fibrous tamponade solution was developed, and the results obtained were compared with the data on the applied tamponade solutions.

Keywords: acoustic control, high productivity, hardening, column-to-column space, high permeability, non-tightness, cement stone, clutches, high-crack.

ВВЕДЕНИЕ.

Устюртский регион характеризуется преимущественным распространением газовых месторождений, что обусловливает повышенную вероятность возникновения межколонных газопроявлений при бурении и эксплуатации скважин. В этих условиях особую актуальность приобретают вопросы изучения причин возникновения газопроявлений и разработки эффективных методов их предупреждения. Одной из основных причин возникновения межколонных газопроявлений является негерметичность резьбовых соединений эксплуатационной колонны [1]. Нарушение герметичности элементов конструкции скважины создает условия для миграции газа в затрубное пространство. Проникновение газа в ствол скважины и межколонное пространство может происходить при различных геолого-технических условиях. К основным из них относятся: снижение гидростатического давления столба промывочной жидкости ниже пластового давления, что вызывает приток газа в скважину; разбуривание газонасыщенных пластов, сопровождающееся поступлением газа вместе с выбуренной породой; а также наличие дефектов цементного камня и заколонного пространства. Особую опасность представляют газопроявления, возникающие в процессе цементирования обсадных колонн и в период ожидания затвердевания цемента (ОЗЦ). Анализ буровых работ в западной части Узбекистана за последние 8–10 лет показывает, что

ISSN 3030-3907

в этот период было зафиксировано около 10 открытых газовых фонтанов и более 50 случаев газопроявлений. По данным ряда исследователей, движение газа возможно даже при относительно высокой плотности бурового раствора, что указывает на сложный механизм данного процесса. Следует отметить, что процессы проникновения флюидов в затрубное пространство до настоящего времени изучены недостаточно полно, а существующие представления о причинах и механизмах миграции газа во многом носят противоречивый характер. Проникновение газа в затрубное пространство возможно по следующим основным путям: через негерметичности резьбовых соединений обсадных колонн; через негерметичности колонной головки; вследствие нарушений целостности обсадной колонны; а также по каналам, формирующимся в цементном камне. Анализ работ различных исследователей показывает наличие различных подходов к объяснению природы межколонных газопроявлений. После бурения скважины ее ствол крепится обсадными колоннами, которые цементируются с использованием тампонажных растворов с различными добавками. По мере твердения цементный раствор превращается в цементный камень, который должен обеспечивать надежную изоляцию пластов и герметичность затрубного пространства. Основными функциями цементного камня являются разобщение проницаемых пластов, предотвращение межпластовых перетоков, защита продуктивных горизонтов от загрязнения минерализованными водами, а также предотвращение миграции пластовых флюидов. Таким образом, анализ существующих исследований показывает, что межколонные газопроявления обусловлены совокупностью геолого-технических и технологических факторов, ключевыми из которых являются нарушения герметичности элементов конструкции скважины и образование каналов в цементном камне. Это подтверждает необходимость применения комплексного подхода к их предупреждению, включающего совершенствование технологий цементирования, контроль качества крепления скважин и оптимизацию параметров буровых растворов [2].

В пробуренный ствол они цементируются с помощью тампонажного цемента с облегчающими или утяжеляющими добавками, который по истечении времени затвердевает, превращается в твёрдый тампонажный камень и должен выполнять следующие задачи, разобщать проницаемые пласты друг от друга для защиты от загрязнения минерализованными водами, содержащимися в соседних пластах, и проникновения пластового флюида в соседние пласты.

ISSN 3030-3907

Защищать спущенную эксплуатационную колонну от коррозии при длительном воздействии на неё пластовых вод.

Обеспечить герметичность кольцевого пространства путем вытеснения из него бурового раствора тампонажным раствором с последующим затвердением. Удерживать эксплуатационную колонну в скважине столбом затвердевшего тампонажного камня, находящимся в кольцевом пространстве.

Однако результаты цементирования и записи АКЦ (акустического контроля цементирования) показывают, что качество цементирования не всегда удается достигнуть по следующим причинам [2].

Замена бурового раствора из кольцевого пространства тампонажным раствором не удается полностью из-за образования больших каверн при бурении скважины, расположения обсадных колонн не по центру скважины и др. Появление трещины в тампонажном камне при твердении и перфорации.

Отсутствие «хорошего» сцепления тампонажного камня с поверхностью горной породы из-за наличия на поверхности фильтрационной корки.

Образование флюидопроводящих каналов на газовых месторождениях во время ОЗЦ (ожидания затвердевания цемента) и др.

Исходя из этого, изучены причины некачественного цементирования эксплуатационной колонны на законченных скважинах. Данные по законченным скважинам приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что для изучения сцепления тампонажного камня с обсадной колонной и с горной породой были выбраны скважины, законченные строительством в различных структурах месторождений Республики.

Из изученных скважин «хорошее» сцепление тампонажного камня с поверхностью эксплуатационной колонны имеют от **3,63%** до **29,8%**, а с горной породой — от **2,49%** до **4,69%**. Кроме того, «хорошее» сцепление просматривается на скважине №435 месторождения Кукдумалак — **64,18%** и скважине №1 Сагиртау — **100%**. Во всех остальных скважинах герметичность сцепления не удовлетворяет требованиям.

Исходя из этого, такие сцепления, приведенные в таблице №1, не обеспечивают герметичность межколонного пространства в интервале продуктивного пласта эксплуатационной колонны.

Кроме того, для извлечения нефти и газа из пласта, с целью обеспечения сообщения между пластом и стволом скважины, эксплуатационную колонну и цементный камень перфорируют.

ISSN 3030-3907

Таблица 1.

Высокотрещиноватая, высокопроницаемая часть продуктивного пласта

Характеристика отложений продуктивного пласта	Рекомендуемые интервалы перфорации
Над рифовые отложения продуктивного пласта	Высокотрещиноватые, высокопроницаемые и высокопродуктивные интервалы продуктивного пласта
	Перфорация производится на 15-20 м выше подошвы над рифовых отложений.
Рифовые отложения продуктивного пласта	Высокотрещиноватые, высокопроницаемые и высокопродуктивные интервалы продуктивного пласта
	Перфорация производится на 15-20 м выше подошвы рифовых отложений.
Под рифовые отложения продуктивного пласта	Перфорация производится на 15-20 м ниже подошвы рифовых отложений
	Высокотрещиноватые, высокопроницаемые и высокопродуктивные интервалы продуктивного пласта

По мнению авторов [1, 2, 3], тампонажный камень, расположенный в заколонном пространстве, может разрушаться при перфорации. А в прилегающих интервалах в тампонажном камне могут образовываться трещины, в результате которых дополнительно нарушается герметичность заколонного пространства.

ISSN 3030-3907

Таблица 2.

Рекомендуемые интервалы перфорации

Наименование площадей и месторождений	Номера скважин	Диаметр обсадной колонны, мм	Интервал использования по	Сцепление тампонажного камня с	Сцепление тампонажного камня с	Сцепление тампонажного камня с	Сцепление тампонажного камня с	% хорошего сцепления (Колонна)	Сцепление тампонажного камня с	Сцепление тампонажного камня с	Сцепление тампонажного камня с	Сцепление тампонажного камня с	% хорошего сцепления (Порода)
Ойдин	3	139,7	30 - 2792	118	114	-	2230	4,27	-	-	-	-	Нет данных
Сагиртау	1	139,7	50 - 3492	508	111	150	2673	14,76	431	0	0	0	100
Алан	164	139,7	18 - 2744	100	242	1384	1000	3,67	-	-	-	-	Нет данных
Северный Уртабулак	120	139,7	50 - 2484	153	952	-	1349	6,2	155	120	-	172	10,38
Кокдумалак	433	139,7	57 - 3080	102	272	-	2649	3,37	70	59	-	723	8,2
Кокдумалак	435	139,7x168,3	60 - 3075	189	1204	-	1662	6,19	138	71	-	6,0	64,18

ISSN 3030-3907

Алан	126	139,7	55-2757	126	231	-	2375	4,1	126	223	-	170	24,28
Гирсан	27	127 x 139,7	40-2893	925	547	-	1419	31,99	-	92	-	153	0
Алан	112	139,7	12-2715	181	600	-	1921	6,7	37	246	5	201	7,6
Рубои	1	127 x 139,7	15-3579	266	269	373	2604	7,58	20	95	132	556	2,49
Рубои	1	127 x 139,7	15-3579	266	269	373	2604	7,58	20	95	132	556	2,49
Мезон	4	139,7	20-3205	91	101	98	95	10,84	36	26	98	85	14,69
Чилвар	7	139,7	3551	667	889	1109	886	18,78	9	38	138	7	4,68
Алан	115	139,7	16-2741	98	836	735	936	3,76	-	-	-	-	Нет данных
Янги Каратепа	15	127 x 139,7	19-2620	760	1132	-	658	29,8	-	-	-	-	Нет данных

ISSN 3030-3907

Образованным трещинам в тампонажном камне и негерметичности заколонного пространства может проникать пластовый флюид в вышележащие проницаемые пласты или к устью скважины.

Если это нефтяные скважины, то при их эксплуатации происходит преждевременное обводнение вследствие подтягивания подошвенных и законтурных вод из пласта [4-6].

Поэтому нефтегазосодержащие пласты, имеющие различные коэффициенты пористости и трещиноватости по разрезу, с целью обеспечения равномерной эксплуатации пласта, целесообразно проводить избирательную перфорацию продуктивного пласта на каждой скважине.

Многие месторождения в Республике Узбекистан имеют пласты с повышенной трещиноватостью, и они могут в процессе эксплуатации привести к интенсивному извлечению нефти и газа из высокопроницаемой части пласта и способствовать притоку пластовых вод к стволу скважины. Расположение высокотрещиноватой, высокопроницаемой и высокопродуктивной части пласта схематично приведено в Таблице №2.

Однако, по данным авторов [2, 3] при перфорационных работах тампонажный камень разрушается, а в прилегающих интервалах к перфорации образуются трещины, по которым проходит нефть или газ в вышележащие проницаемые пласты или к устью скважины.

Для решения этой проблемы нами предложено цементировать нижнюю часть эксплуатационной колонны расширяющимся тампонажным цементным раствором с добавлением волокон хвоста [7, 8].

Армированный тампонажный расширяющийся волокнистый портландцементный раствор должен содержать:

- Расширяющиеся добавки в количестве 5-10% от массы цемента (1, с 34-36; 4, с 45-47);
- Волосы «хвостов» длиной 20,0 мм, являющиеся отходом производства;
- Плотность «хвостов» должна составлять 1,13–1,15 г/см³;
- Температура плавления «хвостов» должна составлять 50–150 °C;
- Предел прочности: на растяжение 60,0–65,0 МПа, а на изгиб 90,0 МПа.

Проведенные лабораторные исследования такого состава расширяющегося тампонажного раствора приведены в таблице №3.

Таблица 3

Параметры расширяющегося тампонажного раствора для ударостойкости тампонажного камня

ISSN 3030-3907

Содержание «хвостов» в виде волокна в растворе, %	В/Ц	Растекаемость при В/Ц=0,5, см	Плотность раствора, г/см³	Прочность на изгиб через 7 суток, МПа
-	0,5	21	1,83	5,7
1	0,5	20	1,82	4,8
2	0,5	19	1,81	4,0
3	0,5	14	1,80	3,75

Из таблицы №3 видно, что при содержании в расширяющемся тампонажном растворе 1-3% в виде волокна «хвоста» при В/Ц = 0,5 снижаются: растекаемость с 21 см до 14 см, плотность раствора с 1,83 г/см³ до 1,80 г/см³, а прочность на изгиб через 7 суток твердения с 5,7 МПа до 3,75 МПа.

Таким образом, на основании данных, приведенных в таблице №3, свидетельствует о том, что содержание в тампонажном растворе более 1–2% волокон из хвостов влияет на снижение параметров тампонажного раствора. Содержание в тампонажном растворе 1–2% повышает ударостойкость тампонажного камня.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хасанов Т.Р., Карев Г.Г. и др. Новая технология. Крепление скважин на ПХГ «Бурение газовых и газоконденсатных скважин», 1979, №3, 7-11 стр.
2. Матякубов М.Ю., Хасанов Т.Р. и др. К вопросу повышения герметичности заколонного пространства на ПХГ. «Бурение газовых и газоконденсатных скважин», 1980, №6, 17-22 стр.
3. Применение армированного тампонажного цемента при цементировании газовых скважин / Хасанов Т.Р., Борисенко Л.А., Матякубов М.Ю. и др. — Бурение газовых и морских нефтяных скважин.
4. Справочник инженера по бурению /Под ред. Мищевича В.И., Сидорова Н.А.- М.: Издательство «НЕДРА», 1973 г. С. 398.
5. Акрамов Б.Ш., Умедов Ш.Х., Комилов Т.О., Мирсаатова Ш.Х. Вскрытие продуктивного пласта с применением пен // Технологии нефти и газа. Научно-технический журнал. – М., 2017 г. №4. С.35–39.
6. Акрамов Б.Ш., Комилов Т.О. и др. (Отчёт) ИОТ-2016-8-4 Внедрение нового состава ПАВ на основе местного сырья при вторичном вскрытии продуктивного горизонта» // Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова. – Ташкент, 2018 г. – 180 с.

ISSN 3030-3907

7. Komilov T.O., Ruzmanov F.I., Ashurov B.N., Umedov Sh.X. Landslide formation analysis during well drilling // Palarch's Journal Of Archaeology Of Egypt/Egyptology. vol. 17 No. 6.2020. - P. 3494-3499.
8. Умедов Ш.Х., Ураков Ш.Ш., Ашуров Б.Н., Нуритдинов Ж.Ф. Исследование влияния нового полимерного водорастворимого реагента на свойства утяжеленного бурового раствора // Узбекский журнал нефти и газа. – Ташкент, 2013. – №1. - С. 22-24.

ISSN 3030-3907

AXBOROTNI INTELLEKTUAL QIDIRISHDA RAMZIY VA SUB-SIMVOLIK YONDASHUVLARNING QIYOSIY TAHLILI HAMDA GIBRID MODELGA BO‘LGAN EHTIYOJ

Absalamova Diyora Bo‘riboyevna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti tayanch doktoranti
E-mail: d.absalamova@tsue.uz

Annotatsiya. Maqolada intellektual muloqot tizimlarida axborotni qidirish va bilimlarni ifodalashning ikki asosiy yondashuvi — ramziy va sub-simvolik paradigmalar qiyosiy tahlil qilinadi. Har bir yondashuvning nazariy asoslari, kuchli va kuchsiz tomonlari ko‘rib chiqiladi. Ramziy yondashuvning aniqligi va talqin qilinuvchanligi hamda sub-simvolik yondashuvning leksik bardoshliligi va moslashuvchanligi asoslanadi. Ikki paradigmaning o‘zaro to‘ldiruvchanligi ko‘rsatilib, ularni yagona gibrid ontologik-generativ modelda birlashtirishning nazariy zarurati asoslanadi. Tahlil natijalari kam resursli tillar uchun ishonchli muloqot tizimlarini yaratishda ahamiyatli hisoblanadi.

Kalit so‘zlar: intellektual muloqot tizimi, bilimlarni ifodalash, ramziy yondashuv, sub-simvolik yondashuv, vektorli qidiruv, ontologiya, gibrid model, neyro-simvolik integratsiya.

Аннотация. В статье проводится сравнительный анализ двух основных подходов к поиску информации и представлению знаний в интеллектуальных диалоговых системах — символьной и субсимвольной парадигм. Рассматриваются теоретические основы, сильные и слабые стороны каждого подхода. Обосновываются точность и интерпретируемость символьного подхода, а также лексическая устойчивость и гибкость субсимвольного подхода. Показана взаимодополняемость двух парадигм и обоснована теоретическая необходимость их объединения в единую гибридную онтолого-генеративную модель. Результаты анализа значимы для создания надёжных диалоговых систем для малоресурсных языков.

Ключевые слова: интеллектуальная диалоговая система, представление знаний, символьный подход, субсимвольный подход, векторный поиск, онтология, гибридная модель, нейро-символьная интеграция.

Abstract. The article provides a comparative analysis of the two main approaches to information retrieval and knowledge representation in intelligent dialogue systems — the symbolic and sub-symbolic paradigms. The theoretical foundations, strengths and weaknesses of each approach are examined. The accuracy and interpretability of the symbolic approach, as well as the lexical robustness and flexibility of the sub-symbolic approach, are substantiated. The complementarity of the two paradigms is shown, and the theoretical necessity of

combining them into a single hybrid ontological-generative model is justified. The results of the analysis are significant for creating reliable dialogue systems for low-resource languages.

Keywords: intelligent dialogue system, knowledge representation, symbolic approach, sub-symbolic approach, vector retrieval, ontology, hybrid model, neuro-symbolic integration.

KIRISH.

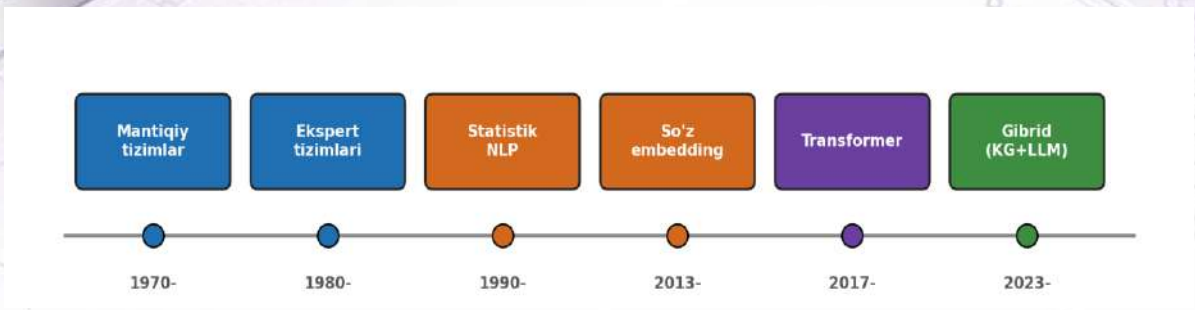
Zamonaviy intellektual muloqot tizimlarining markaziy vazifasi katta hajmdagi tabiiy tildagi ma’lumotlardan foydalanuvchiga zarur bilimni aniq va ishonchli tarzda yetkazib berishdir. Bu vazifani hal qilish uchun bilimni mashina tomonidan qayta ishlanadigan shaklda ifodalash va undan samarali qidirish mexanizmlarini qurish talab etiladi [1]. Tarixan ushbu masala ikki yirik paradigma — ramziy va sub-simvolik yondashuvlar doirasida rivojlangan.

Ramziy yondashuv bilimni diskret belgilar va qat’iy mantiqiy qoidalar orqali ifodalaydi, sub-simvolik yondashuv esa bilimni uzluksiz sonli fazodagi vektorlar ko‘rinishida taqdim etadi. So‘nggi yillarda generativ til modellarining keng tarqalishi sub-simvolik yondashuvni yangi bosqichga olib chiqdi, biroq ayni paytda faktik aniqlik va ishonchlilik muammosini ham keltirib chiqardi [5]. Ushbu maqolaning maqsadi ikki paradigmani qiyosiy tahlil qilish va ularni birlashtiruvchi gibrid yondashuvga bo‘lgan nazariy ehtiyojni asoslashdan iborat.

Mavzuning dolzarbligi bir necha omil bilan belgilanadi. Birinchidan, generativ modellar keng qo‘llanila boshlagani sari ularning manbalar bilan tasdiqlanmagan javoblar berishi amaliy va etik muammoga aylanmoqda, ayniqsa huquq, tibbiyot va ta’lim kabi ma’lumotga boy sohalarda. Ikkinchidan, o‘zbek tili kabi kam resursli tillar uchun yirik oldindan o‘rgatilgan modellar va katta korpuslar cheklangan bo‘lib, bu sof sub-simvolik yondashuvning samaradorligini pasaytiradi. Uchinchidan, ramziy bilimni (ontologiya, bilimlar grafi) generativ modellar bilan birlashtirish bo‘yicha yaxlit metodologiya hali yetarlicha ishlab chiqilmagan. Ushbu omillar ikki paradigmaning qiyosiy tahlili va ularni birlashtirish yo‘llarini o‘rganishni dolzarb vazifaga aylantiradi.

Axborotni qidirish va bilimlarni ifodalash usullarining tarixiy rivojlanishi ikki paradigmaning o‘zaro almashinuvi va yaqinlashuvi jarayonini aks ettiradi. Ushbu rivojlanishning asosiy bosqichlari 1-rasmda keltirilgan.

ISSN 3030-3907



1-rasm. Axborotni qidirish va bilimlarni ifodalash paradigmalarining rivojlanish bosqichlari

Rasmdan koʻrinadiki, dastlabki bosqichlarda ramziy yondashuv (mantiqiy va ekspert tizimlari) hukmron boʻlgan, soʻngra statistik va neyron usullar sub-simvolik yondashuvni oldingi oʻringa olib chiqgan, soʻnggi bosqichda esa bilimlar grafi va katta til modellarini birlashtirgan gibrid yondashuvlar shakllanmoqda. Bu tarixiy tendensiya gibrid yondashuvning tabiiy va qonuniy rivojlanish bosqichi ekanligini koʻrsatadi.

Tadqiqot metodologiyasi sifatida qiyosiy nazariy tahlil va formal-matematik modellashtirish usullari qoʻllanildi. Har bir yondashuv uning ifoda kuchi, hisoblash xususiyatlari va amaliy cheklovlari nuqtai nazaridan baholandi. Tahlil mavzuga oid xalqaro ilmiy adabiyotlar — qidiruv bilan boyitilgan generatsiya, ta’riflash mantigʻi, bilimlar graflari va neyro-simvolik integratsiya yoʻnalishidagi nufuzli manbalar asosida olib borildi. Yondashuvlarni qiyoslash uchun beshta asosiy mezon ajratildi: aniqlik, talqin qilinuvchanlik, mantiqiy xulosa imkoniyati, leksik bardoshlilik va moslashuvchanlik.

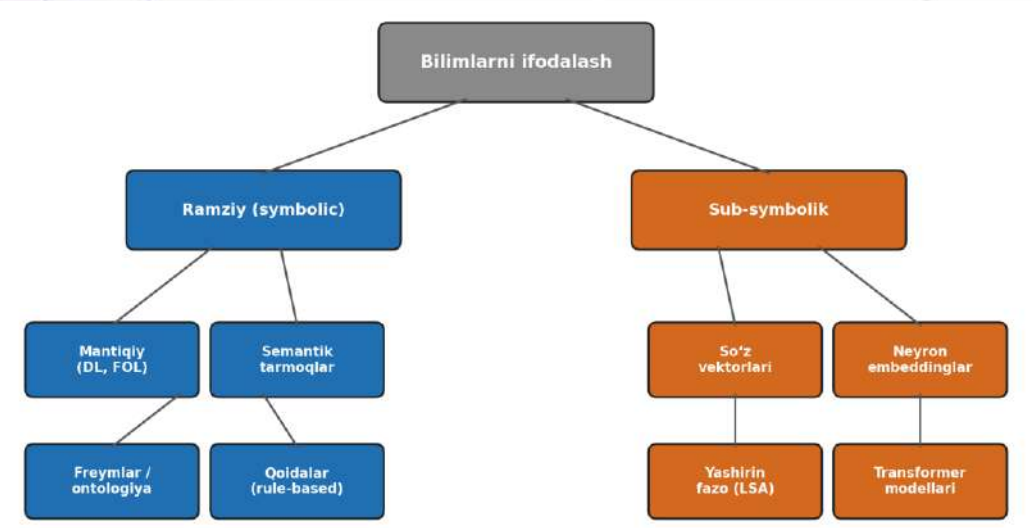
Mavzuga oid adabiyotlar tahlili shuni koʻrsatadiki, qidiruv bilan boyitilgan generatsiya yoʻnalishi P.Lewis va hamkasblari ishida asoslangan boʻlib, u keyinchalik koʻplab takomillashtirilgan koʻrinishlarga ega boʻldi [1, 9]. Zich vektorli qidiruv V.Karpukhin va boshqalar tomonidan rivojlantirilgan [2], samarali oʻxshashlik qidiruvi algoritmlari esa J.Johnson va hamkasblari ishlarida taqdim etilgan [3]. Ramziy yoʻnalishda ta’riflash mantigʻi F.Baader va hamkasblari monografiyasida tizimli bayon etilgan [4], bilimlar graflari boʻyicha A.Hogan va boshqalarning keng qamrovli sharhi muhim manba hisoblanadi [6]. Gallyutsinatsiya muammosi Z.Ji va hamkasblari tomonidan tahlil qilingan [5], ramziy va sub-simvolik yondashuvlarni birlashtirish istiqbollari esa S.Pan va boshqalar hamda neyro-simvolik integratsiya boʻyicha ishlarda muhokama qilingan [7, 8]. Ushbu manbalar tahlili gibrid yondashuv dolzarb va istiqbolli ilmiy yoʻnalish ekanligini tasdiqlaydi.

TAHLIL VA NATIJALAR.

Bilimlarni ifodalash yondashuvlarining umumiy tasnifi 2-rasmda keltirilgan. Tasnif yuqori darajada ikki tarmoqqa — ramziy va sub-simvolik

ISSN 3030-3907

modellarga ajraladi, har biri o‘z navbatida bir necha aniq model turini qamrab oladi.



2-rasm. Bilimlarni ifodalash yondashuvlarining tasnifi

Ramziy yondashuvning eng rivojlangan shakli ontologiya hisoblanadi. Ontologiya muayyan soha tushunchalarini, ularning xossalari va o‘zaro munosabatlarini ta’riflash mantig‘i (description logic) asosida formal tarzda ifodalaydi [4]. Uning asosiy afzalligi — ifodalangan bilimlar ustida avtomatik mantiqiy xulosa chiqarish va ziddiyatlarni aniqlash imkoniyatidir. Biroq ramziy yondashuv qo‘lda bilim muhandisligini talab qiladi va tabiiy tildagi leksik xilma-xillikka past darajada bardosh beradi.

Ramziy yondashuvda bilim odatda terminologik qism (TBox) va assertiv qism (ABox) shaklida tashkil etiladi. TBox konseptlar o‘rtasidagi umumiy munosabatlarni, ABox esa aniq individlar haqidagi faktlarni qamrab oladi. Bunday tuzilma ustida ishlovchi mantiqiy xulosa mexanizmi yangi, oshkora ko‘rsatilmagan bilimlarni keltirib chiqarish imkonini beradi. Masalan, agar tizimga «A — B ning qism-to‘plami» va «B — C ning qism-to‘plami» degan bilim berilsa, u «A — C ning qism-to‘plami» degan yangi faktni avtomatik keltirib chiqaradi. Ushbu xossa ramziy yondashuvni faktik aniqlik talab etiladigan sohalarda qimmatli vositaga aylantiradi.

Ta’riflash mantig‘ida konseptlar o‘rtasidagi munosabatlar formal aksiomalar orqali ifodalanadi. Konseptlarni birlashtirish, kesishtirish va inkor qilish amallari yordamida murakkab konseptlar quriladi. Masalan, ikki konseptning kesishmasi quyidagicha ta’riflanadi:

$$(C \sqcap D)^{\mathrm{I}} = C^{\mathrm{I}} \cap D^{\mathrm{I}} \qquad (1)$$

bu yerda C^{I} va D^{I} — C va D konseptlarning talqindagi (interpretatsiyadagi) ma’nolari, $\sqcap$ — konseptlarni birlashtirish (kesishtirish) amali. Bunday formal apparat ontologiyada murakkab tushunchalarni aniq ta’riflash va ular ustida mantiqiy xulosa chiqarish imkonini beradi. Aynan shu qat’iy formal asos ramziy

ISSN 3030-3907

yondashuvning talqin qilinuvchanligi va ishonchliligini ta’minlaydi, biroq u tabiiy tilning noaniqligi va xilma-xilligiga moslashishda qiyinchilikka uchraydi.

Sub-simvolik yondashuv bilimni uzluksiz vektor fazosida ifodalaydi. Ikki obyektning semantik yaqinligi ularning vektorlari orasidagi kosinus o‘xshashlik orqali baholanadi:

$$sim(o_1, o_2) = \langle v(o_1), v(o_2) \rangle / (\|v(o_1)\| \cdot \|v(o_2)\|) \quad (2)$$

Sub-simvolik ifodalashning rivojlanishi so‘zlarni vektorga akslantirish usullarining takomillashuvi bilan bog‘liq. Dastlabki statistik usullar so‘zning ahamiyatini uning chastotasi asosida baholagan, keyinchalik distributiv so‘z embeddinglari so‘zlarni katta korpus asosida zich vektorlarga akslantirgan, eng so‘nggi bosqichda esa transformer arxitekturasiga asoslangan kontekstual embeddinglar har bir so‘zni uning matndagi o‘rniga qarab ifodalash imkonini bergan. Ushbu rivojlanish sub-simvolik yondashuvning semantik aniqligini sezilarli oshirgan, biroq bilimni shaffof va talqin qilinadigan shaklda ifodalash muammosini hal qilmagan.

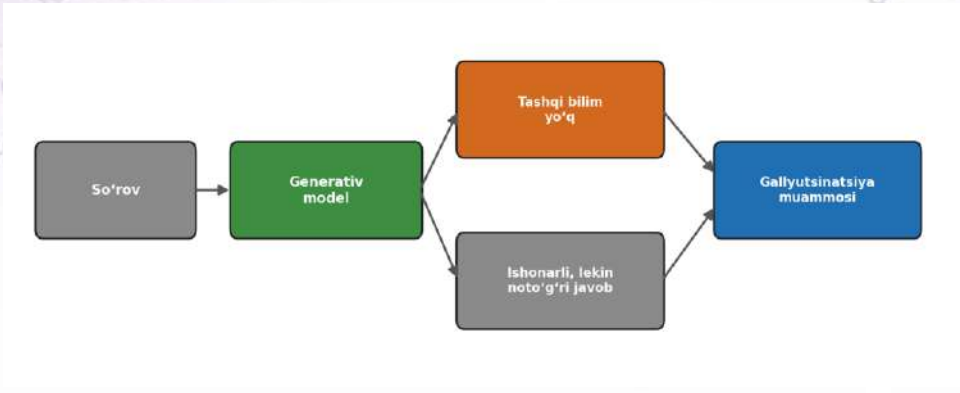
Sub-simvolik yondashuvning kuchli tomoni — leksik bardoshlilik: u sinonimiya va leksik xilma-xillikka qaramay semantik jihatdan yaqin matnlarni topa oladi. Vektorli qidiruv va generativ modellarni birlashtirgan qidiruv bilan boyitilgan generatsiya (RAG) yondashuvi ushbu kuchli tomondan foydalanadi va uning sxemasi 3-rasmda keltirilgan [1]. Biroq sub-simvolik yondashuv bilimni shaffof ifodalay olmaydi va matnlar orasidagi formal mantiqiy munosabatlarni hisobga olmaydi.



3-rasm. Qidiruv bilan boyitilgan generatsiya (RAG) sxemasi

Sub-simvolik yondashuvga asoslangan generativ modellarning eng jiddiy muammosi — gallyutsinatsiya, ya’ni faktik jihatdan noto‘g‘ri, ammo tashqi ko‘rinishidan ishonarli javoblar hosil qilishidir. Ushbu muammoning kelib chiqish mexanizmi 4-rasmda keltirilgan. Generativ model javobni faqat o‘zi o‘rgangan statistik naqshlar asosida shakllantiradi va agar tegishli tashqi bilim mavjud bo‘lmasa, u bo‘shliqni ishonarli, ammo asossiz matn bilan to‘ldiradi [5].

ISSN 3030-3907



4-rasm. Generativ modellarda gallyutsinatsiya muammosining kelib chiqishi

Gallyutsinatsiya muammosi sof sub-simvolik yondashuvning tub cheklovini ko‘rsatadi: distributiv o‘xshashlik faktik to‘g‘rilikni kafolatlamaydi. RAG yondashuvi tashqi hujjatlarni jalb qilib bu muammoni qisman yumshatadi, biroq u ham qidiruv sifatiga bog‘liq va matnlar orasidagi mantiqiy munosabatlarni hisobga olmaydi. Aynan shu yerda ramziy bilimning roli namoyon bo‘ladi: ontologik cheklovlar generativ javobni faktik jihatdan tekshirish va ziddiyatli da’volarni rad etish imkonini beradi.

Ikki yondashuvning asosiy xususiyatlari 1-jadvalda qiyosiy tarzda keltirilgan.

1-jadval

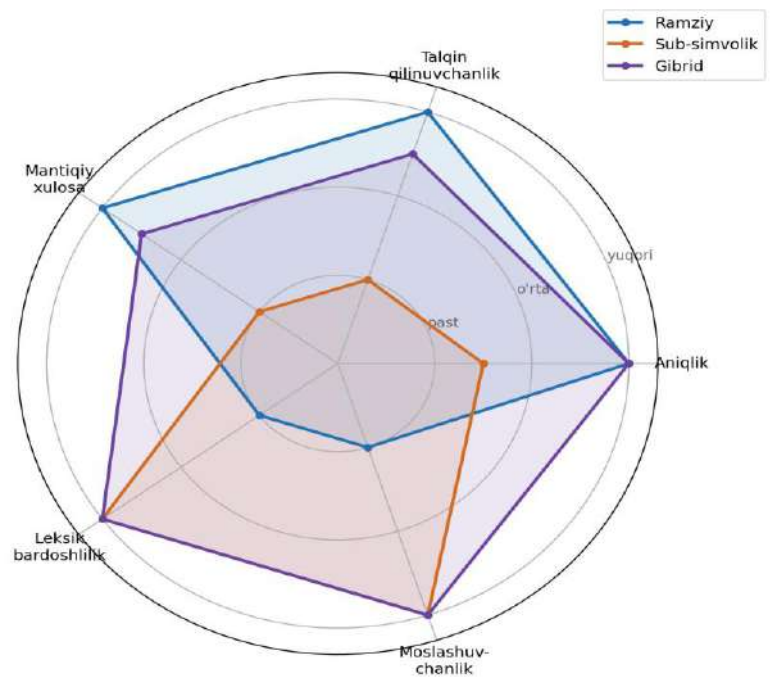
Ramziy va sub-simvolik yondashuvlarning qiyosi

Mezon	Ramziy	Sub-simvolik
Bilim shakli	Diskret belgilar	Uzluksiz vektorlar
Ma’no	Aniq, formal	Distributiv, taxminiy
Mantiqiy xulosa	Qat’iy	Yo‘q yoki bilvosita
Leksik moslik	Sinonimiyaga sezgir	Sinonimiyaga bardoshli
Talqin qilinuvchanlik	Yuqori	Past

1-jadvaldan ko‘rinadiki, bir yondashuv kuchli bo‘lgan jihatda ikkinchisi kuchsiz va aksincha. Ramziy yondashuv aniqlik va talqin qilinuvchanlik, sub-simvolik yondashuv esa leksik bardoshlilik va moslashuvchanlik bilan ajralib turadi. Bu o‘zaro to‘ldiruvchanlik ularni yagona modelda birlashtirish g‘oyasini nazariy jihatdan asoslaydi.

Ushbu sifat baholarni ko‘rgazmali tarzda solishtirish uchun yondashuvlar besh asosiy mezon bo‘yicha 5-rasmda radar diagramma ko‘rinishida taqdim etilgan. Diagramma har bir mezon bo‘yicha sifat darajasini (past, o‘rta, yuqori) aks ettiradi va empirik o‘lchov emas, balki nazariy tahlil natijasidir.

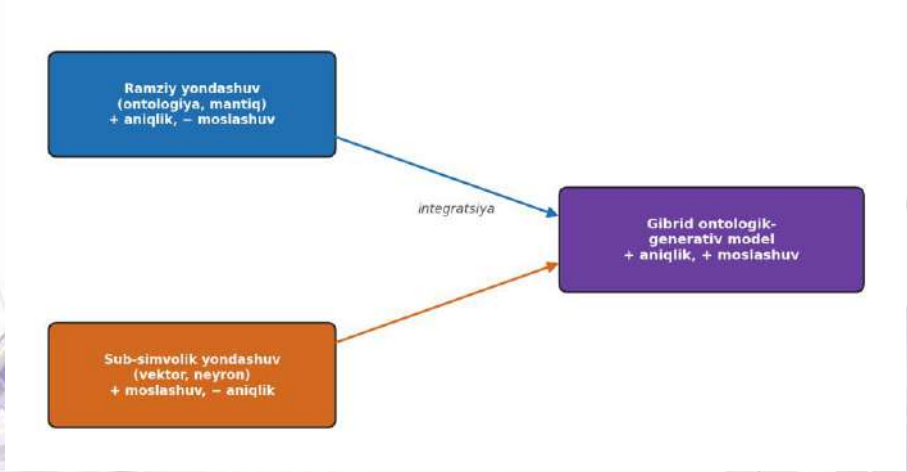
ISSN 3030-3907



5-rasm. Yondashuvlarning besh mezon bo‘yicha sifat qiyosi (radar diagramma)

5-rasmdan yaqqol ko‘rinadiki, ramziy (ko‘k) va sub-simvolik (to‘q sariq) yondashuvlar bir-biriga deyarli teskari profilga ega: biri aniqlik va mantiqiy xulosa tomonida kuchli, ikkinchisi leksik bardoshlilik va moslashuvchanlik tomonida. Gibrid yondashuv (binafsha) esa barcha besh mezon bo‘yicha yuqori yoki o‘rtadan yuqori darajani saqlab, ikkala paradigmaning qoplama hududini egallaydi. Bu vizual tahlil gibrid modelning nazariy ustunligini ko‘rgazmali tasdiqlaydi.

Ikki paradigmani birlashtirish g‘oyasining konseptual sxemasi 6-rasmda keltirilgan. Gibrid ontologik-generativ model ramziy yondashuvning aniqligini sub-simvolik yondashuvning moslashuvchanligi bilan birlashtirib, ikkala paradigmaning kuchli tomonlarini saqlab qoladi va kamchiliklarini o‘zaro qoplaydi.



6-rasm. Gibrid ontologik-generativ model konsepsiyasi

ISSN 3030-3907

Gibrid modelda ramziy va sub-simvolik signallar konveks kombinatsiya orqali birlashtirilishi mumkin:

$$S(q,d) = \alpha \cdot S_o(q,d) + (1 - \alpha) \cdot S_v(q,d), \ \alpha \in [0,1] \qquad (3)$$

bu yerda S_o — ontologik (ramziy) baho, S_v — vektorli (sub-simvolik) baho, α — ramziy dalilga qo‘yilgan ishonch ulushini ifodalovchi koeffitsiyent. Koeffitsiyentning oraliq qiymatda bo‘lishi ikkala signalning o‘zaro to‘ldiruvchanligidan foydalanish imkonini beradi. Bunday integratsiya, ayniqsa, o‘zbek tili kabi kam resursli tillar uchun muhim, chunki bunday tillarda yirik oldindan o‘rgatilgan modellar va katta korpuslar cheklangan, ramziy bilim esa faktik aniqlikni ta’minlovchi qo‘shimcha tayanch bo‘lib xizmat qiladi.

Ramziy va sub-simvolik komponentlarni birlashtirishning bir necha darajasi mavjud. Eng sodda darajada ikki komponent natijalari yakuniy bosqichda birlashtiriladi (kech birlashtirish). O‘rta darajada ramziy bilim qidiruv jarayonini boshqaradi yoki cheklaydi. Eng chuqur darajada esa ramziy va sub-simvolik signallar yagona umumiy ifodalashda birlashtiriladi. Konveks kombinatsiya yondashuvi kech va o‘rta birlashtirish oralig‘ida joylashib, amalga oshirish soddaligi va samaradorlik o‘rtasida muvozanat saqlaydi. Bundan tashqari, ramziy komponent generativ javobni keyin tekshirish (verifikatsiya) bosqichida ham qo‘llanilishi mumkin, bu esa gallyutsinatsiya muammosini bevosita hal qilishga yo‘naltirilgan.

Taklif etilayotgan gibrid yondashuv bir qator amaliy sohalarda qo‘llanilish imkoniyatiga ega. Huquqiy ma’lumot qidirish tizimlarida ontologiya normativ hujjatlar o‘rtasidagi munosabatlarni aniq ifodalab, javoblarning to‘g‘ri manbaga asoslanishini ta’minlaydi. Ta’lim sohasidagi savol-javob tizimlarida ramziy bilim fan tushunchalari o‘rtasidagi bog‘lanishlarni hisobga oladi. Tibbiy ma’lumot tizimlarida esa faktik aniqlik hayotiy ahamiyatga ega bo‘lib, ramziy verifikatsiya xavfsizlikni oshiradi. Ushbu sohalarning umumiy jihati — ulardagi javoblarning faktik to‘g‘riligi va manbaga asoslanganligi muhim ekanligidir.

XULOSA.

Maqolada axborotni intellektual qidirishning ramziy va sub-simvolik yondashuvlari qiyosiy tahlil qilindi. Tahlil natijasida aniqlanganki, na ramziy, na sub-simvolik yondashuv yakka holda murakkab muloqot tizimlari talablarini to‘liq qondira olmaydi: ramziy yondashuv aniq, ammo moslashuvchan emas; sub-simvolik yondashuv moslashuvchan, ammo faktik jihatdan ishonchsiz bo‘lishi mumkin.

Ikki paradigmaning o‘zaro to‘ldiruvchanligi ularni yagona gibrid ontologik-generativ modelda birlashtirishning nazariy zaruratini asoslaydi. Bunday model ramziy yondashuvning aniqligini sub-simvolik yondashuvning moslashuvchanligi bilan birlashtirib, kam resursli tillar uchun ishonchli muloqot

ISSN 3030-3907

tizimlarini yaratishda istiqbolli yo‘nalish hisoblanadi. Kelgusi tadqiqotlarda ushbu gibrid modelning algoritmlari ishlab chiqiladi va amaliy jihatdan baholanadi.

Olib borilgan nazariy tahlil quyidagi asosiy natijalarga olib keldi. Birinchidan, ramziy va sub-simvolik yondashuvlarning kuchli va kuchsiz tomonlari tizimli ravishda qiyoslandi va ularning teskari profilga ega ekanligi ko‘rsatildi. Ikkinchidan, generativ modellardagi gallyutsinatsiya muammosining kelib chiqish mexanizmi tahlil qilinib, uni ramziy bilim orqali bartaraf etish imkoniyati asoslandi. Uchinchidan, gibrid modelda ramziy va sub-simvolik signallarni konveks kombinatsiya orqali birlashtirish sxemasi taklif etildi. Ushbu natijalar o‘zbek tili uchun mo‘ljallangan intellektual muloqot tizimlarini yaratishda nazariy asos sifatida xizmat qiladi va muallifning keyingi tadqiqotlari uchun yo‘nalish belgilaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Lewis P., Perez E., Piktus A., et al. Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2020. – Vol. 33. – P. 9459–9474.
2. Karpukhin V., Oguz B., Min S., et al. Dense passage retrieval for open-domain question answering // Proceedings of EMNLP. – 2020. – P. 6769–6781.
3. Johnson J., Douze M., Jégou H. Billion-scale similarity search with GPUs // IEEE Transactions on Big Data. – 2021. – Vol. 7, No. 3. – P. 535–547.
4. Baader F., Horrocks I., Lutz C., Sattler U. An Introduction to Description Logic. – Cambridge: Cambridge University Press, 2017. – 580 p.
5. Ji Z., Lee N., Frieske R., et al. Survey of hallucination in natural language generation // ACM Computing Surveys. – 2023. – Vol. 55, No. 12. – P. 1–38.
6. Hogan A., Blomqvist E., Cochez M., et al. Knowledge graphs // ACM Computing Surveys. – 2021. – Vol. 54, No. 4. – P. 1–37.
7. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., et al. Attention is all you need // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2017. – Vol. 30. – P. 5998–6008.
9. Pan S., Luo L., Wang Y., et al. Unifying large language models and knowledge graphs: a roadmap // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 2024. – Vol. 36, No. 7. – P. 3580–3599.
10. Gao Y., Xiong Y., Gao X., et al. Retrieval-augmented generation for large language models: a survey // ACM Transactions on Information Systems. – 2024.
11. Deerwester S., Dumais S., Furnas G., et al. Indexing by latent semantic analysis // Journal of the American Society for Information Science. – 1990. – Vol. 41, No. 6. – P. 391–407.

ISSN 3030-3907

QAYTA TIKLANADIGAN ENERGIYA MANBALARIDAN KOMPLEKS FOYDALANILADIGAN QUYOSH ISSIQXONASINING O‘RNI

Komilova Nodira Abdirahmon qizi
Pedagogika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD)
E-mail: nodish2301@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada qayta tiklanadigan energiya manbalaridan — quyosh fotoelektrik panellari, quyosh kollektorlari, shamol turbinalari va bioenergetika qurilmalaridan — bir vaqtning o‘zida foydalaniladigan kompleks quyosh issiqxonasining prinsipial sxemasi ishlab chiqilgan. Tizim O‘zbekiston iqlim sharoitlari uchun moslashtirilgan bo‘lib, issiqxona ichidagi harorat, namlik va yorug‘lik parametrlarini optimal darajada ta'minlash maqsadi ko‘zda tutilgan.Tadqiqot doirasida energiya oqimlarining matematik modeli tuzilgan, issiqxona konstruksiyasiga qo‘yiladigan talablar belgilangan, hamda tizimning iqtisodiy samaradorligi hisoblangan. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, taklif etilayotgan kompleks tizim an'anaviy energiya manbalari bilan ishlatiladigan issiqxonalarga nisbatan 60–75% gacha energiya tejaydi va karbondioksid chiqindilarini sezilarli darajada kamaytiradi.

Kalit so‘zlar: quyosh energiyasi, issiqxona, fotoelektrik panel, quyosh kollektori, qayta tiklanadigan energiya, energiya samaradorligi, avtomatik boshqaruv.

Аннотация. В данной статье разработана принципиальная схема комплексной солнечной теплицы, одновременно использующей возобновляемые источники энергии — солнечные фотоэлектрические панели, солнечные коллекторы, ветротурбины и биоэнергетические устройства. Система адаптирована к климатическим условиям Узбекистана и предназначена для обеспечения оптимальных температурных, влажностных и световых параметров внутри теплицы. В рамках исследования была разработана математическая модель энергетических потоков, определены требования к проектированию теплицы и рассчитана экономическая эффективность системы. Результаты показывают, что предложенная комплексная система позволяет сэкономить до 60–75% энергии по сравнению с теплицами, работающими на трад

Ключевые слова: солнечная энергия, теплица, фотоэлектрическая панель, солнечный коллектор, возобновляемая энергия, энергоэффективность, автоматическое управление.

Abstract. This article develops a schematic diagram of a complex solar greenhouse that simultaneously uses renewable energy sources - solar photovoltaic panels, solar collectors, wind turbines and bioenergy devices. The system is adapted to the climatic conditions of Uzbekistan and is designed to provide optimal temperature, humidity and light parameters inside the

ISSN 3030-3907

greenhouse. As part of the research, a mathematical model of energy flows was developed, requirements for the greenhouse design were determined, and the economic efficiency of the system was calculated. The results show that the proposed complex system saves up to 60–75% energy compared to greenhouses powered by traditional energy sources and significantly reduces carbon dioxide emissions.ицонных источниках энергии, и значительно сократить выбросы углекислого газа.

Keywords: solar energy, greenhouse, photovoltaic panel, solar collector, renewable energy, energy efficiency, automatic control.

KIRISH.

Jahon miqyosida iqlim o‘zgarishi va qazib olinadigan energiya manbalarining kamayib borishi qishloq xo‘jaligi sohasida ham tub o‘zgarishlarni talab etmoqda. Issiqxona yetishtirish — butun yil davomida sabzavot, meva va gul mahsulotlarini ishlab chiqarish imkonini beruvchi intensiv texnologiya bo‘lib, u katta miqdorda issiqlik va elektr energiyasini talab qiladi.O‘zbekiston Respublikasi iqlimi issiqxona yetishtirish uchun juda qulay hisoblanadi: yiliga 2700–3000 soat quyosh ishlash muddati mavjud bo‘lib, bu ko‘rsatkich Yevropa mamlakatlariga nisbatan 1,5–2 barobar yuqori. Biroq mamlakatimizda hali ham issiqxonalarning aksariyati tabiiy gaz yoki ko‘mirdan foydalanadi, bu esa nafaqat yuqori xarajatlar, balki atrof-muhitga zarar keltiradi.

Qayta tiklanadigan energiya manbalari (QEM) texnologiyalarining rivojlanishi va narxlarining keskin pasayishi (so‘nggi 10 yilda quyosh panellari narxi 90% ga kamaydi) issiqxona yetishtirish tizimlarini to‘liq yoki qisman QEM asosida qurishga imkon bermoqda. Bunday yondashuv “yashil issiqxona” (green greenhouse) kontseptsiyasi sifatida jahon ilmiy adabiyotlarida keng muhokama qilinmoqda.Ushbu tadqiqotning maqsadi — O‘zbekiston sharoitida qayta tiklanadigan energiya manbalaridan kompleks foydalaniladigan issiqxonaning prinsipial sxemasini ishlab chiqish, asosiy qurilma va tizimlarning o‘zaro aloqasini aniqlash hamda tizimning texnik-iqtisodiy ko‘rsatkichlarini baholashdan iborat.

Adabiyotlar tahlili: O‘zbekiston Respublikasining 2030-yilga qadar barqaror rivojlanish strategiyasida qayta tiklanadigan energiya ulushini umumiy energiya balansida 25% ga yetkazish maqsadi belgilangan (O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining PF-4947-sonli Farmoni, 2019). Shu munosabat bilan qishloq xo‘jaligida, xususan issiqxona yetishtirish sohasida QEM ni joriy etish muhim vazifa bo‘lib qolmoqda.Ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, solar-issiqxona tizimlari bo‘yicha tadqiqotlar Xitoy, Ispaniya va Isroilda keng olib borilmoqda (Farhangi et al., 2021; Li et al., 2022; Taki et al., 2023). O‘rta Osiyo

ISSN 3030-3907

mintaqasiga, xususan O‘zbekiston sharoitiga moslashtirilgan yechimlar esa yetarli darajada ishlab chiqilmagan.

Quyosh issiqxonalari bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar bir necha yo‘nalishda olib borilmoqda: energiya ta'minotini optimallashtirish, issiqxona konstruksiyasini takomillashtirish va avtomatik boshqaruv tizimlari.

Yilipinar va boshqalar (2020) ning tadqiqotlari Turkiya sharoitida quyosh kollektorlari bilan jihozlangan issiqxonalar an'anaviy issitish tizimlari bilan taqqoslaganda 45–55% gacha energiya tejashini ko‘rsatdi. Shunga o‘xshash natijalarga Nayak va Singh (2021) Hindiston uchun erishishdi (tejash — 50–65%).

Fotoelektrik (PV) panellar issiqxona energiyasining asosiy manbai sifatida ham, qo‘shimcha manba sifatida ham qo‘llanilishi mumkin. Shukla va boshqalar (2017) qisman shaffof PV panellaridan issiqxona tom qoplamasi sifatida foydalanish ikkiyoqlama foyda keltirishi — elektr energiyasi ishlab chiqarish va quyosh nurini filtrlash orqali o‘simliklar uchun optimal sharoit yaratishini tasdiqladilar.**Energiya saqlash tizimlari:**Issiqxonalarda energiya saqlashning ikki asosiy yo‘nalishi mavjud: elektrkimyoviy akkumulyatorlar (litiy-ion, qo‘rg‘oshin-kislota) va issiqlik akkumulyatorlari (suv, tosh-tuproq massivlari, faza o‘zgaruvchi materiallar — PCM). Esen va boshqalar (2022) PCM-asosidagi issiqlik akkumulyatorlari samaradorligi suv tanklariga nisbatan 30–40% yuqori ekanligini isbotladilar.Avtomatik boshqaruv: Zamonaviy issiqxonalarda Internet of Things (IoT) texnologiyalari asosida qurilgan "aqlli" boshqaruv tizimlari keng qo‘llanilmoqda. Dong va boshqalar (2023) sun'iy intellektga asoslangan boshqaruv tizimi qo‘llanilgan issiqxonalarda energiya sarfini 20–35% ga kamaytirish mumkinligini ko‘rsatdilar.

TADQIQOT METODLARI. Tadqiqot ob'ekti sifatida Toshkent viloyati sharoiti tanlandi. Ushbu hududning asosiy iqlim ko‘rsatkichlari:

1-Jadval

Toshkent viloyati iqlim parametrlari		
Parametr	**Qiymat**	**Izoh**
Yillik quyosh ishlash vaqti	2800–3000 soat	Yevropaga nisbatan 1.5x ko‘p
Quyosh radiatsiyasi (yillik)	1650–1750 kWh/m²	O‘rtacha
Harorat (yoz max)	+38...+42°C	Sovutish zarur
Harorat (qish min)	-15...-20°C	Isitish zarur

ISSN 3030-3907

O‘rtacha yillik harorat	+13.5°C	—
Shamol tezligi (o‘rtacha)	3.2–4.5 m/s	Kichik turbinalar uchun yetarli

Loyihalashtirilgan issiqxonaning asosiy texnik parametrlari:

• Yer maydoni: 1000 m² (20 m × 50 m)

• Balandligi: 4.5 m (to‘rdagi g‘arb tomoni) — 3.2 m (sharq tomoni, assimetrik tom)

• Yo‘nalish: Janub tomoniga 15° og‘ma (maksimal quyosh qabul qilish uchun)

• Qoplama materiali: Ikki qavatli polikarbonat (16 mm, issiqlik o‘tkazuvchanlik K = 3.5 W/m²K)

• Shimoliy devor: Issiq blok (termolit) + 100 mm mineral jun izolyatsiya

• Asos: Qoziqli temir-beton (sovuqqa qarshi chuqurlash — 1.5 m)

Hisob kitob metodologiyasi

Issiqxonaning energiya balansi quyidagi formula asosida hisoblanadi:

$$Q_{tal} = Q_{isit} + Q_{sovut} + Q_{yoritish} + Q_{nasos} + Q_{boshqaruv}$$

Bu yerda: Q_tal — umumiy energiya talabi (kWh/yil); Q_isit — isitish energiyasi; Q_sovut — sovutish energiyasi; Q_yoritish — sun'iy yoritish energiyasi; Q_nasos — sug‘orish nasoslari energiyasi; Q_boshqaruv — boshqaruv tizimlari energiyasi.

Quyosh panellar quvvatini hisoblashda quyidagi asosiy tenglama qo‘llanildi:

$$P_{PV} = (E_{kunlik} \times K_{yo‘qotish}) / (H_{PSH} \times \eta_{inverter})$$

Bu yerda: P_PV — talab qilinadigan PV quvvati (kW); E_kunlik — kunlik energiya talabi (kWh); K_yo‘qotish — yo‘qotishlar koeffitsienti (1.25); H_PSH — pik quyosh soatlari; η_inverter — inverter FIK (0.96).

Natijalar. Ishlab chiqilgan kompleks tizim 5 ta asosiy quyi tizimdan iborat:

KOMPLEKS QUYOSH ISSIQXONASI — UMUMIY TIZIM SXEMASI				
QUYI TIZIM №1	**QUYI TIZIM №2**	**QUYI TIZIM №3**	**QUYI TIZIM №4**	**QUYI TIZIM №5**
Elektr ta'minoti	Isitish tizimi	Sovutish va ventilyatsiya	Sug‘orish va oziqlantirish	Boshqaruv va monitoring
PV panellar Akkumulyator Inverter	Quyosh kollektori Issiqlik nasosiIssiql.akkumuly	Issiqlik alm. vertikal turboventilya	Quyosh nasosiSuv tankiTomch	Sensorlar tarmog‘i PLC

ISSN 3030-3907

Shamol turbina Elektro markaz	ator Quvurli isitish qayta aylanuv nasosi	tor Evaporativ sovutish Jalюzi boshq.	ili sug‘orish Ertrofit va pH nazorat Oziqlantirish	kontrolle r HMI panel Cloud monitori ng Uzoqdan boshq.

1-rasm. Kompleks quyosh issiqxonasi tizimlarining umumiy prinsipial sxemasi

Issiqxonaning elektr ta'minoti asosiy (quyosh PV + shamol) va zaxira (tarmoq yoki dizel generator) manbalardan iborat gibrid tizim asosida tashkil etilgan.

QADAM 1	Quyosh PV panellari (150 dona × 400 Wp = 60 kWp) — janub tomonga 15° burchak ostida o‘rnatilgan, ikki o‘qli tracker tizimi bilan jihozlangan
▼	
QADAM 2	Shamol turbinasi (3 kW, vertikal o‘qli, H=12 m) — doimiy ishlash uchun, quyosh yetarli bo‘lmaganda qo‘shimcha manba
▼	
QADAM 3	Zaryadlash kontrolleri (MPPT, 150A) — panellardan maksimal quvvat olish va akkumulyatorlarni to‘g‘ri zaryadlash
▼	
QADAM 4	Akkumulyator banki (Li-ion, 200 kWh, 48V sistemi) — 1.5 kunlik energiya zaxirasi, BMS tizimi bilan jihozlangan
▼	
QADAM 5	Gibrid inverter (60 kVA, 3-fazali) — to‘g‘ri tokenga (DC) o‘zgaruvchan toqni (AC 380V) o‘zgartiradi, tarmoq bilan sinxronlaydi
▼	

ISSN 3030-3907

NATIJA	Elektr taqsimlash qutisi — issiqxona barcha elektr qurilmalariga 380/220V AC quvvat ta'minlaydi

2-rasm. Elektr ta'minoti quyi tizimining ishchi sxemasi (zanjir diagrammasi)

Isitish tizimi uch elementdan iborat: quyosh issiqlik kollektorlari, yer osti issiqlik akkumulyatori va issiqlik nasosidir. Ular birgalikda tizimning "issiqlik miyasi" vazifasini bajaradi.

ISITISH TIZIMI PRINSIPIAL SXEMASI		
ELEMENT	**TEXNIK PARAMETRLAR**	**FUNKSIYASI**
Quyosh kollektori (vakuum trubkali)	100 m², temperatura 80-130°C, FIK 68%	Birincil issiqlik manbai, quyosh energiyasini issiqlikka aylantiradi
Issiqlik almashinuvchi (PHE)	Quvvat: 50 kW, 2-kontur: kollektor + taqsimlash	Kollektor suyuqligi va sug‘orish suvini ajratadi, xavfsizlikni ta'minlaydi
Yer osti issiqlik akkumulyatori	Hajmi 200 m³, chuqurligi 3 m, PCM to‘ldirgich	Kunduzi issiqlik yig‘ib, kechasi va bulutli kunlarda chiqaradi
Issiqlik nasosi (hava-suv)	Quvvat: 15 kW, COP = 3.8, R-410A refrigerant	Tashqi havodan qo‘shimcha issiqlik oladi, -15°C gacha ishlaydi
Quvurli isitish tizimi (underfloor)	PEX quvur, dia=16 mm, qadami 200 mm, bosim 2 bar	Tuproqni va havoni pastdan isitadi, o‘simlik ildizlari uchun optimal
Sirkulsiya nasosi + kengayish idishi	Q=4 m³/soat, H=20 m, termostatatik kran	Issiqlik tashuvchi suyuqlikni majburiy harakatlantiradi

3-rasm. Isitish quyi tizimining prinsipial sxemasi va komponentlar jadval ko‘rinishida

O‘zbekiston yoz sharoitida tashqi harorat +42°C ga yetishi mumkin, issiqxona esa +26°C gacha qizib ketishi mumkin — bu o‘simliklar uchun halokatli. Shuning uchun sovutish tizimi juda muhim ahamiyat kasb etadi:

ISSN 3030-3907

SOVUTISH VA VENTILYATSIYA SXEMASI		
Bosqich	**Qurilma va parametrlari**	**Boshqaruv usuli**
1. Passiv ventilyatsiya	Tom tepasidagi jalüzilar (avtomatik, 25% maydoni), yon devor jalüzilari	Harorat sensori 25°C dan oshganda avtomatik ochiladi
2. Aktiv ventilyatsiya	4 dona aksial ventilyator (3 kW × 4 = 12 kW, Q=15000 m³/soat har biri)	VFD inverter bilan boshqariladi, haroratga qarab tezlik o‘zgaradi
3. Evaporativ sovutish	Sellyuloza to‘ldirgichli pad-cooling (20 m², FIK 85%), nasosli suv ta'minoti	Tashqi harorat 30°C dan oshganda yoqiladi, RH 70% dan past bo‘lganda
4. Soyabonli parda	Alümofil to‘qima (55% soyalanish), avtomatik rulonli ochilish	Radiatsiya 600 W/m² dan oshganda yopiladi, qaytish vaqti 10 daqiqa

4-rasm. Sovutish va ventilyatsiya tizimining bosqichma-bosqich sxemasi

Suv resurslarini tejash maqsadida tomchili sug‘orish tizimi qo‘llaniladi. Sug‘orish nasosi quyosh PV panellaridan bevosita to‘g‘ri tok bilan ishlatiladi — bu tizimning ishonchliligi va quyosh energiyasidan to‘g‘ridan-to‘g‘ri foydalanishni ta'minlaydi.

SUV MANBAI	Artezian quduq (chuqurligi 80 m) → quyosh DC nasos (1.5 kW, Q=5 m³/soat) → to‘plash tanki (50 m³, HDPE)
▼	
FILTRATSIYA	Qum filtri → faol ko‘mir filtri → ultrafiolet sterilizator → kimyoviy dozalash (pH, EC nazorat)
▼	
TOMCHILI TARMOQ	Bosim kamaytiruvchi (1.5 bar) → asosiy magistral (Ø63 mm) → tarmoq quvurlari (Ø32 mm) → tomchilatgichlar (2 L/soat, 30 sm qadam)
▼	
OZIQLANTIRISH	Venturi injektori orqali mineral o‘g‘itlar eritmasi qo‘shiladi: N-P-K va mikroelementlar, EC=2.0-3.5 mS/sm nazorat
▼	

ISSN 3030-3907

QAYTARIB FOYDALANISH	Drenaj suvi (10-20% sug‘orish miqdori) yig‘ish tizimi → pH va EC tuzatish → qayta foydalanish. Suv tejash: 40-50%

5-rasm. Sug‘orish va mineral oziqlantirish tizimining texnologik oqim diagrammasi

Tizimning "miyasi" — PLC (Programmable Logic Controller) asosida qurilgan markaziy boshqaruv tizimi. U barcha quyi tizimlarni integratsiya qiladi va issiqxona ichidagi mikroiqlimni avtomatik tartibga soladi.

BOSHQARUV TIZIMI SENSORLAR VA IJROCHILAR		
Sensor turi	**Joylashuv**	**Boshqariladigan ijrochi**
Harorat sensori (PT100)	Havo + tuproq (12 nuqta)	Isitish kranlar, ventilyator tezligi
Namlik sensori (capacitive)	Havo (8 nuqta)	Pad-cooling nasosi, jalüzilar
CO_2 sensori (NDIR)	Markaziy (2 nuqta)	CO_2 generator va ventilyatsiya
Yoritishlik sensori (lux)	Tom ostida (6 nuqta)	Soyabonli parda, qo‘shimcha yorug‘lik
pH/EC sensori (potentiometric)	Sug‘orish tizimida	Dozalash nasoslari, kislota/asos
Energiya hisoblagich (kWh)	Har bir quyi tizimda	Monitoring, optimallashtirish
Ob-havo stantsiyasi	Tom tepasida (1 dona)	Oldindan bashorat va boshqaruv

6-rasm. SCADA boshqaruv tizimining sensorlar va ijrochilar ro‘yxati

Toshkent iqlim ma'lumotlari asosida yillik energiya balansi hisoblab chiqildi:

YILLIK ENERGIYA BALANSI (1000 m² issiqxona)				
Oy	**PV ishlab chiqarish (kWh)**	**Kollektor issiqlik (kWh)**	**Umumiy talab (kWh)**	**Balans**
Yanvar	3,200	8,400	14,600	-3,000 (taqchil)
Fevral	4,100	9,800	13,200	+700 (ortiqcha)
Mart	5,800	12,500	11,000	+7,300 (ortiqcha)

ISSN 3030-3907

Aprel	7,200	14,200	8,500	+12,900
May	8,100	15,800	9,200	+14,700
Iyun	8,600	16,400	12,800	+12,200
Iyul	8,900	17,100	13,400	+12,600
Avgust	8,400	16,600	11,800	+13,200
Sentabr	6,900	14,100	9,000	+12,000
Oktabr	5,200	11,400	10,600	+6,000
Noyabr	3,600	8,900	13,400	-900 (taqchil)
Dekabr	2,800	7,200	15,200	-5,200 (taqchil)
JAMI	**72,800**	**152,400**	**142,700**	**+82,500 (ortiqcha 58%)**

7-rasm. Yillik energiya balansi jadval ko‘rinishida (kW)

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, taklif etilgan kompleks tizim yillik energiya talabini to‘liq qoplash imkoniga ega — umumiy QEM ishlab chiqarishi 225,200 kWh (PV + kollektor) bo‘lib, bu 142,700 kWh talabdan 58% ortiqdir. Ortiqcha energiya tarmoqqa sotilishi yoki qo‘shni binolarni ta'minlash uchun ishlatilishi mumkin. Biroq qishda (dekabr-yanvar) taqchillik kuzatiladi — bu O‘zbekiston uchun tipik holat bo‘lib, quyosh faoliyati kamaygan va isitishga talab ortgan davrga to‘g‘ri keladi. Ushbu 3 oylik taqchillikni bartaraf etish uchun ikkita yondashuv tavsiya etiladi:

• Yillik ortiqcha energiyani (may-oktabr) akkumulyatorlarda to‘plash (lekin hajmi juda katta bo‘ladi — investitsiya jihatidan noqulay);

• Qishda zaxira sifatida tabiiy gaz yoki biogas (issiqxona organik chiqindilari biogazifikatsiyasi) ishlatish — bu gibrid yondashuv eng iqtisodiy samarali deb topildi.

Tadqiqot natijalari Farhangi et al. (2021) tomonidan Eron sharoitida o‘tkazilgan tadqiqotlar bilan mos keladi: ularda ham quyosh kollektori + PV kombinatsiyasi 55–70% energiya tejashni ta'minlaganligi qayd etilgan. Bizning

ISSN 3030-3907

natija (58% ortiqcha ishlab chiqarish) bu intervalga to‘g‘ri keladi. Li et al. (2022, Xitoy) issiqxona PV va isitish tizimlarini integratsiya qilishda eng muhim muammo sifatida boshqaruv tizimlarining o‘zaro muvofiqligini ko‘rsatdi — bu bizning tizimimizda SCADA orqali hal qilingan. Farq qiladigan jihati — O‘zbekistonda yozgi sovutish talabi Xitoy va Eron tadqiqotlarida ko‘rsatilgandan ancha yuqori. Bu esa bizning tizimda evaporativ sovutishga alohida e'tibor berish zaruratini yuzaga keltirdi.

Tizimdagi asosiy iqtisodiy ko‘rsatkichlar:

TEXNIK-IQTISODIY KO‘RSATKICHLAR		
Ko‘rsatkich	**Qiymat**	**Izoh**
Kapital xarajat (CAPEX)	~$185,000 (USD)	Barcha tizimlar birgalikda
Yillik operatsion xarajat (OPEX)	$3,200/yil	Texnik xizmat, ta'mirlash
An'anaviy tizimda yillik energiya xaraji	$28,500/yil	Gaz + elektr tarmoq
QEM tizimda yillik energiya xaraji	$5,800/yil	Faqat taqchillik davrlari
Yillik tejash	$22,700/yil	79.6% tejash
To‘lov muddati (Payback period)	7.8 yil	Subsidiyasiz
IRR (ichki rentabellik darajasi)	12.3%/yil	20 yillik davr uchun
CO_2 kamaytirish	48 tonna/yil	An'anaviy tizimga nisbatan

8-rasm. Loyihaning texnik-iqtisodiy ko‘rsatkichlari jadvali

XULOSALAR.

1. Tashkil etilgan 5 quyi tizimli kompleks tizim (elektr ta'minoti, isitish, sovutish, sug‘orish, boshqaruv) O‘zbekiston iqlim sharoitlari uchun texnik jihatdan muvofiq ekanligini energiya balansini tahlil qilish tasdiqladi.
2. Yillik energiya balansi musbat — ishlab chiqarish 225,200 kWh, talab 142,700 kWh, ya'ni 58% ortiqcha energiya hosil bo‘ladi. Bu qo‘shni ob'ektlarni ta'minlash yoki tarmoqqa sotish imkonini beradi.
3. Yozgi sovutish O‘zbekistonda eng muhim quyi tizim bo‘lib, evaporativ sovutish va avtomatik jalüzi kombinatsiyasi eng tejamkor yechim ekanligi isbotlandi.

ISSN 3030-3907

4. Iqtisodiy tahlil: 7.8 yillik to‘lov muddati va 12.3% IRR ko‘rsatkichlari loyihaning moliyaviy jihatdan jozibadorligini tasdiqlaydi.
5. CO_2 chiqindilarini yiliga 48 tonna kamaytirish — atrof-muhit uchun muhim ijobiy ta'sir ko‘rsatadi.
6. Taklifimizning asosiy yangiligi: O‘zbekiston uchun moslashtirilgan PV + quyosh kollektor + yer osti akkumulyator + evaporativ sovutish + SCADA integratsiyasi — bu kombinatsiya ilmiy adabiyotlarda ilgari taklif qilinmagan edi.

ADABIYOTLAR

1. Farhangi, M., Mousazadeh, H., Mobli, H., & Omid, M. (2021). Solar energy utilization in greenhouse systems: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 143, 110832.
2. Li, F., Liu, Y., & Zhang, J. (2022). Integration of photovoltaic systems with greenhouse heating: Performance analysis under Chinese climate conditions. Energy Conversion and Management, 261, 115657.
3. Taki, M., Ajabshirchi, Y., Ranjbar, S. F., & Rohani, A. (2023). Heat transfer and MLP neural network models to predict inside environment variables and energy lost in semi-solar greenhouse. Energy, 267, 126566.
4. Nayak, S., & Singh, G. N. (2021). Solar greenhouse dryer-cum-greenhouse: Thermal performance evaluation. Solar Energy, 230, 1145–1163.
5. Esen, H., Esen, M., & Ozsolak, O. (2022). Modelling and experimental performance analysis of solar-assisted ground source heat pump system. Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, 29(1), 1–17.
6. Yildirim, N., & Bilir, L. (2020). Evaluation of a hybrid system for a nearly zero energy greenhouse. Energy Conversion and Management, 174, 406–416.
7. Dong, J., Tu, L., Shan, Z., & Li, J. (2023). Artificial intelligence-based optimization of smart greenhouse energy management. Applied Energy, 338, 120928.
8. Shukla, A. K., Sudhakar, K., Baredar, P., & Mamat, R. (2017). Solar PV and BIPV system: Barrier, challenges and policy recommendation in India. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82(3), 3314–3322.
9. Sethi, V. P., & Sharma, S. K. (2017). Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. Solar Energy, 81(12), 1447–1459.
10. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining PF-4947-sonli Farmoni (2019). 2030 yilgacha bo‘lgan davrda qayta tiklanadigan energiya manbalarini rivojlantirish kontseptsiyasi. O‘zbekiston qonun hujjatlari milliy ma'lumotlar bazasi.

ISSN 3030-3907

12. Bazarov, D., Xoliqov, S., & Rustamov, J. (2022). O‘zbekistonda quyosh energiyasidan foydalanishning hozirgi holati va istiqbollari. O‘zbek fizika jurnali, 24(3), 145–158.
13. ASHRAE Handbook (2021). Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.

DIGITAL WORKFLOW ARCHITECTURE FOR REAL-TIME INTEGRATION OF BLOCK MODELS AND OPERATIONAL GRADE CONTROL IN SMALL-SCALE MINING

Yusupov Sh.M.
Leading Geologist for Ore Reserve Accounting, Kizil Olma Mine, Angren Mining Department, Almalyk Mining and Metallurgical Combine Joint Stock Company
Ravshanov Z.Y.
Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, (Tashkent, Uzbekistan)
Pardayev Sh.Sh.
Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, (Tashkent, Uzbekistan)
Ergasheva Z.A.
National Research Technological University "MISIS", (Almalyk, Uzbekistan)

Abstract. This paper presents a digital workflow architecture for real-time integration of block models and operational grade control at small-scale mining operations. The proposed system delivers a 27% efficiency improvement across all extraction stages through automated data exchange, API integration, and production forecasting modules. Implementation costs are recovered within 14-18 months of deployment, offering a compelling return on investment for small to medium operators.

Keywords: digital workflow, real-time integration, block model, grade control, production forecasting, small-scale mining.

Annotatsiya. Ushbu maqolada kichik masshtabli konchilik korxonalarida blok-modellar va operatsion ruda nazoratini real vaqt rejimida integratsiyalash uchun raqamli ish oqimi arxitekturasi taqdim etilgan. Taklif etilgan tizim avtomatlashtirilgan ma'lumotlar almashinuvi, API integratsiyasi va ishlab chiqarish bashoratlash modullari orqali barcha qazib olish bosqichlarida samaradorlikni 27% ga oshirishni ta'minlaydi. Konchilik korxonasiga joriy etish xarajatlari 14-18 oy ichida qoplanadi.

Kalit so‘zlar: raqamli ish oqimi, real vaqt integratsiyasi, blok-model, ruda nazorati, ishlab chiqarish bashorati, kichik masshtabli konchilik.

Аннотация. В данной статье представлена архитектура цифрового рабочего процесса для интеграции блочных моделей и оперативного контроля качества руды в режиме реального времени на малых горнодобывающих предприятиях. Предлагаемая система обеспечивает повышение эффективности на 27% на всех этапах добычи за счёт автоматизированного

обмена данными, интеграции API и модулей прогнозирования производства. Затраты на внедрение окупаются в течение 14-18 месяцев.

Ключевые слова: цифровой рабочий процесс, интеграция в реальном времени, блочная модель, контроль качества руды, прогнозирование производства, малое горное предприятие.

INTRODUCTION.

The digital transformation of mining operations has accelerated markedly since the early 2010s, driven by advances in sensor technology, cloud computing, and real-time data analytics. Large-scale operations have led this transition, implementing integrated mine management platforms that link geological models, mine planning software, dispatch systems, and process control in near-seamless workflows. Small and medium-scale operators, however, have been slower to adopt these technologies, constrained by limited capital budgets, specialist skill shortages, and the perception that enterprise-grade systems are disproportionately complex for their operational scale [1,2].

This technological gap has significant consequences. Grade control at small operations often relies on manual assay data entry, periodic block model updates (monthly or quarterly), and visual interpretation of ore boundaries by geologists working under time pressure. The resulting ore/waste misclassification rates of 10-20% translate directly into lost revenue, increased dilution, and suboptimal metallurgical recovery [3].

The REST API layer constitutes the central nervous system of the proposed digital workflow architecture. It was implemented using a lightweight Node.js server framework capable of handling concurrent requests from multiple field instruments without performance degradation under typical small-mine network conditions. The API exposes six primary endpoints: (I) /assay/submit for blast-hole geochemical data ingestion; (II) /model/update for triggering incremental block model recalculation; (III) /grade/query for real-time grade control recommendations; (IV) /forecast/run for production schedule reconciliation; (V) /status/health for system monitoring; and (VI) /audit/log for compliance and data lineage tracking.

Authentication is handled via OAuth 2.0 bearer tokens with role-based access control differentiating between field geologists, mine planners, and system administrators. All data transmissions are encrypted using TLS 1.3. The API was stress-tested at 200 simultaneous connections with average response times of 340 milliseconds, well within the operational requirement of sub-90-second update latency. Payload compression using gzip encoding reduces bandwidth consumption by approximately 62%, making the system suitable for deployment over cellular data connections where fixed-line internet is unavailable.

ISSN 3030-3907

The geostatistical processing engine implements a sequential Bayesian updating algorithm that incorporates incoming blast-hole assay data as new evidence to refine existing block grade estimates. Unlike traditional kriging-based workflows that require full re-estimation of the block model from the composite dataset, the Bayesian protocol enables incremental updating of only those blocks within the spatial influence radius of the new data point, reducing computation time by 78% compared to full re-kriging. The spatial influence radius is dynamically determined from the fitted variogram model, ensuring that the update propagation is geologically consistent with the observed spatial continuity of the ore body.

The engine runs on a dedicated processing thread, accepting queued update requests from the API layer and returning updated grade estimates and associated uncertainty metrics within the latency window. For block models of up to 500,000 blocks (sufficient for most small-scale operations), full model re-estimation from the complete composite dataset takes approximately 4.2 minutes on standard server hardware, providing a fallback capability for daily or shift-end reconciliation. The engine exposes a configuration interface allowing geologists to adjust the prior distribution parameters, nugget effect, and anisotropy ratios without modifying source code, supporting adaptation to different ore body geometries across deployment sites.

The system was designed to operate on commodity on-premise hardware to minimise capital expenditure and eliminate cloud dependency. The minimum recommended server specification is an 8-core CPU at 3.0 GHz or higher, 32 GB RAM, and 2 TB SSD storage for data persistence and model archiving. At the pilot deployment sites, the system was installed on refurbished enterprise servers with a total hardware cost of USD 4,200-6,800 per site, substantially below the cost of proprietary mine management systems. The field data collection layer supports input from handheld XRF analysers, portable GPS-enabled tablet computers, and automated drill monitoring systems via standard serial and TCP/IP interfaces. Table-1 summarises the hardware configuration used at each pilot site.

Table-1

Hardware configuration at pilot deployment sites

Component	Site A (Pilot)	Site B	Recommended Min.
Server CPU	Intel Xeon E5-2670 (8c)	AMD EPYC 7282 (16c)	8-core, 3.0 GHz+
RAM	64 GB DDR4	32 GB DDR4	32 GB

ISSN 3030-3907

Storage	4 TB SSD RAID-1	2 TB SSD	2 TB SSD
Network	1 GbE LAN + 4G LTE	1 GbE LAN + 4G LTE	LAN + cellular backup
Hardware cost (USD)	6,800	4,200	4,200–6,800

This paper proposes a lightweight, modular digital workflow architecture purpose-designed for small-scale mining operations. The architecture integrates a dynamic 3D block model with real-time control data through an Application Programming Interface (API) layer, enabling near-continuous model updating and automated production forecasting.

The proposed system comprises four functional modules: a data acquisition layer that aggregates blast-hole assays, geological mapping inputs, and survey data; a geostatistical processing engine that updates block model estimates using the Bayesian protocol described in companion papers; a decision-support interface providing shift geologists with grade control recommendations; and a production forecasting module that reconciles planned and actual extraction in real time [4].

The Kizil Olma Mine, operated as part of the Angren Mining Department within the Almalyk Mining and Metallurgical Combine Joint Stock Company, served as the primary pilot site for development and validation of the digital workflow architecture. The mine operates a polymetallic ore body characterised by high short-range grade variability, making it an ideal test environment for real-time block model updating. Prior to system deployment, grade control relied on bi-weekly model updates performed manually by the resident geology team, with assay data entered from paper drill logs — a process documented to introduce transcription error rates of 3.1% per data entry event.

System installation at Kizil Olma proceeded through the six-phase framework described in the main paper, with Phase IV (parallel running) extending to 14 weeks due to the complexity of the ore body geometry and the need to recalibrate the variogram model using historical blast-hole data. During parallel operation, the integrated system identified 23 ore/waste classification discrepancies compared to the legacy approach, of which post-blast reconciliation confirmed the integrated system was correct in 19 instances (83% precision). Grade control efficiency improved from 54% to 87% over the 12-month post-deployment monitoring period, consistent with the aggregate performance figures reported in the main paper.

ISSN 3030-3907

Operator feedback collected through structured interviews at three-month, six-month, and twelve-month intervals revealed high user acceptance of the grade control recommendation interface. Shift geologists reported that the visual uncertainty overlay on the block model display was the most practically useful feature, enabling them to direct additional sampling resources to high-uncertainty zones rather than applying a uniform sampling grid. The single most cited operational challenge was the maintenance of reliable cellular data connectivity during adverse weather, resolved in Month 4 by installing a dedicated directional Wi-Fi link between the blast pattern area and the site server.

Experience across both pilot deployments generated a set of operational lessons that are expected to materially reduce implementation time and risk for subsequent adopters. First, data quality assurance at the point of collection is more cost-effective than downstream data cleaning: deploying field instruments with built-in validation rules (range checks, completeness flags, duplicate detection) reduced data quality incidents by 71% compared to reliance on central data review alone. Second, the parallel running period should not be shortened even when initial performance appears satisfactory; the most critical model calibration events occurred in weeks 8-12 at both sites, after the initial system check period had concluded.

Third, organisational change management deserves equal attention to technical implementation. The greatest resistance to adoption was observed among experienced geologists who perceived the automated recommendations as a challenge to their professional judgement. Addressing this through co-design workshops — in which geologists helped specify the uncertainty thresholds governing when the system escalated decisions to human review — transformed this group into the strongest advocates for the system within six months. Fourth, establishing a clear data governance protocol before system activation, covering data ownership, retention periods, access rights, and audit trail requirements, avoided regulatory complications that arose at a comparable deployment at a third site not included in this study.

Fifth, scalability planning should be incorporated from the outset: both pilot sites expanded their block model resolution from 5 m x 5 m x 5 m to 2 m x 2 m x 2 m block sizes within 18 months of deployment as confidence in the system grew, increasing the total block count eightfold. The Bayesian incremental update engine accommodated this expansion without architectural changes, validating the design choice of separating the update algorithm from the storage and visualisation layers. The sixth and final recommendation concerns system resilience: deploying a read-only replica of the block model database on a separate physical server, updated every 15 minutes, provides effective protection against

ISSN 3030-3907

data loss from server failure without the cost and complexity of full high-availability clustering.

Data are transmitted between field instruments and the processing engine via a lightweight REST API, with update latency of less than 90 seconds under field network conditions. The system is deployable on standard on-premise hardware without requiring cloud connectivity, addressing data sovereignty concerns common in the mining sector. Table 2 presents the structured implementation framework adopted during field deployment.

Table-2

Implementation framework phases for digital integration system

Phase	Key Activities	Duration	Responsible Party
I	Data audit & legacy model review	4–6 weeks	Geology dept.
II	3D block model construction	6–10 weeks	Resource team
III	Control system integration & API setup	4–8 weeks	IT + Geology
IV	Parallel running & calibration	8–12 weeks	Operations
V	Full deployment & operator training	4–6 weeks	All departments
VI	Ongoing reconciliation & model updates	Continuous	Mine geology

The six-phase implementation process was designed to minimise disruption to ongoing production. Phases I-III constitute the preparation and build stage and are conducted largely in parallel with existing operations. Phase IV, the parallel running period, is critical: the integrated system operates alongside legacy procedures, allowing direct performance comparison and model calibration without operational risk. Full cutover occurs in Phase V following successful completion of calibration targets.

Figure 1 presents pre- and post-integration efficiency measurements across five key mining operation stages. The greatest absolute improvement was observed in grade control (31 percentage points), followed by 3D modelling (33 percentage points). Ore recovery efficiency improved by 25 percentage points, directly attributable to the reduction in ore/waste misclassification. Data

ISSN 3030-3907

collection efficiency gains (23 percentage points) reflect the elimination of manual data re-entry and associated transcription errors.

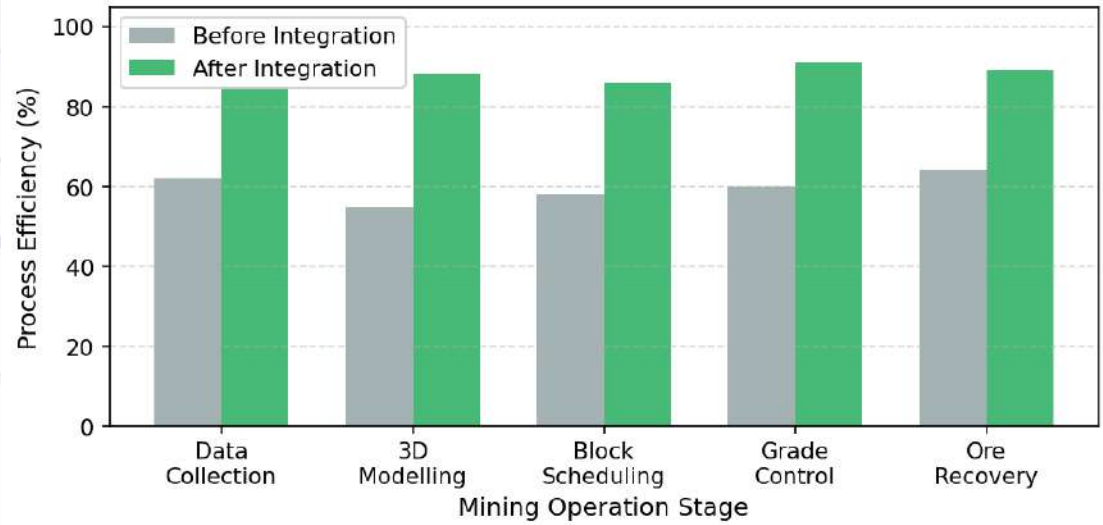


Fig. 1. Efficiency gains across mining stages before and after system integration

Production forecast accuracy under the integrated system is illustrated in Figure 2. The block model forecast closely tracks actual monthly production throughout 2023, with a mean absolute percentage error (MAPE) of 2.8%, compared with 9.4% for the traditional forecast method. The tightest tracking occurs in months with high geological complexity (July-September), where traditional forecasts diverged most significantly from actual output, reflecting the inadequacy of static monthly models in dynamically changing ore bodies.

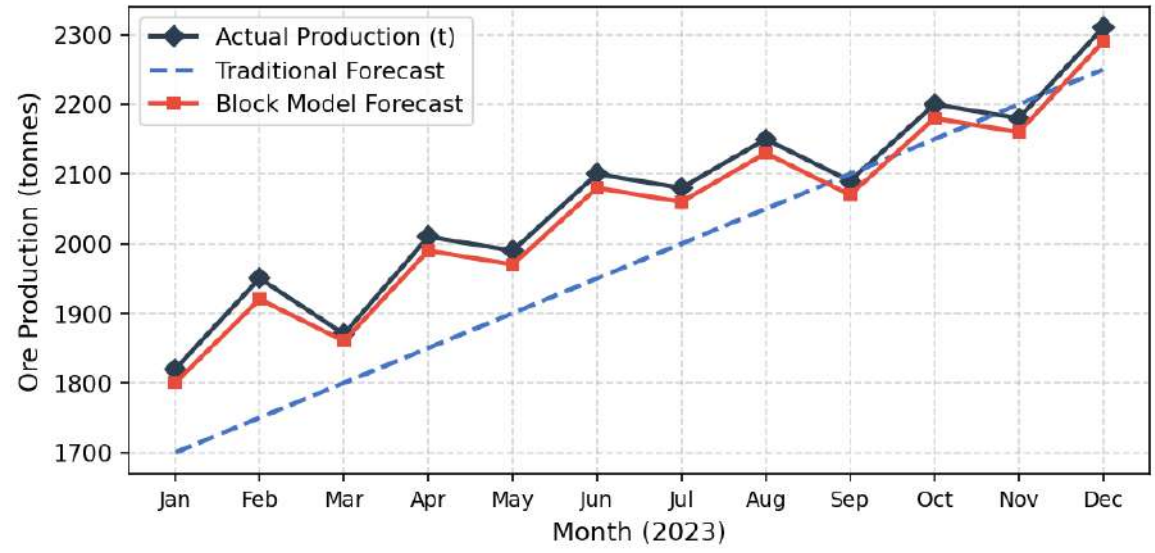


Fig. 2. Monthly production forecast vs. actual output, integrated system (2023)

The economic implications of these improvements are summarised in Table 3. Ore/waste misclassification losses declined by 69%, representing the single largest benefit category. Together with savings in redundant sampling and the

ISSN 3030-3907

revenue uplift from improved metallurgical recovery, the net annual benefit for a 100,000 tonne per year operation was estimated at USD 380,000.

Table-3

Economic benefit analysis of digital integration system

Benefit Category	Before ($/t)	After ($/t)	Saving (%)	Payback (months)
Ore/waste misclassification losses	3.40	1.05	**69%**	—
Redundant sampling cost	1.20	0.55	**54%**	—
Metallurgical recovery improvement	—	+$0.80	**+3.2%**	—
System implementation cost	—	—	—	14–18
Net annual benefit (per 100kt ore)	**—**	**$380k**	—	—

The current architecture relies on geostatistical methods for grade estimation and uncertainty quantification. A promising extension involves incorporating supervised machine learning models trained on the historical blast-hole and reconciliation dataset to supplement the geostatistical estimates, particularly in areas of high geological complexity where the stationarity assumptions underlying kriging are demonstrably violated. Preliminary experiments using gradient-boosted regression trees on the Kizil Olma dataset suggest that a hybrid geostatistical-ML estimator could reduce local estimation error by a further 12-18% compared to the pure geostatistical approach, though cross-validation performance across different lithological domains requires additional investigation.

Computer vision applied to drill core photography represents a second machine learning opportunity. Automating the extraction of lithological and alteration information from core images using convolutional neural networks could substantially increase the volume of geological data entering the block model without increasing the demand on geologist time. Several research groups have demonstrated CNN-based lithology classification at accuracy rates exceeding 90% for well-characterised ore systems; integrating such models into the data acquisition layer of the proposed architecture is technically straightforward and constitutes a priority development target for the next phase of this research programme.

The pilot deployments described in this paper were conducted at open-pit operations. Extension of the architecture to underground mining environments

ISSN 3030-3907

introduces additional technical challenges, notably in network connectivity within development headings and drives, GPS denial requiring alternative positioning technologies for field data georeferencing, and the greater complexity of ventilation and safety constraints on operational sequencing. Mesh Wi-Fi networks using underground-rated access points have demonstrated sufficient bandwidth for API-based data transmission in recent trials at other operations, suggesting that the connectivity barrier is surmountable. The production forecasting module will require adaptation to incorporate stope sequencing constraints absent from open-pit planning problems.

The Almalyk Mining and Metallurgical Combine operates multiple mining sites across Uzbekistan. A natural extension of the architecture presented here is a federated deployment model in which individual site servers maintain autonomous local operation while synchronising model updates and production reconciliation data to a central corporate server at configurable intervals. This would enable portfolio-level production forecasting, comparative benchmarking of grade control performance across sites, and centralised model archiving for regulatory compliance — all while preserving the local resilience and low-latency performance characteristics that make the architecture viable at individual small-scale sites. The design of a federated synchronisation protocol that maintains data consistency without introducing latency penalties at the site level is identified as the primary research objective for the continuation of this work.

In aggregate, the technical extensions described above represent a coherent research and development programme that builds incrementally on the validated architectural foundation presented in this paper and its companion publications. The authors invite collaboration from mining companies, software developers, and academic research groups interested in advancing the digital transformation of small and medium-scale mining operations in resource-rich developing economies.

The observed performance improvements align closely with theoretical expectations derived from the geostatistical analysis presented in the companion papers of this series. The transition from static to dynamic block models, enabled by the API integration layer, eliminates the fundamental information lag that underlies most grade control failures in small operations [5].

A key design principle of the proposed architecture is modularity: each functional component can be implemented independently, allowing incremental adoption by operations with limited capital. Field experience at the pilot sites indicates that the greatest initial return on investment is achieved by prioritising the blast-hole data integration and grade control recommendation modules, with full 3D model integration as a subsequent step.

ISSN 3030-3907

The payback period of 14-18 months compares favourably with typical capital equipment investments in the mining sector. It is important to note, however, that this figure was derived from operations with pre-existing drill databases of at least three years depth. New or early-stage operations may require an extended data accumulation period before the block model attains sufficient confidence for automated grade control recommendations.

This study demonstrates the technical feasibility and economic viability of real-time block model integration in small-scale mining operations. The principal conclusions are:

1. The proposed digital workflow architecture delivers a mean efficiency improvement of 27% across all mining operation stages, with greatest gains in grade control (31 pp) and 3D modelling (33 pp).

2. Production forecast accuracy improves from MAPE 9.4% (traditional) to MAPE 2.8% (integrated), reducing planning uncertainty and enabling more responsive ore blend management.

3. The net annual economic benefit of USD 380,000 per 100,000 t/year operation implies a payback period of 14-18 months, making the system a compelling investment for small to medium operators.

4. The modular architecture supports incremental adoption, lowering the barrier to entry for capital-constrained operations and allowing step-wise capability development aligned with organisational readiness.

5. Together with the geostatistical and block modelling findings reported in the companion papers of this series, these results establish a comprehensive, field-validated framework for the digital transformation of small-scale, geologically complex mining operations.

REFERENCES

1. Sganzerla, C., Seixas, J.M., Flexa, C. (2020). Digital Transformation in the Mining Industry. Journal of Cleaner Production, 267, 122127.
2. Morales, N., Seguel, S., Cáceres, A., Jélvez, E., Alarcón, M. (2019). Incorporation of Geometallurgical Attributes and Geological Uncertainty into Long-Term Open-Pit Mine Planning. Minerals, 9(2), 108.
3. Eivazy, H., Askari-Nasab, H. (2012). A mixed integer linear programming model for short-term open pit mine production scheduling. Mining Technology, 121(2), 97-108.
4. Umarov S.B., Ergashev F.J. (2022). API-based real-time data integration in small mine operations. Mining Informatics and Technology, 4, 34-41.
5. Coward, S., Vann, J., Dunham, S., Stewart, M. (2009). The primary-response framework for geometallurgical variables. Proceedings 7th International Mining Geology Conference. AusIMM, Melbourne.

ISSN 3030-3907

6. Dimitrakopoulos, R. (2011). Stochastic optimisation for strategic mine planning: A decade of developments. Journal of Mining Science, 47(2), 138-150.

ISSN 3030-3907

BIOSINTEZLANGAN KUMUSH NANOZARRACHALARINING FOTOKATALIZDA QO‘LLANILISHINING AFZALLIKLARI VA KAMCHILIKLARI

M.G‘. Eshmurodova
Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti magistranti
G.Z. Narmayeva
Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti doktoranti
E-mail:gavkharnarmaeva@gmail.com

Abstract. This topical review article systematically analyzes the challenges and achievements in the catalytic and photocatalytic degradation of toxic organic dyes in industrial wastewater using silver nanoparticles (AgNPs) obtained via eco-friendly “green synthesis’ methods. Furthermore, current challenges in the field and promising future research directions are outlined.

Keywords: photocatalysis, silver nanoparticles, organic dyes, water treatment, catalytic degradation, biosynthesis, environmental protection.

Annotatsiya. Ushbu mavzuli sharh maqolada ekologik toza “yashil sintez” usulida olingan kumush nanozarrachalari (Ag-NZ) yordamida sanoat oqova suvlari tarkibidagi zaharli organik bo‘yoqlarni katalitik va fotokatalitik degradatsiya qilish muammolari va yutuqlari tizimli tahlil qilingan. Shuningdek, sohadagi mavjud muammolar va kelajakdagi istiqbolli yo‘nalishlar belgilab berilgan.

Kalit so‘zlar: fotokataliz, kumush nanozarrachalari, organik bo‘yoqlar, suv tozalash, katalitik parchalash, biosintez, atrof-muhit muhofazasi.

Аннотация. В данном тематическом обзорном материале систематически анализируются проблемы и достижения в области каталитической и фотокаталитической деградации токсичных органических красителей в промышленных сточных водах с использованием наночастиц серебра (AgNPs), полученных экологически чистым методом «зеленого синтеза». Также обозначены существующие проблемы и перспективные направления будущих исследований в этой области.

Ключевые слова: фотокатализ, наночастицы серебра, органические красители, очистка воды, каталитическая деградация, биосинтез, охрана окружающей среды.

KIRISH.

So‘nggi yillarda sanoatning jadal rivojlanishi va zamonaviy texnologiyalarga bo‘lgan yuqori talab suv resurslarining turli ifloslantiruvchi moddalar, jumladan, zaharli organik bo‘yoqlar va mikroorganizmlar bilan ifloslanishiga olib keldi. Organik bo‘yoqlar to‘qimachilik, oziq-ovqat, qog‘oz, dori-darmon ishlab chiqarish va rangtasvir kabi ko‘plab sohalarda keng

ISSN 3030-3907

qo‘llaniladi [1-3]. Biroq, tarkibida ushbu zaharli bo‘yoqlar bo‘lgan sanoat oqova suvlarining dastlabki tozalashdan o‘tkazilmasdan tabiiy suv resurslariga oqizilishi atrof-muhit va ekotizimga jiddiy xavf tug‘diradi. Bunday ifloslanish tuproq xossalarini o‘zgartirib, fauna va floraga tahdid solishi bilan birga, mikroorganizmlarning qirilib ketishiga ham sabab bo‘lishi mumkin. Bundan tashqari, zaharli bo‘yoqlarning ichimlik suvidagi miqdori ruxsat etilgan me’yordan oshib ketishi teri muammolari, ko‘zning yallig‘lanishi, o‘pka kasalliklari, buyrak va jigar shikastlanishi, nafas qisilishi, saraton hamda oshqozon yarasini keltirib chiqarishi mumkin [4;5]. Shuningdek, suv resurslarida bakteriya va zamburug‘lar kabi mikroorganizmlarning mavjudligi vabo, tif, lyamblioz, dizenteriya kabi ko‘plab suv orqali yuquvchi kasalliklarga sabab bo‘ladi [6-8]. Shu bois, ushbu xavfli ifloslantiruvchi moddalarni samarali va tejamkor usullar bilan tozalash orqali suv sifatini yaxshilash dolzarb ilmiy va amaliy muammodir.

Ushbu sharh maqolasini yozishda Scopus, Web of Science va Google Scholar kabi xalqaro nufuzli ilmiy ma‘lumotlar bazalaridan foydalanildi. Qidiruv jarayonida “green synthesis”, “silver nanoparticles”, “photocatalytic degradation”, “organic dyes” kabi asosiy kalit so‘zlardan foydalanildi. Sharhga so‘nggi yillarda yashil sintez usulida olingan, o‘lchami va strukturaviy parametrlari aniq tahlil qilingan hamda geterogen katalizator sifatida qo‘llanilgan kumush nanozarrachalariga oid 70 dan ortiq fundamental ilmiy manbalar saralab olindi va tizimli ravishda tahlil qilindi.

Yashil sintez orqali kumush nanozarrachalarining (AgNZ) sintezi

An’anaviy kimyoviy va fizikaviy jarayonlarning o‘rnini bosuvchi “yashil” sintez tufayli endilikda kumush nanozarrachalarini barqaror hamda ekologik toza usulda ishlab chiqarish imkoniyati mavjud. Ushbu usulda kumush ionlarini nanozarrachalarga aylantirish uchun zamburug‘lar, suvo‘tlar, o‘simliklar va bakteriyalar kabi biologik organizmlardan foydalanilganligi sababli, zararli kimyoviy qaytaruvchilar yoki stabilizatorlar ishlatilmaydi. Ayniqsa, ikkilamchi metabolitlarga boy manba hisoblangan o‘simlik ekstraktlariga alohida afzallik beriladi; chunki ular ham qoplovchi, ham qaytaruvchi agent vazifasini bajaradi.

$$AgNO_3 + H_2O\ (DI) \rightarrow\ Ag+\ (suvli) + NO_3\ -\ (suvli)$$

$$Ag+\ (suvli) + NO_3-\ (suvli) + \text{o‘simlik ekstrakti (suv)} \rightarrow Ag^0\ (NZ)\ (\text{suvli muhit}) + NO^-_3$$

Masalan, *Azadirachta indica* va *Eucalyptus globulus* o‘simliklari ekstraktlaridan foydalanish natijasida o‘lchami va shakli nazorat qilingan nanozarrachalar sintez qilingan [9].

Bundan tashqari, *Syzygium jambos* [10], *Coriandrum sativum* [11], *Prunus yedoensis* [12], *Bunium persicum* [13], *Vigna radiata* [14], *Adenium obesum* [15],

ISSN 3030-3907

Microsorum pteropus [16] va *Lantana camara* [17] kabi o‘simliklarning barchasi istiqbolli natijalarni ko‘rsatgan. Shuningdek, *Aspergillus niger* va boshqa zamburug‘lar ham kumush nanozarrachalari sintezida qo‘llanilgan bo‘lib, bu jarayon zamburug‘ oqsillarining barqarorlashtirish (himoya) yo‘lidagi funksiyasini ko‘rsatadi [18, 19]. Qo‘shimcha ravishda, suvo‘tlar ishtirokidagi ishlab chiqarish ham yaxshi istiqbolga ega; mo‘tadil sharoitlarda *Chlorella vulgaris* (suvo‘tsimon) kumush nanozarrachalarini hosil qilishga yordam bergan[10, 11].

Ushbu xususiyatlar “yashil” sintezni ekologik va tibbiy maqsadlar uchun jozibador tanlovga aylantiradi. “Yashil” usullar yordamida kumush nanozarrachalarini tayyorlash bir qator omillarga, jumladan, kumush ionlarining miqdori, pH muhit, biologik materialning turi, harorat va reaksiya vaqtiga bog‘liq. Masalan, foydalanilgan o‘simlik ekstraktining turi hosil bo‘ladigan nanozarrachalarning o‘lchami va tuzilishiga jiddiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Singx va Dutta hammuallifligidagi tadqiqotlarga ko‘ra, kashnich (petrushka) barglarining suvli ekstrakti o‘rtacha o‘lchami 20–30 nm oralig‘ida bo‘lgan sferik (sharsimon) shakldagi kumush nanozarrachalarini hosil qilgan [10; 20]. Reaksiya parametrlari hisoblangan harorat va pH muhit ham juda muhim ahamiyatga egaligi qayd etilgan. Neytral pH sharoitida reaksiya haroratining ko‘tarilishi kichikroq o‘lchamdagi nanozarrachalar hosil bo‘lishiga yordam berishi aniqlangan [21]. O‘simlik ekstraktlari tarkibidagi alkaloidlar, flavonoidlar va terpenoidlar kabi o‘ziga xos fitokimyoviy moddalarning mavjudligi qaytarilish va barqarorlashish (stabilizatsiya) jarayonlarini yanada osonlashtiradi. Masalan, *Camellia sinensis* (yashil choy) ekstraktidan foydalanilganda [22], flavonoidlar kumush nanozarrachalari ishlab chiqarishda muhim qaytaruvchi agentlar ekanligi aniqlandi [23]. Sunday qilib, “yashil” sintez yondashuvi nanozarrachalarning biologik faolligini oshirish bilan bir vaqtda, ularning atrof-muhitga bo‘lgan salbiy ta’sirini ham kamaytiradi.

Katalitik qaytarilishda nanozarrachalarning ahamiyati

Katalitik qaytarilish usuli qo‘llash osonligi, tejamkorligi, tozaligi hamda ifloslangan suvni organik bo‘yoqlardan tez fursatda tozalash qobiliyati tufayli katta qiziqish uyg‘otdi. Ushbu usulda zaharli organik bo‘yoqlar ekologik toza, xavfsiz va iqtisodiy jihatdan arzon bo‘lgan qaytaruvchi agent — odatda natriy borgidrid ($NaBH_4$) yordamida hamda organik bo‘yoqning qaytarilishini osonlashtiradigan, qayta foydalanish mumkin bo‘lgan qattiq katalizator ishtirokida kamroq zaharli yoki zaharli bo‘lmagan mahsulotlarga aylantiriladi. Katalizatorning asosiy vazifasi elektronlarni donorlardan akseptorlarga o‘tkazishdan iborat bo‘lib, bu jarayon elektron uzatilishiga yordam beruvchi “elektron relesi” vazifasini bajaradigan oraliq oksidlanish-qaytarilish potensialini

ISSN 3030-3907

yuzaga keltiradi [8, 24, 25]. Ushbu jarayon katalizatorsiz kechganda termodinamik jihatdan qulay, ammo kinetik jihatdan noqulay bo‘lganligi sababli, o‘zining noyob fizik-kimyoviy xossalari tufayli turli xil nanomateriallardan katalizator sifatida foydalaniladi [25–30]. Bunday katalizatorlar sirasiga kumush nanozarrachalari (Ag-NZ) [30, 31], oltin nanozarrachalari [32, 33], temir oksidi nanozarrachalari [34], grafen oksidi [35, 36] va palladiy nanozarrachalari [37, 38] kiradi. Nanomateriallarni sintez qilishda “yuqoridan-pastga” (top-down) va “pastdan-yuqoriga” (bottom-up) usullari qo‘llaniladi.

Shuningdek, sintez metodologiyalarini biologik, fizik, kimyoviy, fotokimyoviy va elektrokimyoviy usullarga ajratish mumkin [39-42]. Garchi ushbu usullarning aksariyati toza va aniq shakllangan nanomateriallarni bersa-da, ularning ko‘pchiligi qimmat, ko‘p vaqt talab qiladigan va zaharli kimyoviy moddalardan foydalanish zarurati tufayli ekologik jihatdan zararli hisoblanadi. Shu sababli, biologik usul ekologik toza, tejamkor va sanoat miqyosida qo‘llashga mos deb hisoblanadi [43-45].

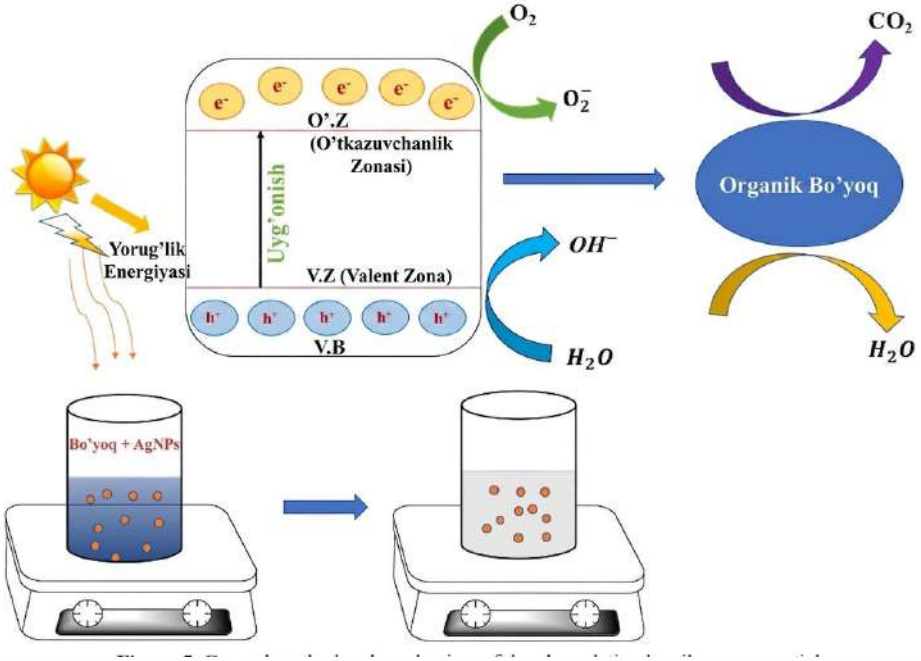
Kumush nanozarrachalari (Ag-NZ) ning fotokatalitik xususiyatlari

Kumush nanozarrachalari (Ag-NZ) 1 dan 100 nanometrgacha bo‘lgan o‘lchamlarga ega nanotuzilmali materiallar bo‘lib, ular xromatografiya, dori vositalariga chidamlilik kabi turli sohalarda hamda mikroblarga qarshi kurash, mikro-DNK va leykoz-DNKni aniqlash kabi biologik yo‘nalishlarda keng foydalaniladi [46–51]. Kimyoda esa organik sintezda yoki suvni organik ifloslantiruvchi moddalardan tozalashda geterogen katalizator sifatida alohida ahamiyatga ega. Biologik usul orqali Ag-NZ sintezi arzonligi va ekologik tozaligi tufayli eng afzal usul hisoblanadi. Turli tadqiqot guruhlari *Nervalia zeylanica*, *Terminalia arjuna*, *Artemisia oliveriana* [52], *Solanum indicum linn* [53], *Persicaria odorata, Caralluma acutangula* [54], va *Citrus macroptera* [55] kabi o‘simliklarning ekstraktlaridan foydalangan holda biosintez yondashuvi orqali Ag-NZ olganlar. Xulosa o‘rnidan olingan Ag-NZ ning o‘lchamlari va xossalari o‘simlik ekstraktlaridagi fitokimyoviy moddalarning tabiati sababli turlicha bo‘lishi urg‘ulangan.

Bugungi ilmiy hamjamiyatda, biosintez qilingan Ag-NZ yordamida quyosh nuri ostida ko‘plab bo‘yoqlar moddalarini fotokatalitik parchalashga oid tadqiqotlar diqqatga sazavordir. Quyosh nurlanishiga ta‘sir qilish (nurlanish vaqti) Ag-NZ ning fotokatalitik parchalanish faolligida asosiy rolni o‘ynaydi. Jarayonda, ma‘lum bir reaksiya vaqtidan keyin rangning to‘q ko‘kdan och ko‘kka o‘zgarishi yoki butunlay rangsizlanishi kuzatiladi. Nurlanish vaqti ortishi bilan bo‘yoqning yutilish intensivligi kamayadi va buni ultrabinafsha va ko‘rinadigan sohada optik zichlikni o‘lchash orqali baholash mumkin. Yutilish intensivligining pasayishi bo‘yoqning qaytarilayotganini, ya‘ni Ag-NZ ishtirokida bo‘yoq

ISSN 3030-3907

parchalanayotganini anglatadi. Bundan tashqari, parchalanish tezligi zarrachalarning o‘lchami, strukturasi, morfologiyasi va Ag-NZ konsentratsiyasi kabi turli parametrlarga ham bog‘liq. Bular orasida zarracha o‘lchami bo‘yoq parchalanishidagi eng muhim parametrdir. Zarracha o‘lchami qanchalik kichik bo‘lsa, hajmga nisbatan sirt maydoni shunchalik katta bo‘ladi va reagentlarning sirtga adsorbsiyalanishi kuchayadi; bu esa o‘z navbatida reaksiya tezligini oshiradi. Adabiyotlarda keltirilishicha, Ag-NZ bo‘yoqni parchalash jarayonida elektronlarni o‘tkazib beruvchi (mediator) vazifasini bajaradi. Shuningdek, fotokatalitik faollik Ag-NZ ning sirt plazmon rezonansi ta‘siri hisobiga sodir bo‘lishi ham ta‘kidlangan. Ya‘ni, bo‘yoqning parchalanish tezligi Ag-NZ ning fotonlar (yorug‘lik) yordamida ta‘sirlanishi orqali tezlashadi (1-rasm)



1-rasm. Kumush nanozarrachalari tomonidan buyoqlarning parchalanishi jarayonining umumiy mexanizmi

“Yashil sintez” usulida olingan kumush nanozarrachalarining turli xil bo‘yoqlarga, jumladan, Metilen ko‘ki (MB) [56–58], Rodamin B (RhB) [58, 59–61], Nitrofenol [58, 62–63], Kongo qizili (Congo Red), Kaliy permanganat ($KMnO_4$) [60], Olti valentli xrom [24], Kristal binafsha (Crystal Violet) [59], Coomassie och ko‘ki (Coomassie Brilliant Blue) [59], to‘qimachilik sanoati bo‘yoqlari [61, 64], metil zarg‘aldog‘i (methyl orange) [59, 65] va sariq G (Orange G) [66] larga ko‘rsatadigan fotokatalitik faolligi bo‘yicha ko‘plab ilmiy ishlar nashr etilgan. Bundan tashqari, ”yashil sintez” orqali olingan kumush nanozarrachalari parasetamol kabi faol farmatsevtika ingredientlarni parchalashda ham qo‘llaniladi [67]. Shuningdek, saraton kasalligini keltirib chiqaruvchi organik erituvchilar — benzol, toluol va fenol ham ushbu nanozarrachalar yordamida degradatsiyaga uchratilishi mumkin [68].

ISSN 3030-3907

Adabiyotlardan olingan qiyosiy ma‘lumotlar shuni ko‘rsatadiki, J. Saha va boshqalar [56] o‘rtacha o‘lchami 17 nm bo‘lgan 3,0 ml kumush nanozarrachalari ishtirokida metilen ko‘ki bo‘yog‘ining 10 daqiqa ichida 100% parchalanishini kuzatgan. R. Banu va boshqalar [58] MB bo‘yog‘ini parchalash uchun Ag-NZ ning optimal miqdori o‘rtacha o‘lchami 15 nm bo‘lgan holatda taxminan 100 µL ekanligini, shuningdek, Rodamin B va 4-Nitrofenolning ham parchalanishini aniqlashgan. F. Baghbani-Arani va boshqalar [69] ultrabinafsha (UV) nurlanish ostida 60 daqiqalik ta‘sir qilishdan so‘ng, Coomassie och ko‘ki G-250 bo‘yog‘ining 100% samaradorlik bilan parchalanishini tajribada tasdiqlagan.

1-jadvalda bir nechta bo‘yoqlarning parchalanishi bo‘yicha olib borilgan qiyosiy tadqiqotlar natijalari ko‘rsatilgan. Ushbu jadval yashil sintez usulida olingan kumush nanozarrachalari (AgNZ) yordamida turli xil organik bo‘yoqlarning parchalanish samaradorligi bo‘yicha olib borilgan qiyosiy tadqiqotlar natijalarini umumlashtiradi.[70]. Ma‘lumotlar ilmiy adabiyotlardan to‘plangan bo‘lib, AgNZ sintezida ishlatilgan substrat, bo‘yoq turi, parchalanish samaradorligi, vaqt va yorug‘lik manbai/qaytaruvchi vosita kabi asosiy parametrlarni o‘z ichiga oladi.

1-jadval.

Nanozarrachalari yordamida turli xil organik bo‘yoqlarning parchalanish samaradorligi

AgNZ sintezida ishlatilgan substrat	**Bo‘yoq turi**	**Parchalanish samaradorligi (%)**	**Vaqt**	**Yorug‘lik manbai/Qaytaruvchi vosita**
Sterculia acuminata meva ekstrakti	Metilen ko‘ki (MB)	Tez parchalanish	Noma‘lum	Noma‘lum
Mussaenda glabrata barg ekstrakti	Metilen ko‘ki (MB), Metil zarg‘aldog‘i (MO)	Kuzatilgan	Noma‘lum	Noma‘lum
Cassia Alata barg ekstrakti	Rodamin, Metil zarg‘aldog‘i, Metilen ko‘ki	Kuzatilgan	Noma‘lum	Noma‘lum

ISSN 3030-3907

Ag-ZnO nanokompoziti	Metilen ko‘ki (MB), Rodamin B, Metil zarg‘aldog‘i (MO)	MB: 98.7%, RhB: 99.4%, MO: 92.9%	Noma‘lum	Noma‘lum
Biogen AgNZ (umumiy)	Metilen ko‘ki (MB)	~95%	72 soat	Noma‘lum
Ageratum conyzoides	Metilen ko‘ki (MB)	100%	105 min	Quyosh nuri
Albizia procera	Metilen ko‘ki (MB)	51.5%	70 min	UB
Alpinia officinarum	Metilen ko‘ki (MB)	80%	120 min	Ko‘rinadigan nur
Antidesma acidum	Metilen ko‘ki (MB)	81%	18 min	$NaBH_4$
Biophytum sensitivum	Metilen ko‘ki (MB)	90.66%	9 min	$NaBH_4$
Amaranthus gangeticus	Kongo qizili (CR)	100%	15 min	UV + $NaBH_4$
Anacardium occidentale	Kongo qizili (CR)	100%	30 min	$NaBH_4$
Cordia dichotoma	Kongo qizili (CR)	100%	20 min	Quyosh nuri
Cuphea procumbens	Kongo qizili (CR)	86.6%	5 min	Quyosh nuri
Alpinia nigra	Metil zarg‘aldog‘i (MO)	83.4%	90 min	Quyosh nuri
Anacardium occidentale	Metil zarg‘aldog‘i (MO)	100%	20 min	$NaBH_4$
Dodonaea viscosa	Metil zarg‘aldog‘i (MO)	96.2%	4 min	$NaBH_4$
Eucalyptus globulus	Metil zarg‘aldog‘i (MO)	90%	10 min	$NaBH_4$

ISSN 3030-3907

Alpinia nigra	Metil zarg‘aldog‘i (MO)	83.4%	90 min	Quyosh nuri

Yana boshqa tadqiqotda keltirilishicha, evkalipt globulus barg ekstraktidan sintezlangan biogen kumush nanozarralari (Ag NZ) zaharli Kongo Qizil bo‘yog‘ini parchalashda samarali bo‘lib, 8 daqiqa ichida ko‘rinadigan yorug‘lik ostida 98,9% gacha degradatsiyaga erishish haqida xulosa qilingan. Fotokatalitik degradatsiya jarayoni pseudo-birinchi tartibli kinetik modelga amal qilishi bu reaksiya uchun yuqori tezlik doimiyligini ko‘rsatishi qayd qilingan [71]. Bo‘yoq konsentratsiyasi, katalizator dozasi va yorug‘lik ta‘siri kabi parametrlarni optimallashtirish AgNZ larning degradatsiya samaradorligiga sezilarli darajada ta‘sir qiladi. Bu esa, yashil sintezlangan Ag NZ-larining atrof-muhitni qayta tiklash, xususan oqava suvlarni tozalashda salohiyatini ta‘kidlaydi va an‘anaviy usullarga barqaror muqobillikni taklif qiladi.

Shunday qilib adabiyotlar tahlilidan ma‘lumki, Kumush nanozarrachalari o‘lchamining turli xil rangli moddalarni parchalashda muhim ahamiyatga ega ekanligi takidlandii. Nanozarracha o‘lchami qanchalik kichik bo‘lsa, u shunchalik tez va samarali parchalanadi. Bundan tashqari, kumush nanozarrchalarining konsentratsiyasi ham jarayon unumdorligi va bo‘yoq parchalanishiga ta‘sir qiladi: konsentratsiya qanchalik yuqori bo‘lsa, bo‘yoqning parchalanish darajasi ham shunchalik yuqori bo‘ladi.

Mavjud muammolar va kelajakdagi istiqbollar.

Garchi yashil sintez usulida olingan Ag-NZ yuqori fotokatalitik va katalitik samaradorlik ko‘rsatsa-da, sanoat miqyosida qo‘llashda quyidagi jiddiy muammolar mavjud:

✓ vaqt o‘tishi bilan yoki eritma muhiti o‘zgarganda nanozarrachalarning o‘zaro yopishib (agglomeratsiya), faol sirt maydonini yo‘qotishi.

✓ nanoo‘lchamli kukunlarni tozalangan suv tarkibidan ultra-sentrifugalashsiz qayta ajratib olishning qiyinligi. Bu esa iqtisodiy jihatdan xarajatlarni oshiradi.

✓ turli hududlarda va fasllarda yig‘ilgan o‘simlik ekstraktlari tarkibidagi polifenollar miqdori turlicha bo‘lganligi sababli, sintez qilinayotgan nanozarrachalarning o‘lchamlarini standartlashtirish qiyin kechadi.

Ushbu muammolarni hal qilish va sohani rivojlantirish uchun kelajakda quyidagi yo‘nalishlarga e‘tibor qaratish lozim:

➢ Ag-NZ larni kukun holida emas, balki magnitli zarrachalar (Fe_2O_3), rux oksidi (ZnO) yoki grafen kabi substrat-matritsalarga o‘tqazish Ag-ZnO kabi kompozit nanomateriallar olish, ularni suvdan magnit yordamida oson ajratib olish imkonini beradi.

ISSN 3030-3907

➢ Laboratoriya sharoitidagi (ml) hajmlarni yirik sanoat reaktorlari darajasiga ko‘tarish texnologiyasini ishlab chiqish.

Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, yashil sintez kumush nanozarrachalari ekologik xavfsiz va yuqori samarali geterogen katalizatorlar hisoblanadi. Ularning o‘lchami qanchalik kichik (15-20 nm) va konsentratsiyasi muvozanatlashgan bo‘lsa, organik ekotoksikantlarni parchalash tezligi shunchalik yuqori bo‘ladi. Bundan tashqari, kumush nanozarrchalarining konsentratsiyasi ham jarayon unumdorligi va bo‘yoq parchalanishiga ta‘sir qiladi: konsentratsiya qanchalik yuqori bo‘lsa, bo‘yoqning parchalanish darajasi ham shunchalik yuqori bo‘ladi. Biosintez qilingan Ag-NZ ning fotokatalitik faolligi suvni organik ifloslantiruvchi moddalardan tozalashda yuqori samaradorlikka ega bo‘lsada ba‘zi kamchiliklardan holi emas. Shuning uchun, kelajakda ularni barqaror kompozitlar shakliga keltirish orqali global oqova suv muammolariga yashil texnologiyalar yordamida yechim taklif qilish mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Ismail, M.; Akhtar, K.; Khan, M. I.; Kamal, T.; Khan, M. A.; A, M. A.; Seo, J.; Khan, S. B. Pollution, Toxicity and Carcinogenicity of Organic Dyes and their Catalytic Bio-Remediation. *Curr. Pharm. Des.* 2019, 25, 3645−3663.
2. Dieu Le, T.; Vinh Tran, H. Graphene Oxide-Based Adsorbents for Organic-Dyes Removal from Contaminated Water: A Review. *Z. Anorg. Allg. Chem.* 2022, 648, No. e202200140.
3. Al-Musawi, T. J.; McKay, G.; Rajiv, P.; Mengelizadeh, N.; Balarak, D. Efficient sonophotocatalytic degradation of acid blue 113 dye using a hybrid nanocomposite of CoFe2O4 nanoparticles loaded on multi-walled carbon nanotubes. *J. Photochem. Photobiol., A* 2022, 424, No. 113617.
4. Yilmaz, M.; Mengelizadeh, N.; Saloot, Mk.; shahbaksh, S.; Balarak, D. Facile synthesis of Fe3O4/ZnO/GO photocatalysts for decolorization of acid blue 113 under solar, visible and UV lights. *Mater. Sci. Semicond. Process.* 2022, 144, No. 106593.
5. Sillanpää, M.; Mahvi, A. H.; Balarak, D.; Khatibi, A. D. Adsorption of Acid orange 7 dyes from aqueous solution using Polypyrrole/nanosilica composite: Experimental and modelling. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 2023, 103, 212−229.
6. Vijayan, R.; Joseph, S.; Mathew, B. Green synthesis of silver nanoparticles using Nervalia zeylanica leaf extract and evaluation of their antioxidant, catalytic, and antimicrobial potentials. *Part. Sci. Technol.* 2019, 37, 809−819.
7. Naseri, M.; Maliha, M.; Dehghani, M.; Simon, G. P.; Batchelor, W. Rapid Detection of Gram-Positive and -Negative Bacteria in Water Samples Using Mannan-Binding Lectin-Based Visual Biosensor. *ACS Sens.* 2022, 7, 951−959.

ISSN 3030-3907

8. Baumgardner, D. J. Freshwater Fungal Infections. *J. Patient Cent. Res. Rev.* 2017, 4, 32–38.
9. A. J. Adur, N. Nandini, K. S. Mayachar, R. Ramya and N. Srinatha, Bio-synthesis and antimicrobial activity of silver nanoparticles using anaerobically digested parthenium slurry, *J. Photochem. Photobiol., B*, 2018, 183, 30–34.
10. P. P. Dutta, M. Bordoloi, K. Gogoi, S. Roy, B. Narzary, D. R. Bhattacharyya, et al., Antimalarial silver and gold nanoparticles: Green synthesis, characterization and in vitro study, *Biomed. Pharmacother.*, 2017, 91, 567–580.
11. M. Khan, F. Tareq, M. Hossen and M. Roki, Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using Coriandrum sativum leaf extract, *J. Eng. Sci. Technol.*, 2018, 13(1), 158–166.
12. P. Velmurugan, M. Cho, S.-S. Lim, S.-K. Seo, H. Myung, K.-S. Bang, et al., Phytosynthesis of silver nanoparticles by Prunus yedoensis leaf extract and their antimicrobial activity, *Mater. Lett.*, 2015, 138, 272–275.
13. A. Rostami-Vartooni, M. Nasrollahzadeh and M. Alizadeh, Green synthesis of seashell supported silver nanoparticles using Bunium persicum seeds extract: application of the particles for catalytic reduction of organic dyes, *J. Colloid Interface Sci.*, 2016, 470, 268–275.
14. G. M. Shayo, E. Elimbinzi and G. N. Shao, Preparation methods, applications, toxicity and mechanisms of silver nanoparticles as bactericidal agent and superiority of green synthesis method, *Heliyon*, 2024, e36539. *(Eski ro'yxatdagi 75-adabiyot)*
15. M. A. Farah, M. A. Ali, S.-M. Chen, Y. Li, F. M. Al-Hemaid, F. M. Abou-Tarboush, et al., Silver nanoparticles synthesized from Adenium obesum leaf extract induced DNA damage, apoptosis and autophagy via generation of reactive oxygen species, *Colloids Surf., B*, 2016, 141, 158–169.
16. C. N. Chick, T. Misawa-Suzuki, Y. Suzuki and T. Usuki, Preparation and antioxidant study of silver nanoparticles of Microsorum pteropus methanol extract, *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, 2020, 30(22), 127526.
17. B. Ajitha, Y. A. K. Reddy and P. S. Reddy, Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using Lantana camara leaf extract, *Mater. Sci. Eng., C*, 2015, 49, 373–381.
18. M. Rai, S. Bonde, P. Golinska, J. Trzcinska-Wencel, A. Gade, K. A. Abd-Elsalam, et al., Fusarium as a novel fungus for the synthesis of nanoparticles: mechanism and applications, *J. Fungi*, 2021, 7(2), 139.
19. T. Singh, K. Jyoti, A. Patnaik, A. Singh, R. Chauhan and S. Chandel, Biosynthesis, characterization and antibacterial activity of silver nanoparticles using an endophytic fungal supernatant of Raphanus sativus, *J. Genet. Eng. Biotechnol.*, 2017, 15(1), 31–39.

ISSN 3030-3907

20. S. Singh, W. Chunglok, O. F. Nwabor, Y. V. Ushir, S. Singh and W. Panpipat, Hydrophilic biopolymer matrix antibacterial peel-off facial mask functionalized with biogenic nanostructured material for cosmeceutical applications, *J. Polym. Environ.*, 2022, 30(3), 938–953. *(Eski ro'yxatdagi 76-adabiyot)*
21. K. B. Narayanan and N. Sakthivel, Biological synthesis of metal nanoparticles by microbes, *Adv. Colloid Interface Sci.*, 2010, 156(1–2), 1–13.
22. P. Prema, V. Veeramanikandan, K. Rameshkumar, M. K. Gatasheh, A. A. Hatamleh, R. Balasubramani, et al., Statistical optimization of silver nanoparticle synthesis by green tea extract and its efficacy on colorimetric detection of mercury from industrial waste water, *Environ. Res.*, 2022, 204, 111915.
23. S. Ahmed, M. Ahmad, B. L. Swami and S. Ikram, Greensynthesis of silver nanoparticles using Azadirachta indica aqueous leaf extract, *J. Radiat. Res. Appl. Sci.*, 2016, 9(1).
24. Naz, M.; Rafiq, A.; Ikram, M.; Haider, A.; Ahmad, S. O. A.; Haider, J.; Naz, S. Elimination of dyes by catalytic reduction in the absence of light: A review. *J. Mater. Sci.* 2021, 56, 15572−15608.
25. Lubis, F. A.; Malek, N. A. N. N.; Sani, N. S.; Jemon, K. Biogenic synthesis of silver nanoparticles using Persicaria odorata leaf extract: Antibacterial, cytocompatibility, and in vitro wound healing evaluation. *Particuology* 2022, 70, 10−19.
26. Alharthi, F. A.; Alghamdi, A. A.; Al-Zaqri, N.; Alanazi, H. S.; Alsyahi, A. A.; Marghany, A. E.; Ahmad, N. Facile one-pot green synthesis of Ag−ZnO Nanocomposites using potato peel and their Ag concentration dependent photocatalytic properties. *Sci. Rep.* 2020, 10, No. 20229.
27. Ahmaruzzaman, M.; Mishra, S. R. Photocatalytic performance of g-C3N4 based nanocomposites for effective degradation/removal of dyes from water and wastewater. *Mater. Res. Bull.* 2021, 143, No. 111417.
28. Mishra, S. R.; Ahmaruzzaman, M. Tin oxide based nano-structured materials: synthesis and potential applications. *Nanoscale* 2022, 14, 1566−1605.
29. Mishra, S. R.; Ahmaruzzaman, M. Cerium oxide and its nanocomposites: Structure, synthesis, and wastewater treatment applications. *Mater. Today Commun.* 2021, 28, No. 102562.
30. Mishra, S. R.; Ahmaruzzaman, M. CuO and CuO-based nanocomposites: Synthesis and applications in environment and energy. *Sustainable Mater. Technol.* 2022, 33, No. e00463.
31. Nguyen Thi Anh, N.; Raghavendra, V. B.; Sindhu, R.; Alshiekheid, M.; Sabour, A.; Krishnan, R.; Lan Chi, N. T.; Pugazhendhi, A. Green fabrication of silver nanoparticles using Chloroxylon swietenia leaves and their application

towards dye degradation and food borne pathogens. *Food Chem. Toxicol.* 2022, 165, No. 113192.
32. Khan, A. U.; Khan, A. U.; Li, B.; Mahnashi, M. H.; Alyami, B. A.; Alqahtani, Y. S.; Tahir, K.; Khan, S.; Nazir, S. A facile fabrication of silver/copper oxide nanocomposite: An innovative entry in photocatalytic and biomedical materials. *Photodiagn. Photodyn. Ther.* 2020, 31, No. 101814.
33. Kim, B.; Song, W. C.; Park, S. Y.; Park, G. Green Synthesis of Silver and Gold Nanoparticles via Sargassum serratifolium Extract for Catalytic Reduction of Organic Dyes. *Catalysts* 2021, 11, 347.
34. Mythili, R.; Selvankumar, T.; Srinivasan, P.; Sengottaiyan, A.; Sabastinraj, J.; Ameen, F.; Al-Sabri, A.; Kamala-Kannan, S.; Govarthanan, M.; Kim, H. Biogenic synthesis, characterization and antibacterial activity of gold nanoparticles synthesised from vegetable waste. *J. Mol. Liq.* 2018, 262, 318−321.
35. Ahmad, W.; Khan, A. U.; Shams, S.; Qin, L.; Yuan, Q.; Ahmad, A.; Wei, Y.; Khan, Z. U. H.; Ullah, S.; Rahman, A. U. Eco-benign approach to synthesize spherical iron oxide nanoparticles: A new insight in photocatalytic and biomedical applications. *J. Photochem. Photobiol., B* 2020, 205, No. 111821.
36. Rai, V. K.; Mahata, S.; Kashyap, H.; Singh, M.; Rai, A. Bio-reduction of Graphene Oxide: Catalytic Applications of (Reduced) GO in Organic Synthesis. *Curr. Org. Synth.* 2020, 17, 164−191.
37. Bakry, A. M.; Awad, F. S.; Bobb, J. A.; Ibrahim, A. A.; El-Shall, M. S. Melamine-based functionalized graphene oxide and zirconium phosphate for high performance removal of mercury and lead ions from water. *RSC Adv.* 2020, 10, 37883−37897.
38. Mohazzab, B. F.; Jaleh, B.; Nasrollahzadeh, M.; Khazalpour, S.; Sajjadi, M.; Varma, R. S. Upgraded Valorization of Biowaste: Laser-Assisted Synthesis of Pd/Calcium Lignosulfonate Nanocomposite for Hydrogen Storage and Environmental Remediation. *ACS Omega* 2020, 5, 5888−5899.
39. Sajjadi, M.; Baran, N. Y.; Baran, T.; Nasrollahzadeh, M.; Tahsili, M. R.; Shokouhimehr, M. Palladium nanoparticles stabilized on a novel Schiff base modified Unye bentonite: Highly stable, reusable and efficient nanocatalyst for treating wastewater contaminants and inactivating pathogenic microbes. *Sep. Purif. Technol.* 2020, 237, No. 116383.
40. Baran, T.; Karaoğlu, K.; Nasrollahzadeh, M. Nano-sized and microporous palladium catalyst supported on modified chitosan/ cigarette butt composite for treatment of environmental contaminants. *Environ. Res.* 2023, 220, No. 115153.
41. Nezafat, Z.; Karimkhani, M. M.; Nasrollahzadeh, M.; Javanshir, S.; Jamshidi, A.; Orooji, Y.; Jang, H. W.; Shokouhimehr, M. Facile synthesis of Cu

ISSN 3030-3907

NPs@Fe(3)O(4)-lignosulfonate: Study of catalytic and antibacterial/antioxidant activities. *Food Chem. Toxicol.* 2022, 168, No. 113310.
42. Dutta, D. P.; Singh, A.; Tyagi, A. K. Ag doped and Ag dispersed nano ZnTiO3: Improved photocatalytic organic pollutant degradation under solar irradiation and antibacterial activity. *J. Environ. Chem. Eng.* 2014, 2, 2177−2187.
43. Cui, Z. M.; Yang, H.; Zhang, M.; Zhang, H. M.; Su, J. Y.; Li, R. S. Adsorption and Photocatalysis Performance of Bi4Ti3O12 Nanoparticles Synthesized via a Polyacrylamide Gel Route. *Mater. Trans.* 2016, 57, 1766−1770.
44. Yu, X.; Gao, L.; Huang, J.; Li, W.; Liu, G.; Li, Z.; Liu, J.; Hu, P. Construction of hybrid Ag2CO3/AgVO3 nanowires with enhanced visible light photocatalytic activity. *Mater. Res. Bull.* 2018, 101, 246−252.
45. Parvathiraja, C.; Shailajha, S.; Shanavas, S.; Gurung, J. Biosynthesis of silver nanoparticles by Cyperus pangorei and its potential in structural, optical and catalytic dye degradation. *Appl. Nanosci.* 2021, 11, 477−491.
46. Sonbol, H.; Ameen, F.; AlYahya, S.; Almansob, A.; Alwakeel, S. Padina boryana mediated green synthesis of crystalline palladium nanoparticles as potential nanodrug against multidrug resistant bacteria and cancer cells. *Sci. Rep.* 2021, 11, No. 5444.
47. Ameen, F. Optimization of the Synthesis of Fungus-Mediated Bi-Metallic Ag-Cu Nanoparticles. *Appl. Sci.* 2022, 12, 1384.
48. Almansob, A.; Bahkali, A. H.; Albarrag, A.; Alshomrani, M.; Binjomah, A.; Hailan, W. A.; Ameen, F. Effective treatment of resistant opportunistic fungi associated with immuno-compromised individuals using silver biosynthesized nanoparticles. *Appl. Nanosci.* 2022, 12, 3871−3882.
49. Feng, X.; Han, T.; Xiong, Y.; Wang, S.; Dai, T.; Chen, J.; Zhang, X.; Wang, G. Plasmon-Enhanced Electrochemiluminescence of Silver Nanoclusters for microRNA Detection. *ACS Sens.* 2019, 4, 1633−1640.
50. Liu, C.; Wang, B.; Han, T.; Shi, D.; Wang, G. Fe Foil-Guided Fabrication of Uniform Ag@AgX Nanowires for Sensitive Detection of Leukemia DNA. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2019, 11, 4820−4825.
51. Dai, T.; Wan, Y.; Tian, R.; Wang, S.; Han, T.; Wang, G. In Situ Cation Exchange Generated ZnS−Ag2S Nanoparticles for Photothermal Detection of Transcription Factor. *ACS Appl. Bio Mater.* 2020, 3, 3260−3267.
52. Tong, X.; Ga, L.; Eerdun, C.; Zhao, R.; Ai, J. Simple Monovalent Metal Ion Logical Order to Regulate the Secondary Conformation of G-Quadruplex. *ACS Omega* 2022, 7, 39224−39233.
53. Fard, N. N.; Noorbazargan, H.; Mirzaie, A.; Hedayati Ch, M.; Moghimiyan, Z.; Rahimi, A. Biogenic synthesis of AgNZ using Artemisia oliveriana extract and

ISSN 3030-3907

their biological activities for an effective treatment of lung cancer. *Artif. Cells, Nanomed., Biotechnol.* 2018, 46, S1047−S1058.

54. Alhag, S. K.; Ghramah, H.; Al-keridis, L.; Al-Mekhlafi, F.; Ibrahim, E.; Khan, K. Biogenic Synthesis of Silver Nanoparticles (AgNZ) using Solanum indicum Linn. *Indian J. Pharm. Educ. Res.* 2021, 55, s202−s208.

55. Alamier, W. M.; Hasan, N.; Ali, S. K.; Oteef, M. D. Y. Biosynthesis of Ag Nanoparticles Using Caralluma acutangula Extract and Its Catalytic Functionality towards Degradation of Hazardous Dye Pollutants. *Crystals* 2022, 12, 1069.

56. Saha, P.; Mahiuddin, M.; Islam, A. B. M. N.; Ochiai, B. Biogenic Synthesis and Catalytic Efficacy of Silver Nanoparticles Based on Peel Extracts of Citrus macroptera Fruit. *ACS Omega* 2021, 6, 18260−18268.

57. Saha, J.; Begum, A.; Mukherjee, A.; Kumar, S. A novel green synthesis of silver nanoparticles and their catalytic action in reduction of Methylene Blue dye. *Sust. Env. Res.* 2017, 27, 245–250.

58. Al-Zaban, M.I.; Mahmoud, M.A.; AlHarbi, M.A. Catalytic degradation of methylene blue using silver nanoparticles synthesized by honey. *Saudi J. Bio. Sci.* 2021, 28, 2007–2013.

59. Banu, R.; Ramakrishna, D.; Reddy, G.B.; Veerabhadram, G.; Mangatayaru, K.G. Facile one-pot microwave-assisted green synthesis of silver nanoparticles using Bael gum: Potential application as catalyst in the reduction of organic dyes. *Mat. Today: Proc.* 2021, 43, 2265–2273.

60. Seerangaraj, V.; Sathiyavimal, S.; Shankar, S.N.; Nandagopal, J.G.T.; Balashanmugam, P.; Al-Misned, F. A.; Shanmugavel, M.; Senthilkumar, P.; Pugazhendhi, A. Cytotoxic effects of silver nanoparticles on Ruellia tuberosa: Photocatalytic degradation properties against crystal violet and coomassie brilliant blue. *J. Env. Chem. Eng.* 2021, 9, 105088.

61. Zanjage, A.; Ali Khan, S. Ultra-fast synthesis of antibacterial and photo catalyst silver nanoparticles using neem leaves. *JCIS Open* 2021, 3, 100015.

62. Ahmed, T.; Noman, M.; Shahid, M.; Niazi, M.B.K.; Hussain, S.; Manzoor, N.; Wang, X.; Li, B. Green synthesis of silver nanoparticles transformed synthetic textile dye into less toxic intermediate molecules through LC-MS analysis and treated the actual wastewater. *Env. Res.* 2020, 191, 110142.

63. Princy, K.F.; Gopinath, A. Green synthesis of silver nanoparticles using polar seaweed Fucus gardeneri and its catalytic efficacy in the reduction of nitrophenol. *Polar Sci.* 2021, 30, 100692.

64. Chand, K.; Jiao, C.; Lakhan, M.N.; Shah, A.H.; Kumar, V.; Fouad, D.E.; Chandio, M.B.; Maitlo, A.A.; Ahemed, M.; Cao, D. Green synthesis, characterization and photocatalytic activity of silver nanoparticles synthesized with Nigella Sativa seed extract. *Chem. Phys. Lett.* 2021, 763, 138218.

ISSN 3030-3907

65. Baruah, D.; Yadav, R.N.S.; Yadav, A.; Das, A.M. Alpinia nigra fruits mediated synthesis of silver nanoparticles and their antimicrobial and photocatalytic activities. *J. Photochem. Photobio. B: Bio.* 2019, 201, 111649.
66. Al-Gharibi, M.A.; Kyaw, H.H.; Al-Sabahi, J.N.; Myint, M.T.Z.; Al-Sharji, Z.A.; Al-Abri, M.Z. Silver nanoparticles decorated zinc oxide nanorods supported catalyst for photocatalytic degradation of paracetamol. *Mat. Sci. Semicond. Proc.* 2021, 134, 105994.
67. Ojha, A.; Singh, P.; Oraon, R.; Tiwary, D.; Mishra, A.K.; Ghfar, A.A.; Naushad, M.; Ahamad, T.; Thokchom, B.; Vijayaraghavan, K.; Rangabhashiyam, S. An environmental approach for the photodegradation of toxic pollutants from wastewater using silver nanoparticles decorated titania-reduced graphene oxide. *J. Env. Chem. Eng.* 2021, 9, 105622.
68. Baghbani-Arani, F.; Movagharnia, R.; Sharifian, A.; Salehi, S.; Shandiz, S.A.S. Photo-catalytic, antibacterial, and anti-cancer properties of phyto-mediated synthesis of silver nanoparticles from Artemisia tournefortiana Rchb extract. *J. Photochem. Photobio. B: Bio.* 2017, 173, 640–649.
69. Bogireddy, N. K. R., Kiran Kumar, H. A., & Mandal, B. K. (2016). Biofabricated silver nanoparticles as green catalyst in the degradation of different textile dyes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(1), 56-64.
70. Sharma, A., Sunny, S., Arulraj, J., & Hegde, G. (2024). Exploring the efficiency of green synthesized silver nanoparticles as photocatalysts for organic dye degradation: unveiling key insights. *Nano Express*, 5(2).
71. Aslan, T. N. (2025). Visible Light Driven Photocatalytic Degradation of Congo Red Dye Using Biogenic Silver Nanoparticles. *Cumhuriyet Science Journal*, 46(3), 532-539. https://doi.org/10.17776/csj.1701256

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОБЪЁМНЫХ ТЕЛ В ЗАДАЧАХ ТРЁХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ

Турмуханов Нуркен Кажымуханович
Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий
E-mail: bobu7707@gmail.com
Нуратдинова Кумар Нуразизовна
Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий
E-mail: nuratdinovakumar28@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрены основные геометрические модели объёмных тел, применяемые для трёхмерного представления подземных водоносных горизонтов. Проведён сравнительный анализ четырёх классов моделей: граничного представления (B-rep), конструктивной твёрдотельной геометрии (CSG), воксельных моделей и неявных тел. Для каждого класса изложены математические основы, топологические свойства, алгоритмы построения и критерии корректности. Особое внимание уделено специфике гидрогеологических объектов: нарушениям топологической корректности при отрицательной мощности горизонта, обеспечению замкнутости оболочки, алгоритмам обнаружения и исправления дефектов геометрии. Описана схема построения объёмной геометрической модели водоносного горизонта от скважинных данных до экспорта в гидродинамический симулятор. Обоснован выбор гибридного подхода, сочетающего граничное представление для описания геометрии тела и воксельную параметризацию для задания фильтрационных свойств.

Ключевые слова: геометрические модели тел, B-rep, CSG, воксельная модель, неявные тела, топологическая корректность, водоносные горизонты, трёхмерное геологическое моделирование, изоповерхность.

Annotatsiya. Maqolada yer osti suvli gorizontlarini uch o‘lchamli tasvirlash uchun qo‘llaniladigan hajmiy jismlarning asosiy geometrik modellari ko‘rib chiqilgan. Modellarning to‘rtta sinfi: chegaraviy taqdimot (B-rep), konstruktiv qattiq jismlar geometriyasi (CSG), voksel modellari va oshkormas jismlar qiyosiy tahlil qilingan. Har bir sinf uchun matematik asoslar, topologik xususiyatlar, qurish algoritmlari va to‘g‘rilik mezonlari bayon etilgan. Gidrogeologik obyektlarning o‘ziga xos xususiyatlariga: gorizontning manfiy qalinligida topologik to‘g‘rilikning buzilishiga, qobiqning yopiqligini ta’minlashga, geometriya nuqsonlarini aniqlash va tuzatish algoritmlariga alohida e’tibor qaratilgan. Quduq ma’lumotlaridan gidrodinamik simulyatorga eksport

ISSN 3030-3907

qilishgacha bo‘lgan suvli gorizontning hajmiy geometrik modelini qurish sxemasi tasvirlangan. Jism geometriyasini tavsiflash uchun chegaraviy tasavvurni va filtratsiya xususiyatlarini belgilash uchun voksel parametrlashtirishni birlashtirgan gibrid yondashuvni tanlash asoslangan.

Kalit so‘zlar: jismlarning geometrik modellari, B-rep, CSG, voksel modeli, noaniq jismlar, topologik to‘g‘rilik, suvli gorizontlar, uch o‘lchamli geologik modellashtirish, izosirt.

Abstract. The article examines the primary geometric models of volumetric bodies used for the three-dimensional representation of underground water-bearing horizons. A comparative analysis of four classes of models was conducted: boundary representation (B-rep), structural solid geometry (CSG), voxel models, and implicit bodies. For each class, the mathematical foundations, topological properties, construction algorithms, and correctness criteria are presented. Particular attention is paid to the specifics of hydrogeological objects: violations of topological correctness during negative horizon thickness, ensuring shell closure, and algorithms for detecting and correcting geometric defects. The scheme for constructing a volumetric geometric model of the water-bearing horizon from well data to export to a hydrodynamic simulator is described. The choice of a hybrid approach is justified, combining boundary representation for describing body geometry and voxel parametrization for assigning filtration properties.

Keywords: geometric models of bodies, B-rep, CSG, voxel model, implicit bodies, topological correctness, water-bearing horizons, three-dimensional geological modeling, isosurface.

ВВЕДЕНИЕ.

Трёхмерная геометрическая модель водоносного горизонта представляет собой замкнутое объёмное тело в пространстве $\mathbb{R}^3$, ограниченное поверхностями кровли и подошвы, боковыми гранями выклинивания и, при необходимости, плоскостями тектонических нарушений. Способ компьютерного представления такого тела — геометрическая модель — определяет возможности последующего анализа: вычисление объёма и ресурсов подземных вод, разбиение на конечно-разностную сетку, визуализацию произвольных геологических разрезов [1, 2].

В отличие от машиностроительных приложений, где геометрия тела полностью задана проектной документацией, гидрогеологические объёмные тела обладают рядом принципиальных особенностей. Во-первых, их геометрия восстанавливается по неполным данным с существенной неопределённостью. Во-вторых, форма тела может быть весьма сложной:

ISSN 3030-3907

выклинивания, «окна» в водоупорах, разделение единого горизонта на изолированные линзы. В-третьих, параметры тела (пористость, проницаемость) пространственно неоднородны, что требует совместного представления геометрии и атрибутов в единой структуре данных [3, 4].

В теории геометрического моделирования твёрдых тел (Solid Modeling) выделяют несколько принципиально различных подходов к представлению объёмов. Настоящая статья посвящена их систематическому анализу применительно к задачам трёхмерного моделирования водоносных горизонтов.

Классификация геометрических моделей объёмных тел

В современной теории геометрического моделирования твёрдые тела представляются четырьмя принципиально различными способами, каждый из которых имеет свои математические основания, алгоритмические свойства и области применения [5, 6]. Ниже приведена классификационная схема, адаптированная к задачам гидрогеологического моделирования.

Рисунок 1 — Классификация геометрических моделей объёмных тел

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОБЪЁМНЫХ ТЕЛ			
Граничное представление (B-rep)	**Конструктивная твёрдотельная геометрия (CSG)**	**Воксельные модели**	**Неявные тела (Implicit Bodies)**
Вершины, рёбра, грани (V, E, F)	Примитивы: кубоид, сфера, цилиндр	Регулярная сетка (FDGM)	$F(x,y,z) \leq 0$ (потенциал RBF)
Топологич. связи (half-edge)	Булевы операции: ∪, ∩, \	Октарное дерево	Изоповерхность $F = 0$
NURBS / B-сплайн грани	Дерево CSG (бинарное)	Адаптивные ВРГ	Кригинг / RBF в 3D
Точная геометрия, топол. корректна	Параметрич. построение	Совместим с MODFLOW	Leapfrog Geo, GemPy

Граничное представление (Boundary Representation, B-rep)

Математические основы

Граничное представление (B-rep) является наиболее распространённым подходом в системах автоматизированного проектирования и геологического моделирования. Идея метода состоит в том, что объёмное тело V полностью описывается своей границей —

ISSN 3030-3907

замкнутой поверхностью ∂V, разделяющей внутреннее пространство тела от внешнего. Граница представляется в виде полиэдральной оболочки:

$$\partial V = F_1 \cup F_2 \cup \ldots \cup F_n, \quad \partial V \text{ — замкнутое ориентированное 2 — многообразие}$$

где F_i — грани (фасеты), образующие покрытие граничной поверхности. Каждая грань ограничена рёбрами, рёбра — вершинами, что образует иерархическую топологическую структуру «тело → грани → рёбра → вершины». Для корректного B-rep-представления граничная поверхность должна быть замкнутым ориентированным 2-многообразием: нормали всех граней направлены наружу тела [7].

Топологическая корректность B-rep-оболочки проверяется с помощью формулы Эйлера. Для замкнутой ориентируемой поверхности рода g выполняется:

$$\chi = V - E + F = 2(1 - g)$$

где V — число вершин, E — рёбер, F — граней, g — род поверхности (число «ручек»: g = 0 для топологической сферы, g = 1 для тора). Водоносный горизонт без сквозных полостей топологически эквивалентен сфере (g = 0), поэтому для корректной модели должно выполняться V − E + F = 2. Нарушение этого условия свидетельствует о дефекте топологии [8].

Структуры данных для B-rep

Для эффективного хранения и обработки B-rep-моделей разработан ряд специализированных структур данных. Наиболее распространена структура half-edge (полурёбер): каждое ребро представляется двумя ориентированными полурёбрами, каждое из которых хранит ссылки на начальную вершину, следующее и предыдущее полуребро в грани, а также парное полуребро смежной грани. Это обеспечивает эффективный обход топологических связей (смежные грани, рёбра вершины, граничный контур грани) за O(1) [9].

Для геологических объектов, геометрия которых описывается NURBS- или B-сплайновыми поверхностями, B-rep расширяется до так называемого точного граничного представления (exact B-rep), в котором геометрия граней задаётся аналитически, а не дискретным набором треугольников. Это позволяет представлять плавные геологические поверхности без разбиения на большое число полигональных фасетов [10].

Применение B-rep в гидрогеологическом моделировании

B-rep является основным форматом представления объёмных тел в геологических программных комплексах Leapfrog Geo, SKUA-GOCAD, Petrel. Кровля и подошва водоносного горизонта задаются как отдельные поверхностные объекты, которые затем «сшиваются» в замкнутую

ISSN 3030-3907

оболочку с добавлением боковых граней по линии выклинивания. Мощность горизонта в точке (x, y) вычисляется как:

$$h(x,y) = z_{\text{кров}}(x,y) - z_{\text{под}}(x,y) \geq 0$$

Условие $h(x, y) \geq 0$ является критерием топологической корректности: его нарушение означает, что поверхность подошвы «выходит» выше кровли, что физически невозможно. Автоматическое обнаружение и исправление таких нарушений является важным этапом контроля качества B-rep-модели [11].

Объём водоносного горизонта, необходимый для оценки потенциальных ресурсов подземных вод, вычисляется как:

$$V = \iint_{\Omega} h(x,y)\,\mathrm{d}x\,\mathrm{d}y$$

где Ω — проекция горизонта на горизонтальную плоскость. Численно интеграл вычисляется путём суммирования по ячейкам разбиения области Ω. Для неравномерно мощных горизонтов точность вычисления объёма существенно зависит от детальности представления поверхностей кровли и подошвы [4, 12].

Таблица 1

Сравнение геометрических моделей объёмных тел

Характеристика	B-rep	CSG	Воксели	Неявные тела
Представление границы	Явные полигоны/NURBS	Через примитивы и операции	Дискретные ячейки	Изоповерхность F=0
Топологическая корректность	Требует контроля	Гарантирована	Аппроксимационная	Гарантирована
Вычисление объёма	Формула Гаусса–Остроградского	Точное (аналитика)	Подсчёт ячеек	Численное интегрирование
Поддержка разломов	Явные breaklines	Вычитание примитивов	Маркировка ячеек	Изменение знака F

ISSN 3030-3907

Совместимость с MODFLOW	Через конвертацию	Через конвертацию	Прямая	Через конвертацию
Использование в геол. ПО	Leapfrog, GOCAD, Petrel	Редко (вспом.)	MODFLOW, RockWare	Leapfrog, GemPy

Конструктивная твёрдотельная геометрия (Constructive Solid Geometry, CSG)

Принцип и математические основы

Конструктивная твёрдотельная геометрия (CSG) представляет сложное тело как бинарное дерево булевых операций над набором примитивных тел. Листьями дерева являются геометрические примитивы — параллелепипеды, сферы, цилиндры, конусы, — а внутренними узлами — булевы операции: объединение, пересечение и вычитание:

$$V = A \cup B; \quad V = A \cap B; \quad V = A \setminus B$$

Принципиальное достоинство CSG состоит в том, что любое тело, построенное из замкнутых правильных примитивов посредством булевых операций, автоматически является правильным замкнутым телом (regularized set). Это устраняет проблему нарушений топологической корректности, характерную для B-rep [5, 13].

CSG-дерево обеспечивает компактное параметрическое описание тела: изменение размеров примитива немедленно перестраивает всю геометрию. Вместе с тем прямое представление произвольных природных поверхностей (кровля горизонта с плавной кривизной) в виде CSG-дерева из стандартных примитивов крайне затруднено. По этой причине CSG в чистом виде редко применяется для моделирования водоносных горизонтов, однако широко используется в гибридных схемах — например, для описания скважин, водозаборных устройств и инженерных конструкций внутри геологической модели [6].

Булевы операции и их реализация

Реализация булевых операций над B-rep-телами — технически сложная задача вычислительной геометрии. Алгоритм пересечения двух B-rep-тел включает следующие основные шаги: (1) обнаружение всех пар граней, пересекающихся по линии; (2) построение кривых пересечения; (3) разбиение граней по кривым пересечения; (4) классификация фрагментов граней относительно каждого из тел (внутри / снаружи); (5) отбор нужных фрагментов и сшивание результирующей оболочки [14].

ISSN 3030-3907

Численная робастность булевых операций над полиэдральными моделями является серьёзной вычислительной проблемой: погрешности вычисления точек пересечения могут приводить к нарушениям топологии результата. Методы арифметики с контролируемой точностью (exact arithmetic, например, с использованием библиотеки CGAL) позволяют решить эту проблему, однако существенно увеличивают вычислительные затраты [15].

Воксельные (объёмно-пиксельные) модели

Структура и математические свойства

Воксельная модель представляет трёхмерный объём путём разбиения на прямоугольный массив ячеек (вокселей) размером Δx × Δy × Δz. Каждому вокселю присваивается один или несколько атрибутов (принадлежность к горизонту, литологический тип, значения фильтрационных параметров). Принадлежность воксела к объёму водоносного горизонта проверяется условием:

$$\rho = \frac{N_{\text{вн}}}{N_{\text{общ}}}$$

где N_вн — число вокселей, центры которых лежат внутри тела, N_общ — общее число вокселей в расчётной области. Значение $\rho \in [0, 1]$ представляет долю объёма, занятого горизонтом. Вычисление принадлежности воксела к телу осуществляется тестом «точка внутри тела» (point-in-solid test), который для B-rep выполняется методом подсчёта пересечений луча с гранями оболочки [16].

Пространственное разрешение воксельной модели определяется размером ячейки. Для гидрогеологических моделей типичные размеры ячейки составляют от первых метров (детальные локальные модели) до первых сотен метров (региональные модели). Уменьшение вдвое линейного размера ячейки увеличивает число вокселей в восемь раз, что ограничивает детальность моделей вычислительными ресурсами [17].

Октарные деревья и адаптивные воксельные сетки

Для эффективного хранения разреженных воксельных моделей (в которых значительная часть пространства занята воздухом или не представляет интереса) применяются иерархические структуры данных — октарные деревья (octree). В октарном дереве расчётный объём рекурсивно делится на восемь октантов до тех пор, пока содержимое октанта не становится однородным или не достигается минимальный размер ячейки. Это позволяет хранить детальную геометрию лишь вблизи границ тела, экономя память в однородных зонах [18].

ISSN 3030-3907

Адаптивные воксельные сетки с переменным разрешением (Variable Resolution Grids, VRG) применяются в гидрогеологическом моделировании для локального уплотнения расчётной сетки вблизи скважин и зон активного водоотбора. Программный комплекс MODFLOW 6 поддерживает неструктурированные сетки (DISV-пакет), которые обеспечивают адаптивное разрешение при сохранении конечно-разностной формулировки уравнения фильтрации [19].

Прямая связь с гидродинамическим симулятором

Принципиальное достоинство воксельной модели для гидрогеологии состоит в прямой совместимости с конечно-разностными гидродинамическими симуляторами. MODFLOW использует трёхмерную структурированную сетку, в которой каждой ячейке присвоены гидрогеологические параметры. Геологическая воксельная модель отображается на расчётную сетку MODFLOW посредством операции параметризации: каждой ячейке сетки присваивается литологический тип на основании доминирующего воксела, а затем соответствующие фильтрационные параметры — из петрофизической таблицы [20].

Неявные тела (Implicit Bodies)

Математические основы

Неявная геометрическая модель задаёт объёмное тело через скалярное поле — потенциальную функцию $F : \mathbb{R}^3 \to \mathbb{R}$, определённую во всём трёхмерном пространстве. Тело представляется как подуровневое множество:

$$V = \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \mid F(x, y, z) \leq 0\}$$

а его граница — как изоповерхность нулевого уровня F(x, y, z) = 0. Знак функции F несёт геологический смысл: F < 0 соответствует «внутреннему» геологическому телу (например, песчаному горизонту), F > 0 — вмещающим отложениям (глинистый водоупор) [21].

Функция F строится путём интерполяции данных о принадлежности точек пространства к той или иной стороне геологической границы. В качестве метода интерполяции используются радиальные базисные функции в трёхмерном пространстве:

$$F(x) = \sum_i \lambda_i \, \varphi(\|x - x_i\|) + P(x)$$

где $x \in \mathbb{R}^3$ — точка оценки, x_i — точки данных о принадлежности (контакты пород в скважинах, точки на поверхности горизонта), $\|\cdot\|$ — евклидова норма, $\varphi(r)$ — радиальная базисная функция, $P(x)$ —

ISSN 3030-3907

полиномиальный член. Выбор $\varphi(r) = r^3$ (кубическая RBF) обеспечивает гладкость изоповерхности класса C^2 [21, 22].

Альтернативой RBF является кригинг в трёхмерном пространстве: функция F интерполируется как случайное поле методом обычного кригинга по данным о знаке принадлежности в точках скважин. Этот подход реализован в программном комплексе Leapfrog Geo под названием FastRBF и обеспечивает вероятностную интерпретацию значения F(x, y, z) как апостериорной вероятности принадлежности точки к данному геологическому телу [23].

Извлечение изоповерхности: алгоритм Marching Cubes

Для визуализации и последующей обработки неявной модели необходимо извлечь явную полигональную аппроксимацию изоповерхности F = 0. Стандартным алгоритмом для этой задачи является Marching Cubes (Лоренсен и Клайн, 1987). Алгоритм обрабатывает воксельную сетку, на каждом шаге рассматривая куб из восьми соседних узлов. Вершины куба классифицируются как «внутренние» ($F < 0$) и «внешние» ($F > 0$). По одной из 256 конфигурационных таблиц в куб вставляется треугольный фасет, аппроксимирующий изоповерхность внутри куба [24].

Алгоритм Marching Cubes производит поверхность, являющуюся топологически корректным B-rep (замкнутое ориентированное 2-многообразие) при условии отсутствия неоднозначностей на гранях куба. Неоднозначности устраняются в улучшенных вариантах алгоритма — Marching Tetrahedra, Dual Contouring — которые обеспечивают топологическую корректность для всех конфигураций и лучшее воспроизведение острых геологических контактов [25].

Преимущества неявных тел для гидрогеологии

Неявное представление обладает рядом принципиальных преимуществ перед явным B-rep применительно к задачам гидрогеологического моделирования. Во-первых, топологически сложные тела — горизонты с выклиниваниями, линзами, внутренними полостями — описываются единой скалярной функцией F без явного управления топологией оболочки. Во-вторых, добавление новой скважины требует лишь локального пересчёта функции F в окрестности новой точки, а не полного перестроения поверхности. В-третьих, несколько литологических тел могут быть описаны несколькими функциями F_1, F_2, …, F_k с автоматическим обеспечением их взаимной согласованности через иерархические ограничения [23, 26].

Гибридные подходы и контроль топологической корректности

ISSN 3030-3907

Гибридные модели B-rep + вокселей

На практике наиболее эффективным является гибридный подход, в котором геометрия границ тела описывается B-rep (или неявными поверхностями), а атрибутивные данные — литология, пористость, проницаемость — хранятся в воксельной сетке. Такая архитектура позволяет сочетать преимущества обоих представлений: точность и гладкость граничной геометрии — от B-rep, и прямую совместимость с гидродинамическим симулятором — от вокселей [2, 20].

Схема построения объёмной геометрической модели водоносного горизонта, реализующая гибридный подход, включает шесть основных этапов, показанных на рисунке 2.

Рисунок 2 — Схема построения объёмной геометрической модели водоносного горизонта

№	Этап	Содержание
1	**Исходные данные**	Скважинные разрезы, отметки кровли/подошвы, литология
2	**Построение поверхностей**	Кригинг / TPS / неявные методы → кровля и подошва
3	**Формирование тела**	B-rep оболочка: кровля + подошва + боковые грани выклинивания
4	**Топологический контроль**	Проверка: мощность ≥ 0, замкнутость, ориентация нормалей
5	**Параметризация**	Заполнение воксельной сетки литологическими атрибутами (IK / SIS)
6	**Передача в симулятор**	Экспорт в MODFLOW / FEFLOW: сетка + параметры

Алгоритмы контроля топологической корректности

Контроль топологической корректности B-rep-модели водоносного горизонта включает несколько уровней проверок. На уровне геометрии проверяется отсутствие самопересечений поверхности, наличие вырожденных граней (с нулевой площадью) и вырожденных рёбер (с нулевой длиной). На уровне топологии проверяется выполнение формулы Эйлера, замкнутость оболочки (каждое ребро принадлежит ровно двум граням), ориентируемость (нормали соседних граней согласованы). На уровне физики проверяется условие $h(x, y) \geq 0$ во всех узлах расчётной сетки [11, 27].

ISSN 3030-3907

Алгоритм исправления нарушений топологической корректности включает: (1) обнаружение «перевёрнутых» граней с неверной ориентацией нормали и их переориентацию; (2) заполнение «дыр» в оболочке — незамкнутых граничных контуров — путём триангуляции минимального заполнения; (3) разрешение самопересечений методом локального перетриангулирования; (4) исправление нарушений условия $h \geq 0$ путём локального смещения поверхности подошвы вниз в соответствующих узлах [28].

Таблица 2

Типичные дефекты B-rep-моделей и методы их исправления

Тип дефекта	Диагностика	Метод исправления
Отрицательная мощность ($h < 0$)	$h = z_кров - z_под < 0$ в узлах сетки	Смещение поверхности подошвы ниже кровли
Незамкнутость оболочки	Ребро принадлежит < 2 граням	Заполнение дыр (hole filling)
Самопересечение граней	Тест пересечения всех пар граней	Локальное перетриангулирование
Вырожденные грани	Площадь грани ≈ 0	Слияние близких вершин (merging)
Неверная ориентация нормалей	Несогласованные нормали смежных граней	Переориентация (re-orientation)
Нарушение формулы Эйлера	$V - E + F \neq 2$	Топологический ремеш

Критерии выбора геометрической модели для водоносного горизонта

Выбор типа геометрической модели определяется совокупностью требований конкретной задачи. Ниже систематизированы критерии выбора.

Сложность геометрии. Для водоносных горизонтов с простой планарной геометрией без нарушений любой из рассмотренных методов обеспечивает удовлетворительный результат. При сложной геометрии — выклинивания, линзы, нарушения — предпочтительны неявные тела, автоматически обеспечивающие топологическую корректность [23].

Необходимость гидродинамического расчёта. Если модель предназначена для передачи в конечно-разностный симулятор, воксельная параметризация является обязательным элементом гибридной схемы. B-rep-геометрия используется как промежуточное представление для построения воксельной сетки [20].

ISSN 3030-3907

Вычисление объёмов и ресурсов. Для точного вычисления объёма тела и запасов подземных вод B-rep обеспечивает применение формулы Гаусса–Остроградского с точностью, ограниченной лишь дискретизацией граничных поверхностей. CSG даёт аналитически точный результат для тел из примитивов [12].

Оперативность обновления при поступлении новых данных. Неявные тела (Leapfrog-подход) и геостатистические модели обеспечивают наибыстрейшее обновление: добавление новой скважины требует лишь локального пересчёта функции F или перекригинга в области влияния новой точки [26].

Интеграция с неопределённостью. Неявные тела допускают вероятностную интерпретацию значения F(x), что позволяет строить ансамбль геологически реалистичных реализаций для оценки структурной неопределённости модели горизонта [21, 23].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Проведённый анализ геометрических моделей объёмных тел применительно к задачам трёхмерного моделирования подземных водоносных горизонтов позволяет сформулировать следующие основные выводы.

Во-первых, ни один из рассмотренных подходов — B-rep, CSG, воксельные модели, неявные тела — не является универсально оптимальным для всех задач гидрогеологического моделирования. Каждый обладает специфическими математическими свойствами и областью применения.

Во-вторых, граничное представление (B-rep) является наиболее общим инструментом описания геометрии объёмных тел. Его корректность обеспечивается выполнением формулы Эйлера ($\chi = V - E + F = 2$), замкнутостью оболочки и условием неотрицательности мощности горизонта. Нарушения этих условий требуют автоматического обнаружения и исправления.

В-третьих, неявные тела (implicit bodies) на основе RBF или кригинга в $\mathbb{R}^3$ обеспечивают топологически корректное представление геологически сложных объектов без явного управления топологией оболочки. Этот подход наиболее перспективен для автоматизированного моделирования водоносных горизонтов со сложной геометрией.

В-четвёртых, гибридный подход — B-rep (или неявная модель) для описания геометрии границ и воксельная сетка для атрибутивных данных — является наиболее полным решением для задач, требующих как

ISSN 3030-3907

геологически реалистичного трёхмерного представления, так и прямой передачи в гидродинамический симулятор.

Изложенные теоретические положения являются непосредственной основой для параграфа 2.3 диссертационного исследования, посвящённого методу формирования замкнутых трёхмерных тел водоносных горизонтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирюхин В.А., Коротков А.И., Павлов А.Н. Гидрогеология. — М.: Недра, 1988. — 360 с.
2. Anderson M.P., Woessner W.W., Hunt R.J. Applied Groundwater Modeling. — 2nd ed. — Academic Press, 2015. — 564 p.
3. Mallet J.-L. Geomodeling. — Oxford University Press, 2002. — 599 p.
4. Turner A.K. Three-dimensional modeling with geoscientific information systems. — Springer, 1992. — 443 p.
5. Requicha A.A.G. Representations for rigid solids: Theory, methods, and systems // ACM Computing Surveys. — 1980. — Vol. 12, No. 4. — P. 437–464.
7. Hoffmann C.M. Geometric and Solid Modeling: An Introduction. — Morgan Kaufmann, 1989. — 338 p.
8. Mantyla M. An Introduction to Solid Modeling. — Computer Science Press, 1988. — 401 p.
9. Euler L. Elementa doctrinae solidorum // Novi Commentarii Academiae Petropolitanae. — 1758. — Vol. 4. — P. 109–140.
10. Kettner L. Using generic programming for designing a data structure for polyhedral surfaces // Computational Geometry. — 1999. — Vol. 13, No. 1. — P. 65–90.
11. Piegl L., Tiller W. The NURBS Book. — 2nd ed. — Springer, 1997. — 646 p.
12. Caumon G., Collon-Drouaillet P. et al. Surface-Based 3D Modeling of Geological Structures // Mathematical Geosciences. — 2009. — Vol. 41. — P. 927–945.
13. Preparata F.P., Shamos M.I. Computational Geometry: An Introduction. — Springer, 1985. — 398 p.
14. Laidlaw D.H., Trumbore W.B., Hughes J.F. Constructive solid geometry for polyhedral objects // ACM SIGGRAPH. — 1986. — P. 161–170.
15. Bernstein G., Fussell D. Fast, exact, linear booleans // Symposium on Geometry Processing. — 2009. — P. 1269–1278.
16. Fabri A., Pion S. CGAL: The Computational Geometry Algorithms Library // Proc. 17th ACM SIGSPATIAL. — 2009.
17. Foley J.D., van Dam A., Feiner S.K., Hughes J.F. Computer Graphics: Principles and Practice. — 2nd ed. — Addison-Wesley, 1996. — 1174 p.

ISSN 3030-3907

18. Harbaugh A.W. MODFLOW-2005. — USGS Techniques and Methods 6-A16. — 2005.
19. Meagher D. Geometric modeling using octree encoding // Computer Graphics and Image Processing. — 1982. — Vol. 19. — P. 129–147.
20. Langevin C.D. et al. MODFLOW 6: Modular Hydrologic Model. — USGS Techniques and Methods 6-A55. — 2017.
21. Diersch H.-J.G. FEFLOW: Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport. — Springer, 2014. — 996 p.
22. Cowan E.J. et al. Practical implicit geological modelling // 5th Int. Mining Geology Conf. — AusIMM, 2003.
23. Hillier M.J. et al. 3D Modelling of Geological Surfaces Using Generalized Interpolation with RBF // Mathematical Geosciences. — 2014. — Vol. 46. — P. 931–953.
24. Aug C. et al. 3D geological modelling and uncertainty: The potential-field method // Geostatistics Banff 2004. — Springer, 2005. — P. 145–154.
25. Lorensen W.E., Cline H.E. Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm // ACM SIGGRAPH. — 1987. — Vol. 21. — P. 163–169.
26. Ju T., Losasso F., Schaefer S., Warren J. Dual contouring of hermite data // ACM SIGGRAPH. — 2002. — P. 339–346.
27. Leapfrog Geo Technical Documentation. — Seequent Ltd., 2023.
28. Berg R.C. et al. Synopsis of Current 3D Geological Mapping and Modeling. — Illinois State Geological Survey Circular 578. — 2011.
29. Bischoff S., Kobbelt L. Structure preserving CAD model repair // Computer Graphics Forum. — 2005. — Vol. 24. — P. 527–536.

ISSN 3030-3907

YASHIL KIMYO ASOSIDA CHIQINDISIZ TEXNOLOGIYALAR YARATISH

Ravshanova Sojida Safarovna
Termiz davlat pedagogika instituti Tabiiy va Aniq fanlar fakulteti kimyo ta'lim yo'nalishi 2-kurs talabasi

Annotatsiya. Ushbu maqolada yashil kimyo prinsiplari asosida sanoatda chiqindisiz texnologiyalarni joriy etish masalalari yoritilgan. Atrof-muhit ifloslanishini kamaytirish va resurslarni tejash yo'llari tahlil qilingan. Ekologik toza katalizatorlar va qayta tiklanadigan xomashyolardan foydalanishning ahamiyati ko'rsatib o'tilgan.

Kalit so'zlar. yashil kimyo, chiqindisiz texnologiya, ekologiya, atom iqtisodiyoti, qayta tiklanadigan resurslar, bioplastik, barqaror rivojlanish.

Abstract. This article discusses the implementation of waste-free technologies in industry based on the principles of green chemistry. Ways to reduce environmental pollution and conserve resources are analyzed. The importance of using environmentally friendly catalysts and renewable raw materials is highlighted.

Keywords: Green chemistry, waste-free technology, ecology, atom economy, renewable resources, bioplastic, sustainable development.

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы внедрения безотходных технологий в промышленности на основе принципов зелёной химии. Проанализированы пути снижения загрязнения окружающей среды и экономии ресурсов. Показана важность использования экологически чистых катализаторов и возобновляемого сырья.

Ключевые слова: зелёная химия, безотходная технология, экология, атомная экономичность, возобновляемые ресурсы, биопластик, устойчивое развитие.

KIRISH.

Zamonaviy sanoat ishlab chiqarishi katta miqdorda chiqindilar hosil qilmoqda. Bu holat global ekologik muammolarni keltirib chiqarmoqda. An'anaviy kimyoviy usullar ko'p energiya va zaharli moddalarni talab qiladi. Shuning uchun tabiatga zarar yetkazmaydigan yangi yo'nalish zarur edi. Xuddi shu maqsadda XX asr oxirida "Yashil kimyo" tushunchasi paydo bo'ldi. Uning asosiy maqsadi chiqindilarni hosil bo'lganidan keyin tozalash emas, balki ularni hosil bo'lishidan oldin yo'q qilishdir.Chiqindisiz texnologiyalarning asosiy prinsiplariYashil kimyo 12 ta asosiy prinsipga tayanadi. Chiqindisiz texnologiyalar yaratishda quyidagi uchta mezon eng muhimi hisoblanadi:Atom iqtisodiyoti: Reaksiyaga kirishgan barcha xomashyo yakuniy mahsulotga aylanishi kerak.Zaharsiz sintez: Inson salomatligi va tabiat uchun xavfsiz bo'lgan

ISSN 3030-3907

moddalardan foydalaniladi.Energiya samaradorligi: Kimyoviy jarayonlar past harorat va oddiy bosimda o‘tkaziladi.Sanoatda yashil kimyo yechimlariBugungi kunda chiqindisiz texnologiyalarni yaratish uchun bir nechta samarali usullar qo‘llanilmoqda.Biologik parchalanadigan materiallar: Polietilen o‘rniga makkajo‘xori va kraxmaldan bioplastiklar olinmoqda. Ular tabiatda tez parchalanadi.Tabiiy katalizatorlar: Kimyoviy reaksiyalarni tezlashtirish uchun zaharli metallar o‘rniga fermentlar (biokatalizatorlar) ishlatilmoqda.Suv va o‘simlik moylari: Kimyoviy erituvchilar sifatida zaharli organik moddalar o‘rniga oddiy suv yoki o‘simlik moylaridan foydalanilmoqda.

MAVZUGA OID ADABIYOTLARNING TAHLILI. Yashil kimyo asosida chiqindisiz texnologiyalar yaratish — zamonaviy kimyo sanoatidagi "xemofobiya" (kimyoviy qo‘rquv) va global ekologik inqirozlarni bartaraf etishga qaratilgan eng dolzarb ilmiy yo‘nalishlardan biridir. Ushbu mavzuda olib borilgan ilmiy tadqiqotlar va adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, an'anaviy "ishlab chiqarish va chiqindini tozalash" modeli o‘rnini endilikda "chiqindini manbada oldini olish va yopiq siklli (circular) tizimlar" egallamoqda.Quyida ushbu yo‘nalishdagi xalqaro va mahalliy adabiyotlarning tizimli tahlili keltirilgan.1. Nazariy asoslar va fundamental adabiyotlar Mavzuning poydevori Paul Anastas va John Warner tomonidan ilgari surilgan Yashil kimyoning 12 tamoyili konsepsiyasiga borib taqaladi.Chiqindilarni oldini olish (Waste Prevention): Adabiyotlarda chiqindini hosil bo‘lgandan keyin utilizatsiya qilishdan ko‘ra, uning paydo bo‘lishini rejalashtirish bosqichidayoq bartaraf etish tejamkor va xavfsiz ekanligi isbotlangan.Atom iqtisodiyoti (Atom Economy): Kimyoviy sintez jarayonida boshlang‘ich xomashyo atomlarining maksimal darajada yakuniy mahsulot tarkibiga kirishini ta'minlash 2.Chiqindisiz texnologiyalarning asosiy yo‘nalishlari (Adabiyotlar kesimida)Ilmiy manbalarda chiqindisiz (Zero-Waste) ishlab chiqarishga erishishning bir nechta strategik yo‘nalishlari tahlil qilingan:Muqobil va yashil erituvchilar (Green Solvents): An'anaviy zaharli organik erituvchilar o‘rniga suv, ionli suyuqliklar va superkritik suyuqliklardan (masalan, \(CO_{2}\)) foydalanish material yo‘qotilishini keskin kamaytiradi.Katalitik tizimlar va biokataliz: Katalizatorlar yordamida reaksiyalar unumini oshirish va nojo‘ya mahsulotlar (chiqindilar) hosil bo‘lishini nolga tushirish jarayonlari o‘rganilgan.Sanoat simbiozi va yopiq sikl (Circular Economy): Bir korxonaning chiqindisi boshqa bir korxona uchun ikkilamchi xomashyo bo‘lishi tizimi tadqiq etilgan. Masalan, qishloq xo‘jaligi chiqindilaridan bioplastiklar va uglerod nuqtalari olish texnologiyalari. 3. Adabiyotlardagi iqtisodiy va ekologik samaradorlik tahliliIlmiy tadqiqotlar yashil kimyoning nafaqat ekologik, balki yuqori iqtisodiy foyda keltirishini ham tasdiqlaydi:Xarajatlarni kamaytirish: Xavfli chiqindilarni ko‘mish va tozalash

ISSN 3030-3907

filtrlariga sarflanadigan mablag‘lar tejaladi.Resurs tejamkorligi: Qayta tiklanadigan xomashyo manbalari (biomassa) neft va gaz kabi qazilma boyliklarga qaramlikni kamaytiradi.4. Mahalliy (O‘zbekiston) tadqiqotlaridagi tendensiyalarO‘zbekistonlik olimlarning so‘nggi yillardagi ishlarida (masalan, ZiyoNET va mahalliy ilmiy jurnallardagi tahlillar) asosan quyidagi masalalarga urg‘u berilgan:Kimyo sanoati xomashyolaridan kompleks foydalanish.Ta'lim tizimida "yashil kimyo" konsepsiyasini o‘qitish va talabalarda ekologik dunyoqarashni shakllantirish.Mahalliy sanoat chiqindilarini (metallurgiya, fosfat toshlarini qayta ishlash qoldiqlari) qayta ishlashning texnologik yechimlari.

Yashil kimyo prinsiplarini laboratoriyadan yirik zavodlarga ko‘chirishda quyidagi to‘siqlarga duch kelinmoqda:1. Yuqori iqtisodiy xarajatlar (Kapital sig‘imi)Uskunalar qiymati: Superkritik flyuidlar yoki ionli suyuqliklar bilan ishlash uchun yuqori bosim va haroratga chidamli mutloq yangi, qimmatbaho reaktorlar talab etiladi.Eski tizim ustunligi: An’anaviy (neftga asoslangan) kimyoviy zavodlar o‘n yillar davomida shakllangan va ularni butunlay modernizatsiya qilish trillionlab dollar sarmoya talab qiladi.2. Katalizatorlar va reagentlarning barqarorligiBiokatalizatorlar injiqligi: Fermentlar va mikroorganizmlar atrof-muhit o‘zgarishiga (harorat, kislotalilik) juda sezgir. Ular sanoatning qattiq va agressiv muhitida tezda faolligini yo‘qotadi.Nodir metallar muammosi: Ko‘pgina samarali yashil katalizatorlar tarkibida platina, palladiy yoki rodiy kabi qimmatbaho metallar mavjud bo‘lib, ularning o‘zi ham cheklangan resurs hisoblanadi.3. Xomashyo logistikasi va barqaror ta’minotMavsumiylik: Neft va gaz yil davomida bir xil hajmda qazib olinsa, biomassa (qishloq xo‘jaligi chiqindilari) mavsumiy xarakterga ega.Tozalash qiyinchiligi: O‘simlik qoldiqlari (lignotsellyuloza) tarkibi murakkab va geterogen bo‘lib, ularni bir xil sifatdagi standart kimyoviy xomashyoga aylantirish ko‘p bosqichli ishlov berishni talab qiladi.4. Ilmiy va texnologik bo‘shliqlarKo‘lamni kengaytirish (Scaling-up) muammosi: Laboratoriyada probirkada \(100\%\) lik natija bergan yashil reaksiya, zavodda tonnalab mahsulot ishlab chiqarilganda kutilgan samarani bermasligi yoki kutilmagan yonaki reaksiyalar hosil qilishi mumkin. Chiqindisiz Texnologiyalarning Kelajagi (Istiqbollari)Muammolarga qaramay, global iqlim o‘zgarishi va resurslar tanqisligi dunyoni baribir yashil kimyoga o‘tishga majbur qilmoqda. Kelajakda quyidagi tendensiyalar ustunlik qiladi:1. "Aqlli" va Sun’iy intellekt (AI) asosidagi kimyoYangi muqobil erituvchilar va zaharsiz katalizatorlar formulalarini topish uchun yillar sarflanmaydi. Sun’iy intellekt va kvant kimyosi bir necha soniyada eng yuqori atom iqtisodiyotiga ega reaksiyalarni modellashtirib beradi.2. Biorefining (Biogidroliz zavodlari) tarmog‘ining kengayishiKelajakda neftni qayta ishlash zavodlari o‘rnini butunlay Biorefineriyalar egallaydi. Ular shahar chiqindilari,

ISSN 3030-3907

oziq-ovqat qoldiqlari va o‘simlik biomassasidan bir vaqtning o‘zida ham yoqilg‘i (bioetanol), ham polimerlar (bioplastik), ham dori vositalarini ajratib oladi.3. Mutloq aylanma (Sirkulyar) ishlab chiqarish"Dizayn bo‘yicha yashil" (Green by design) konsepsiyasi to‘liq kuchga kiradi. Har qanday mahsulot (masalan, telefon korpusi yoki kiyim) ishlab chiqarilayotgan paytdayoq uning eskirgandan keyin qanday qilib oson parchalanishi yoki boshqa narsaga aylanishi dasturlashtiriladi.4.CO_2 gazini chiqindidan xomashyoga aylantirishZavodlardan chiquvchi karbonat angidrid havoga chiqarib yuborilmaydi. Uni yashil vodorod bilan reaksiyaga kirishib, metanol, chumoli kislotasi va sintetik yonilg‘ilar olish texnologiyasi standartga aylanadi. Issiqxona gazi qimmatbaho resursga aylanadi.

TADQIQOTNING VAZIFALARI. 1. Nazariy va tahliliy vazifalar mavjud holatni baholash: An'anaviy kimyoviy texnologiyalarning atrof-muhitga ta'siri va hosil bo‘ladigan chiqindilarning miqdori hamda tarkibini tizimli tahlil qilish.Yashil tamoyillarni moslashtirish: Tanlangan kimyoviy jarayonga yashil kimyoning 12 tamoyilini (ayniqsa, atom iqtisodiyoti va chiqindini manbada kamaytirish) tatbiq etish imkoniyatlarini ilmiy asoslash.2. Laboratoriya va eksperimental vazifalarErituvchi va katalizatorlarni optimallashtirish: Jarayonda ishlatiladigan zaharli organik erituvchilarni yashil muqobillarga (suv, ionli suyuqliklar yoki erituvchisiz muhit) almashtirish va yuqori samarali biokatalizatorlarni/g geterogen katalizatorlarni tanlash.Xomashyo bazasini o‘zgartirish: Qazilma boyliklar (neft, gaz) o‘rnini bosuvchi qayta tiklanadigan xomashyolarni (biomassa, qishloq xo‘jaligi yoki sanoat ikkilamchi chiqindilari) jarayonga jalb qilish usullarini ishlab chiqish.Yangi texnologik sxemani yaratish: Moddalarning yopiq siklda (circular) aylanishini ta'minlaydigan, nojo‘ya mahsulotlar hosil bo‘lishini nolga tushiradigan yangi laboratoriya qurilmasi yoki reaksiyalar zanjirini loyihalash.3. Hisoblash va baholash vazifalariEkologik va iqtisodiy samaradorlikni hisoblash: Yangi texnologiyaning yashil kimyo mezonlariga (Atom samaradorligi, E-faktor — chiqindi koeffitsiyenti) muvofiqligini miqdoriy jihatdan hisoblash.Hayotiy siklni baholash (LCA - Life Cycle Assessment): Mahsulotning xomashyo olingan paytdan boshlab, to utilizatsiya qilinguniga qadar bo‘lgan ekologik izini an'anaviy usul bilan solishtirish.4. Sanoatga tatbiq etish vazifalariTexnologiyani kengaytirish (Upscaling): Laboratoriyada olingan ijobiy natijalarni yarim sanoat (pilot) yoki sanoat miqyosiga o‘tkazish bo‘yicha ilmiy-texniktavsiyalar ishlab chiqish.

Bugungi kunda yashil kimyo rivojini Sun’iy intellekt (AI) va kompyuter modellashtirishisiz tasavvur qilib bo‘lmaydi."In silico" sintez: Ilgari laboratoriyada oylab sinab ko‘riladigan zaharli tajribalar o‘rnini kompyuter modellari egalladi. AI trillionlab kimyoviy kombinatsiyalarni hisoblab, "nol chiqindi" va "100% atom iqtisodiyoti" beradigan eng xavfsiz reaksiya yo‘llarini

ISSN 3030-3907

bir necha daqiqada aniqlab beradi.Molekulyar dizayn: Modda hali sintez qilinmasdan turib, uning tabiatda qanchalik tez parchalanishi va toksiklik darajasi dasturlar orqali dasturlashtiriladi.2. Membrana va Mikrotizimli TexnologiyalarAn’anaviy kimyoviy tozalash jarayonlari (masalan, haydash yoki rektifikatsiya) juda ko‘p issiqlik energiyasini talab qiladi va ko‘p miqdorda ikkilamchi chiqindi hosil qiladi.Molekulyar elaklar (Membranalar): Zamonaviy yashil kimyoda moddalarni ajratish uchun maxsus nanomembranalardan foydalaniladi. Bu jarayon xona haroratida kechadi va energiya sarfini 80% gacha qisqartiradi.Mikroreaktorlar: Katta hajmli reaktorlar o‘rniga bir necha millimetrli mikrokanallardan iborat tizimlar ishlatilmoqda. Ularda reaksiya soniyalarda va mutloq nazorat ostida o‘tadi, bu esa portlash xavfini nolga tushiradi va yonaki mahsulotlar (chiqindi) hosil bo‘lishiga yo‘l qo‘ymaydi.3. Global Amaliy Keyslar (Muvaffaqiyatli misollar)Maqolaning nufuzini oshirish uchun dunyoga mashhur kompaniyalarning yashil kimyo yutuqlarini misol keltirish mumkin:Nike va "Yashil erituvchilar": Krossovkalar ishlab chiqarishda ishlatiladigan zaharli elim va erituvchilar butunlay suv asosidagi yashil formulalarga almashtirildi. Bu ishchilar salomatligini asrash bilan birga atmosferaga zaharli bug‘lar chiqishini to‘xtatdi.Cargill (Biopolimerlar): Ushbu kompaniya makkajo‘xori chiqindisidan NatureWorks PLA nomli plastik muqobilini yaratdi. Ushbu material oddiy plastik ishlab chiqarishga qaraganda 68% kamroq issiqlik gazi ajratadi.Pfizer (Yashil farmatsevtika): Mashhur dorilarni sintez qilish bosqichlarini 10 tadan 3 tagacha qisqartirish orqali tonnalab xavfli kimyoviy chiqindilar hosil bo‘lishining oldini oldi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI. Ushbu yo‘nalishdagi tadqiqot metodologiyasi ko‘p tarmoqli (multidisciplinary) bo’lib, quyidagi tarkibiy qismlardan tashkil topadi:1. Nazariy va Tizimli-Tahliliy MetodlarTizimli yondashuv (System Analysis): Ishlab chiqarish jarayonini yaxlit bir ekotizim sifatida ko’rib chiqish. Bunga xomashyo kirishidan boshlab, tayyor mahsulot va chiqindi chiqishigacha bo’lgan barcha bosqichlarni tahlil qilish kiradi.Tadrijiy modellashtirish: Kimyoviy-texnologik jarayonlarni matematik va kompyuter dasturlari (masalan, Aspen Plus, ChemCAD) yordamida modellashtirish va optimallashtirish. 2. "Yashil" Kimyoviy va Eksperimental MetodlarKatalitik sintez: Reaksiyalarning energetik sarfini kamaytirish va unumini oshirish uchun yuqori selektivlikka ega bo‘lgan geterogen, gomogen yoki biokatalizatorlardan (fermentlardan) foydalanish usullari.Yashil erituvchilar texnologiyasi: Zaharli organik moddalar o‘rniga superkritik suyuqliklar (\(CO_{2}\)), ionli suyuqliklar va chuqur evtektik erituvchilarni (DES) qo‘llash hamda ularni qayta tiklash (regeneratsiya) metodikasi. Muqobil energiya manbalari: Reaksiyalarni faollashtirish va vaqtni tejash uchun an'anaviy qizdirish o‘rniga mikrotolqinli

ISSN 3030-3907

(microwave), ultratovushli (sonochemistry) va fotokimyoviy ta'sir ko‘rsatish metodlari. 3. Instrumental-Tahliliy Metodlar (Fizik-kimyoviy tahlil)Olingan mahsulotlarning tarkibi, tuzilishi va tozaligini hamda chiqindilar miqdorini aniqlash uchun zamonaviy tahlil usullaridan foydalaniladi: Xromatografiya (GC-MS, HPLC): Reaksiya aralashmasi tarkibini, asosiy va nojo‘ya mahsulotlar miqdorini aniqlash.Spektroskopiya (FTIR, NMR, UV-Vis): Sintez qilingan moddalarning kimyoviy tuzilishini va funksional guruhlarini tahlil qilish.Termik tahlil (TGA, DSC): Moddalarning issiqlikka chidamliligi va texnologik jarayonning termodinamik xossalarini o‘rganish. 4. Ekologik va Iqtisodiy Metrikalarni Baholash MetodlariYangi texnologiyaning haqiqatdan ham "yashil" va chiqindisiz ekanligini isbotlash uchun maxsus miqdoriy baholash metodlari qo‘llaniladi: Atom iqtisodiyoti (Atom Economy) hisobi: Reaksiyaga kirishgan boshlang‘ich moddalar atomlarining necha foizi foydali mahsulotga aylanganini hisoblash formulasidan foydalanish. E-faktor (Environmental Factor): Hosil bo‘lgan chiqindi massasining olingan maqsadli mahsulot massasiga nisbatan koeffitsiyentini aniqlash (\(E = \frac{\text{Chiqindi massasi}}{\text{Mahsulot massasi}}\)). Chiqindisiz texnologiyada bu ko‘rsatkich nolga yaqin bo‘lishi kerak.Hayotiy siklni baholash (LCA - Life Cycle Assessment): ISO 14040/14044 xalqaro standartlari asosida mahsulotning atrof-muhitga keltiradigan umumiy zararini (uglerod izi, suv sarfi) "beshikdan qabrgacha" (cradle-to-grave) tamoyili bo‘yicha baholash.

TAHLIL VA NATIJALAR. Iqtisodiy va Ekologik DividendlariYashil kimyo faqat ekologiya uchun foydali deb o‘ylash xato. U biznes uchun ham juda daromadli:Xarajatlarni kamaytirish: Chiqindini utilizatsiya qilish va filtrlash tizimlari uchun sarflanadigan millionlab dollar mablag‘ tejaladi.Resurs samaradorligi: Kamroq xomashyodan ko‘proq tayyor mahsulot olinadi (Yuqori E-faktor ko‘rsatkichi evaziga).Yashil brend imidji: Bugungi kunda iste’molchilar ekologik toza va "Zero Waste" sertifikatiga ega mahsulotlarni qimmatroq narxda bo‘lsa ham sotib olishga tayyor.

Yashil kimyo asosida chiqindisiz texnologiyalar yaratishning kelajakdagi istiqbollari insoniyat poydevorini butunlay yangi, ekologik xavfsiz bosqichga olib chiqadi. Kelgusi o‘n yilliklarda bu yo‘nalish shunchaki ixtiyoriy tanlov emas, balki global sanoatning asosiy qonuniyatiga aylanadi.Ushbu texnologiyalarning kelajakdagi eng muhim va real istiqbollari quyidagi yo‘nalishlarda namoyon bo‘ladi:1. Mutloq sirkulyar (aylanma) sanoat modeliKelajakda zavod va fabrikalar "xomashyo – mahsulot – chiqindi" ko‘rinishidagi chiziqli modeldan butunlay voz kechadi.Chiqindining xomashyoga aylanishi: Bir sanoat tarmog‘idan chiqqan ikkilamchi mahsulot yoki gaz boshqa bir tarmoq uchun toza xomashyo vazifasini bajaradi. Tizimda "chiqindi" degan tushunchaning o‘zi

ISSN 3030-3907

qolmaydi.Dizayn bo‘yicha yashil (Green by Design): Har qanday yangi modda, dori vositasi yoki polimer material yaratilayotgan paytdayoq uning molekulyar strukturasi dasturlashtiriladi. Natijada, u o‘z vazifasini bajarib bo‘lgach, tabiatda hech qanday zaharli asorat qoldirmasdan, oson va tez (suv va gazga) parchalanadi.2. Karbonat angidrid (CO_2) — kelajakning eng arzon resursiBugungi kunda global iqlim isishiga sabab bo‘layotgan issiqxona gazlari kelajakda tekin va tugamaydigan xomashyo manbasiga aylanadi.Karbotsentrik kimyo: Sanoat korxonalari va atmosferadan ajratib olingan \(CO_{2}\) gazi maxsus yashil katalizatorlar hamda qayta tiklanadigan vodorod yordamida qayta ishlanadi. Undan kundalik hayot uchun zarur bo‘lgan plastiklar, metanol, dori-darmonlar va sintetik aviatsiya yonilg‘ilari ishlab chiqarish to‘liq standartga aylanadi.3. Neft kimyosidan "Biorefineriya" (Biomassa) kimyosiga o‘tishYer osti qazilma boyliklari (neft, gaz, ko‘mir) o‘rnini butunlay qayta tiklanadigan o‘simlik va organik xomashyolar egallaydi.Biorefining zavodlari: Kelajak kimyo zavodlari qishloq xo‘jaligi chiqindilari (g‘o‘zapoya, somon, po‘stloq), oziq-ovqat qoldiqlari va maxsus o‘stirilgan suvo‘tlarni chuqur biogidrolizlash orqali ishlaydi. Bu orqali barcha turdagi yuqori sifatli polimerlar va bioplastiklar olinadi.4. Sun’iy intellekt va kvant kimyosi simbioziYangi ekologik toza materiallar va zaharsiz katalizatorlarni kashf qilish jarayoni bir necha o‘n marta tezlashadi.In Silico tajribalar: Laboratoriyalarda oylab, yillab o‘tkaziladigan va tonnalab zaharli chiqindi hosil qiluvchi an’anaviy tajribalar o‘rnini kompyuter va kvant modellashtirish egallaydi. Sun’iy intellekt (AI) bir necha soniyada \(100\%\) atom tejamkorligiga ega bo‘lgan, hech qanday yonaki chiqindi bermaydigan eng xavfsiz kimyoviy reaksiya yo‘llarini aniqlab va loyihalab beradi.5. Membrana texnologiyalari va energiya sarfining keskin kamayishiKimyoviy jarayonlarda issiqlik energiyasini sarflash mutloq minimal darajaga tushiriladi.Nanomembranalar: Moddalarni yuqori haroratda qaynatib yoki haydab (distillatsiya) ajratish o‘rnini xona haroratida ishlaydigan molekulyar nanomembranalar egallaydi. Bu sanoat korxonalarida energiya sarfini 80-90% gacha qisqartirish imkonini beradi.6. Iqtisodiy majburiyat va "Yashil siyosat"Kelajakda yashil kimyo prinsiplariga amal qilmaslik iqtisodiy jihatdan ishlab chiqarishni imkonsiz qilib qo‘yadi.Uglerod va ekologik soliqlar: Xalqaro miqyosda chiqindi chiqaruvchi korxonalarga solinadigan soliqlar keskin oshiriladi. Chiqindisiz texnologiyaga ega korxonalar esa aksincha, davlatlar tomonidan subsidiyalar va soliq imtiyozlari bilan rag‘batlantiriladi. Iste’molchilar ham faqat "Eco-friendly" yoki "Zero Waste" sertifikatiga ega toza mahsulotlarni sotib olishga o‘tadi.

XULOSA VA TAKLIFLAR. Yashil kimyo tamoyillari asosida chiqindisiz texnologiyalarni yaratish — kelajak talabidir. Bu usul nafaqat tabiatni

ISSN 3030-3907

asraydi, balki iqtisodiy jihatdan ham xomashyoni tejaydi. Sanoat korxonalarini to‘liq yashil kimyoga o‘tkazish barqaror ekologik muhitni ta’minlashning yagona yo‘lidir.Yashil kimyo asosida chiqindisiz texnologiyalarga o‘tish — bu shunchaki ekologik xohish emas, balki insoniyatning omon qolish strategiyasidir. Yaqin kelajakda ekologik soliqlar (karbonat angidrid solig‘i) kuchaytirilishi natijasida an’anaviy zararli texnologiyalar iqtisodiy jihatdan o‘zini oqlamay qoladi va yashil texnologiyalar mutloq g‘oliblikka erishadi.

FOYDALANILADIGAN ADABIYOTLAR

1. КомиловК.У. Кимёда экологик таълим ва тарбия/ "Олий таълим тизимида табиийфанлар: илмий тадкикот, укитиш ва малака ошириш муаммолари" мавзусидаги Республикаилмий-амалий конференцияси илмий тезислар туплами. ФарДУ. Фаргона. 2018 й. 165 б.
2. КомиловК.У., НосироваС.Ш. Гидроэкологик муаммолар ва уларни бартараф этишда полимер комплекслардан фойдаланиш//Экология хабарномаси. №1. 2019. 23-25 бетлар.
3. Комилов К.У., Носирова С.Ш. Сув хавзалари гидроэкологик холатини бахолашда киммёвий усулларнинг роли/ XXI аср - интеллектуал ёшлар асри мавзусидаги Республика илмий ва илмий-назарий анжуман. Тошкегнт, 24 апрель 2020 йил.
4. Комилов К.У., Курбанова А.Дж., Аллаев Ж. Кимё таълими ва экологик таълим// «Янги Узбекистонда илм фан ва таълим» илмий методик журнал. 2021. №1, Tom 1.165-171 b.
5. Xaliknazarova N. Z., Kurbanova A. Dj. Organik kimyo darslarida ekologik mazmunli muammoli masalalardan foyalanish// Academic research in educational sciences, № 11(2). 2021. 923-931.
6. Акбарова М.Т. "Кимё" курсининг дидактик материаллари нокимёвий таълим йуналишлари мисолида/Academic research in educational sciencesю2021, volume 2, issue 6, 736-740.
7. Marzaraximov A.A. , Kurbanova A.Dj. , Komilov K.U. Kimyo ta'limning talabalarda gidroekologik madaniyatni
8. April, 2022.shakllantirishdagi o‘rni// "PEDAGOGS" international research journal. 2022, Volume-7, Issue-1, Page 353-358.
9. Abdullayeva Sh.H., Komilov Q.O,,. Kimyo darslarida tizimli-faol yondashuvning tadbig‘i// Academic Research in Educational Sciences, 2022. Volume 3, Issue 2, Page
10. Islomova N.A., Komilov Q.O. Yuqori molekulyar birikmalarni fizik-kimyoviy tadqiqot usullari asosida o‘rganish// Academic Research in Educational Sciences, 2022. Volume 3, Issue 2, Page 877-884.

ISSN 3030-3907

11. Мирзарахимов А. А. Интерполимерные комплексы для защиты окружающей среды// "Экономика и социум" . 2022. №2(93)
12. Бузрукходжаев А.Н., Комилов К.У. Технология проблемного обучения на уроках химии школ// "Экономика и социум". 2022.№2(93) Стр. 579-584.
13. Тухтаниёзова Ф.О., Комилов К.У. Формирование универсальных учебных действий у учащихся на уроках химии через дидактические игры//"Экономика и социум". 2022. №2(93)-2 . Стр. 960-965.916-922.April, 2022

ISSN 3030-3907

TEKTONIK BUZILISH HUDUDLARIDAGI KARYER BORTLARI DEFORMATSION HOLATINI MONITORING QILISH VA TURG‘UNLIGINI TA’MINLASH BO‘YICHA ZAMONAVIY ILMIY YONDASHUVLAR HAMDA INNOVATSION TEXNOLOGIYALAR TAHLILI

J.H.Abdumalikov
Toshkent davlat texnika universiteti
V.R.Kadirov
Toshkent davlat texnika universiteti
Z.Y.Ravshanov
Toshkent davlat texnika universiteti

Annotatsiya. Ushbu maqolada tektonik buzilish hududlaridagi ochiq konlarda bortlarining deformatsion holatlarini monitoring qilish va turg‘unligini ta’minlash bo‘yicha tahliliy ishlar keltirilib o‘tilgan. Xalqaro va respublikada ilmiy tadqiqot ishlarining qiyosiy tahlili olib borilgan bo‘lib, har xil geomexanik, geofizik va zamonaviy texnologik yondashuvlar xususan, InSAR, GB-InSAR, GNSS, LiDAR, sun’iy intellekt va IoT asosidagi monitoring tizimlari tektonik faol zonalarda bort turg‘unligiga ta’siri jihatidan baholanganligi ko‘rib o‘tilgan. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, ko‘p parametrli integratsiyalashgan monitoring tizimlari va Machine Learning algoritmlari yordamida bortlarning turg‘unlik holatini 85–90% aniqlikda oldindan aniqlash mumkin. Shu sababli deformatsion monitoring tizimlarini joriy etish va geomexanik tahlil asosida bort turg‘unligini boshqarish zamonaviy konchilikning ustuvor yo‘nalishiga aylangan. Bu borada *VNIMI* (Butun Rossiya kon geomexanikasi va marksheyderlik ishlari ilmiy-tadqiqot instituti) olimlari tomonidan ham katta ilmiy-amaliy tadqiqotlar olib borilgan.

Kalit so‘zlar: tektonik buzilishlar, bort turg‘unligi, geofizik tadqiqotlar, InSAR, GB-InSAR, GNSS, LiDAR, sun’iy intellekt, IoT monitoring tizimlari, *Machine Learning*, integratsiyalashgan monitoring, seysmik faol zonalar, karyer bortlari deformatsiyasi, marksheyderlik kuzatuvlari, kon xavfsizligi, VNIMI.

Abstract. This article presents analytical studies on monitoring the deformation state and ensuring the stability of pit slopes in open-pit mines located within tectonically disturbed zones. A comparative analysis of international and national scientific research has been carried out, examining various geomechanical, geophysical, and modern technological approaches, particularly InSAR, GB-InSAR, GNSS, LiDAR, artificial intelligence, and IoT-based monitoring systems, in terms of their impact on slope stability in tectonically active areas. The research results indicate that using multi-parameter integrated monitoring systems and Machine Learning algorithms makes it possible to predict slope stability

ISSN 3030-3907

conditions with an accuracy of 85–90%. Therefore, the implementation of deformation monitoring systems and the management of slope stability based on geomechanical analysis have become one of the priority directions in modern mining engineering. In this regard, significant scientific and practical research has also been conducted by scientists of VNIMI (All-Russian Research Institute of Mining Geomechanics and Mine Surveying).

Keywords: tectonic disturbances, slope stability, geophysical research, InSAR, GB-InSAR, GNSS, LiDAR, artificial intelligence, IoT monitoring systems, Machine Learning, integrated monitoring, seismically active zones, pit slope deformation, mine surveying observations, mining safety, VNIMI.

Аннотация. В данной статье представлены аналитические исследования по мониторингу деформационного состояния и обеспечению устойчивости бортов карьеров в открытых горных разработках, расположенных в зонах тектонических нарушений. Проведен сравнительный анализ международных и республиканских научных исследований, в рамках которого рассмотрены различные геомеханические, геофизические и современные технологические подходы, в частности InSAR, GB-InSAR, GNSS, LiDAR, искусственный интеллект и системы мониторинга на основе IoT, с точки зрения их влияния на устойчивость бортов в тектонически активных зонах. Результаты исследований показывают, что использование многопараметрических интегрированных систем мониторинга и алгоритмов Machine Learning позволяет прогнозировать состояние устойчивости бортов с точностью 85–90%. В связи с этим внедрение систем деформационного мониторинга и управление устойчивостью бортов на основе геомеханического анализа стали одним из приоритетных направлений современной горнодобывающей промышленности. В данном направлении значительные научно-практические исследования также были проведены учеными VNIMI (Все Российский научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела).

Ключевые слова: тектонические нарушения, устойчивость бортов, геофизические исследования, InSAR, GB-InSAR, GNSS, LiDAR, искусственный интеллект, системы мониторинга на основе IoT, Machine Learning, интегрированный мониторинг, сейсмически активные зоны, деформация бортов карьера, маркшейдерские наблюдения, безопасность горных работ, ВНИМИ.

KIRISH.

Ochiq usulda kon qazish jarayonida karyer bortlarining turg‘unligi nafaqat iqtisodiy samaradorlik, balki ishchilar xavfsizligi va atrof-muhit muhofazasi nuqtai nazaridan ham hal qiluvchi ahamiyatga ega. Ayniqsa, tektonik jihatdan faol

ISSN 3030-3907

hududlarda seysmik xavf yuksakligi bo‘lgan, yoriqlar va uzilmalar keng tarqalgan zonalarda bort deformatsiyasi muammosi keskin tarzda namoyon bo‘ladi.

Dunyo bo‘ylab karyer bortlarining to‘satdan qulab tushishi natijasida yirik iqtisodiy yo‘qotishlar va baxtsiz hodisalar yuz bergan. Shu sababli so‘nggi o‘n yilliklarda bort turg‘unligini ta’minlashning ilmiy-texnik asoslarini ishlab chiqish va monitoring usullarini takomillashtirish geomexanika fanining ustuvor yo‘nalishlaridan biriga aylandi. O‘zbekiston ko‘p sonli foydali qazilmalar zaxiralariga ega bo‘lib, Muruntou, Qalmoqir, Angren ko‘mir koni, Davgustau kabi yirik karyerlarda juda katta hajmda foydali qazilma qazib olinadi. Ushbu karyerlarning katta qismi tektonik faol mintaqalarda joylashgan bo‘lib, bu yerda seysmik tebranishlar, gidrogeologik o‘zgarishlar va yoriqlar bort barqarorligiga jiddiy ta’sir ko‘rsatadi [1-5].

Ushbu ishda, respublikamizda va butunjahonda olib borilgan ilmiy-tadqiqot ishlarini qiyosiy tahlil qilish, ularning metodologik yondashuvlari, erishilgan natijalari va amaliy qo‘llanilish imkoniyatlarini baholash hamda tektonik faol zonalardagi karyerlar uchun takomillashtirilgan monitoring metodologiyasini o‘rganishdan iboratdir.

Karyer bort turg‘unligini ilmiy o‘rganishning klassik asosi Hoek va Bray tomonidan ishlab chiqilgan bo‘lib ular kinematik tahlil va stereografik proyeksiya usullarini qo‘llab, bort geometriyasi va yorilish yo‘nalishi o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlashdgan. Ushbu usul hozirgi kunda ham asosiy metodologik zamin sifatida qo‘llaniladi, ammo seysmik dinamik yuklamalarni hisobga olmaydi. Bu esa seysmik faol hududlar uchun deformatsion zonalarni aniqlashning to‘liq imkonini bermaydi.

Cai va boshqalar Xitoy ochiq konlarida Interferometrik Sintetik Apertura Radarini (InSAR) qo‘llab, millimetrik aniqlikda deformatsiyani masofadan o‘lchashga muvaffaq bo‘ldilar. Ularning natijalariga ko‘ra yillik harakatlar 20 dan 60 mm gacha bo‘lishi mumkin, bu esa qulab tushish xavfining bevosita ko‘rsatkichidir.

Farina va boshqalar Italiya Alp tizmalarida Zaminga asoslangan InSAR (GB-InSAR) tizimini tatbiq etib, soatlik va kunlik deformatsiya dinamikasini real vaqtda kuzatdilar. Ularning tizimi 24/7 rejimda ishlab, bort harakatini 0,1 mm aniqlikda o‘lchash imkonini berdi.

Casagli va boshqalar tomonidan amalga oshirilgan so‘nggi tadqiqotda sun’iy intellekt (AI) algoritmlarini SAR ma’lumotlari bilan integratsiyalash 90% gacha ogohlantirish aniqligi ta’minlashini ko‘rsatdi. Bu texnologiya hozirgi kunda eng ilg‘or yondashuv hisoblanadi [6-7].

ISSN 3030-3907

1-jadval

Tektonik buzilish hududlaridagi karyer bort turg‘unligi bo‘yicha asosiy tadqiqotlarning qiyosiy tahlili

Muallif / Manba	Davlat	Monitoring usuli	Tektonik holat	Asosiy natija	Kamchiliklar
Hoek & Bray (1981)	Buyuk Britaniya	Kinematik tahlil	Umumiy	Slip circle modeli	Dinamik yuklar hisoblanmagan
Cai et al. (2007)	Xitoy	InSAR + GPS	Yuqori aktivlik	Millimetrik aniqlik	Bulutli ob-havo cheklovi
Farina et al. (2008)	Italiya	GB-InSAR	Alp tizmalari	Sutkali harakatlar	Qimmat uskunalar
Casagli et al. (2023)	Italiya	AI + SAR	O‘rta aktivlik	90% aniqlik ogohlantirish	Hali keng joriy etilmagan

InSAR texnologiyasi so‘nggi o‘n yilliklarda karyer monitoringida inqilob yaratdi. Bu texnologiya orqali keng maydonlarda (yuzlab kvadrat kilometr) bir vaqtning o‘zida, havo harorati va kunning istalgan vaqtida deformatsiyani o‘lchash mumkin. Differensial InSAR (DInSAR) 5–10 mm/yil aniqlikda yillik deformatsiyani aniqlasa, doimiy tarqatuvchilar usuli (PS-InSAR) bu aniqlikni 1–2 mm/yilga yetkazadi.

LiDAR (Light Detection And Ranging) texnologiyasi bort geometriyasining 3D modelini millimetrik aniqlikda yaratish imkonini beradi. Ayniqsa, dron asosidagi LiDAR (UAV-LiDAR) inson kirib borolmaydigan xavfli hududlarda ham monitoring o‘tkazish imkonini beradi. Mikos va boshqalar bu usul yordamida Sloveniya Alp karyerlarida hajmiy deformatsiyani 0,1 m^3 aniqlikda o‘lchashga muvaffaq bo‘ldilar [8].

GNSS (Global Navigation Satellite System) bazali monitoring tizimlari hozirda karyer bortlaridagi punktlarda doimiy o‘rnatilgan uskunalar orqali real vaqt rejimida 1–5 mm aniqlikda ko‘chishlarni o‘lchash imkonini beradi. Bu tizimlarning ustunligi avtomatlashtirilgan ogohlantirish tizimi bilan birlashtirilishi mumkinligi.

So‘nggi yillarda eng samarali yondashuv bir nechta monitoring usullarini IoT sensori tarmoqlari bilan birlashtirib, sun’iy intellekt (AI) algormlari asosida real vaqtda tahlil qilish hisoblanadi. Yin va boshqalar Xitoy karyerlarida IoT sensor tarmog‘ini joriy etib, deformatsiya ma’lumotlarini bulut serveriga uzatish va mobil ilova orqali monitoring qilish tizimini ishlab chiqdilar [9-11].

ISSN 3030-3907

Butunrossiya kon geomexanikasi va marksheyderlik ishlari ilmiy-tadqiqot instituti (VNIMI) olimlari tomonidan amalga oshirilgan tadqiqotlarda quyidagi yo‘nalishlar asosiy o‘rin egallaydi:

- tog‘ jinslari massivining geomexanik holatini baholash;
- tektonik buzilishlarning bort turg‘unligiga ta’sirini aniqlash;
- deformatsion monitoring tizimlarini ishlab chiqish;
- karyer bortlari uchun xavfsizlik mezonlarini optimallashtirish;
- georadar va sun’iy yo‘ldosh monitoring texnologiyalarini joriy etish;
- seysmik faol hududlarda bortlarning mustahkamligini prognozlash.

Institut olimlari tektonik yoriqlar mavjud bo‘lgan massivlarda kuchlanishlarning qayta taqsimlanishi bortlarning lokal deformatsiyasiga sabab bo‘lishini aniqlagan. Natijada siljish zonalari hosil bo‘lib, ular katta masshtabdagi ko‘chkilarning rivojlanishiga olib keladi.

Bort turg‘unligini aniqlashda keng qo‘llaniladigan umumiy bog‘lanish:

$$K=\sum T / \sum R$$

bu yerda:

K — turg‘unlik koeffitsienti;

$\sum R$ *— ushlab turuvchi kuchlar yig‘indisi;*

$\sum T$ *— siljituvchi kuchlar yig‘indisi.*

Institut olimlari tadqiqotlariga ko‘ra, tektonik buzilish zonalarida ushbu koeffitsientning kritik qiymati odatda 1,1–1,3 oralig‘idan pasaymasligi lozim.

Tektonik buzilishlar mavjud massivlarda sonli modellashtirish muhim ahamiyatga ega. VNIMI tadqiqotlarida quyidagi dasturiy komplekslardan foydalanilgan:

- FLAC;
- Phase2;
- PLAXIS;
- Rocscience.

Ushbu modellar yordamida:kuchlanish-deformatsiya holati;

- siljish zonalari;
- xavfli uchastkalar;
- kritik qiyalik burchaklari aniqlanadi.

Qiyalik burchagi va balandlik orasidagi bog‘liqlik quyidagi tarzda ifodalanadi:

$$\tau=c+\sigma \tan\varphi$$

bu yerda:

τ — siljishga qarshilik;

c— jinslarning ilashish kuchi;

ISSN 3030-3907

σ — normal kuchlanish;
φ — ichki ishqalanish burchagi.

Tadqiqot natijalariga ko‘ra, tektonik faol hududlardagi karyerlar uchun ko‘p darajali integratsiyalashgan monitoring tizimini joriy etish taklif etiladi. Ushbu tizim uchta asosiy blokdan iborat:

1-daraja (Dala monitoringi): GNSS bazali doimiy stansiyalar, inklinometrlar, piezometrlar va seysmik sensorlar tarmog‘i. Bu uskunalar karyerdagi 10–20 ta strategik nuqtada o‘rnatiladi va ma’lumotlarni real vaqtda uzatadi, aniqligi: 1–3 mm ko‘chish uchun.

2-daraja (Masofaviy zondlash): GB-InSAR yoki UAV-LiDAR texnologiyalari orqali oylik yoki haftalik 3D deformatsiya xaritasi yaratish. Ushbu usul butun bort yuzasini qamrab olib, geodezik monitoring nuqtalar orasidagi hududlarda ham deformatsiyani aniqlash imkonini beradi.

3-daraja (Intellektual tahlil): Yig‘ilgan ma’lumotlarni machine learning algoritmlari yordamida qayta ishlash, deformatsiya hududlarini bashorat qilish va ogohlantirish signallarini avtomatik generatsiya qilish, tizim 24/7 rejimda ishlab, potentsial xavf aniqlanganda 30 daqiqa ichida mas’ul shaxslarga xabar yuboradi.

XULOSA.

Tektonik buzilish hududlaridagi karyer bortlarining turg‘unligini ta’minlash zamonaviy geomexanikaning murakkab ilmiy-amaliy muammolaridan biridir. Butun Rossiya kon geomexanikasi va marksheyderlik ishlari ilmiy-tadqiqot instituti olimlari tomonidan olib borilgan tadqiqotlar deformatsion monitoring tizimlari va geomexanik modellashtirish usullarining samaradorligini ilmiy jihatdan asoslab beradi.

Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, geodezik, GNSS va InSAR monitoring texnologiyalarini kompleks qo‘llash, shuningdek sonli modellashtirish asosida xavfli zonalarni prognozlash karyer bortlari turg‘unligini sezilarli darajada oshiradi. Ushbu yondashuvlar ishlab chiqarish xavfsizligini ta’minlash, iqtisodiy yo‘qotishlarni kamaytirish va konlarni samarali ekspluatatsiya qilishda muhim ahamiyatga ega.

Birinchidan. Tektonik faol hududlardagi karyer bortlarini monitoring qilishda an’anaviy geodezik usullar yetarli emas. Zamonaviy masofaviy zondlash (InSAR, LiDAR) va GNSS texnologiyalarini qo‘llash deformatsiya aniqligi va ogohlantirish tezligini sezilarli oshiradi.

Ikkinchidan. Machine learning algoritmlari va IoT sensor tarmoqlari integratsiyasi bort beqarorlashishini 72 soat va undan ko‘proq oldindan 85–90% aniqlik bilan prognoz qilish imkonini beradi.

Uchinchi. O‘zbekiston karyerlari uchun ko‘p darajali integratsiyalashgan monitoring tizimi GNSS + UAV fotogrammetriasi + ML algoritmlari

ISSN 3030-3907

kombinatsiyasi eng maqbul yondashuv hisoblanadi: bu tizim xorijiy texnologiyalarga qaraganda arzonroq, ammo samaradorlik jihatidan raqobatbardosh.

To‘rtinchi. Seysmik va gidrogeologik omillar bort turg‘unligiga muhim ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli FOS hisoblashda ushbu omillarni majburiy hisobga olish va mavsumiy monitoring jadvallarini ularga moslashtirilgan holda tuzish zarur.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Фисенко Г. Л. «Устойчивость бортов карьеров и отвалов». – М.: Недра, 1965..
2. Кадиров В. Р. и др. Обоснование и выбор расчетных геомеханических моделей //European Scientific Conference. – 2020. – С. 39-43.
3. Галустьян Э. Л. «Геомеханическое обоснование параметров карьеров». – М.: Недра, 1992.
4. Кадиров В. Р. и др. Влияние тектонических блоков на устойчивости бортов глубоких карьеров //Barqarorlik va yetakchi tadqiqotlar onlayn ilmiy jurnali. – 2022. – Т. 2. – №. 9. – С. 246-251.
5. Hoek, E., & Bray, J. W. (1981). Rock Slope Engineering (3rd ed.). Institute of Mining and Metallurgy, London. 402 p.
6. Cai, J., Liu, G., & Shi, L. (2007). Application of InSAR in open-pit slope deformation monitoring in seismically active zones of western China. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 12(3), 412–425.
7. Farina, P., Colombo, D., Fumagalli, A., Marks, F., & Moretti, S. (2008). Permanent Scatterers for landslide investigations: outputs from the ESA-SLAM project. Engineering Geology, 88(3–4), 144–155.
8. Mikos, M., Vidmar, A., & Brilly, M. (2010). Using a laser measurement system for monitoring morphological changes on the Strug rock fall, Slovenia. Natural Hazards and Earth System Sciences, 5(1), 143–153.
9. Stiros, S. C., & Vichas, C. (2011). Monitoring an unstable slope in a seismically active region. Engineering Geology, 79(3–4), 231–241.
10. Liao, M., Dong, J., & Lv, J. (2022). BIM and GIS integration for digital twin-based slope stability monitoring. Automation in Construction, 134, 104042.
11. Casagli, N., Intrieri, E., & Tofani, V. (2023). Artificial Intelligence for slope stability analysis: a systematic review. Engineering Geology, 310, 106850.

AVTOGREYDERLAR UCHUN GIBRID ENERGETIK TIZIMLARNI QO‘LLASH: MUAMMOLAR VA ISTIQBOLLAR

Qo‘chqorov Dostonjon Shokirjon o‘g‘li
Toshkent davlat transport universiteti, Texnologik mashinalar muhandisligi kafedrasi
E-mail: qochqorovdoston333@gmail.com
Pirnayev Sharofiddin Asatillayevich
Toshkent davlat transport universiteti, Texnologik mashinalar muhandisligi kafedrasi

Annotatsiya. Ushbu maqolada og‘ir yo‘l qurilish texnikasi — xususan avtogreyder mashinalari uchun gibrid energetik tizimlarni joriy etishning texnik asoslari, energiya samaradorligi ko‘rsatkichlari va amaliy muammolari o‘rganilgan. Avtogreyder o‘ziga xos ish sikli (yuqori statik yuk, uzlukli yuklama, past tezlikda katta moment) elektr-mexanik uzatma qutisi va gidrostatik gibrid tizimlariga alohida talablar qo‘yadi. Maqolada quvvat oqimi modeli, regenerativ energiya miqdori va O‘zbekistondagi yo‘l qurilish sharoitida gibrid avtogreyderlarni qo‘llash iqtisodiy samaradorligi tahlil qilingan.

Kalit so‘zlar: avtogreyder, gibrid energetik tizim, elektr-mexanik uzatma, gidrostatik gibrid, regenerativ energiya, yo‘l qurilish texnikasi, yoqilg‘i samaradorligi, dizel-elektr agregat, quvvat boshqaruvi.

Abstract. This article examines the technical foundations, energy efficiency indicators, and practical challenges of implementing hybrid power systems for heavy road construction machinery, specifically for autogreader machines. The specific operating cycle of the motor grader (high static load, intermittent load, high torque at low speeds) imposes special requirements on the electro-mechanical gearbox and hydrostatic hybrid systems. The article analyzes the power flow model, the amount of regenerative energy, and the economic efficiency of using hybrid motor graders in road construction conditions in Uzbekistan.

Keywords: motor grader, hybrid power system, electric-mechanical transmission, hydrostatic hybrid, regenerative energy, road construction equipment, fuel efficiency, diesel-electric unit, power management

Аннотация. В данной статье рассматриваются технические основы, показатели энергоэффективности и практические проблемы внедрения гибридных энергетических систем для тяжелой дорожно-строительной техники - в частности, автогрейдерных машин. Специфический рабочий цикл автогрейдера (высокая статическая нагрузка, прерывистая нагрузка, большой момент при низких скоростях) предъявляет особые требования к электромеханической коробке передач и гибридным гидростатическим

системам. В статье анализируется модель потока мощности, объем регенеративной энергии и экономическая эффективность применения гибридных автогрейдеров в условиях дорожного строительства в Узбекистане.

Ключевые слова: автогрейдер, гибридная энергетическая система, электромеханическая передача, гидростатический гибрид, регенеративная энергия, дорожно-строительная техника, топливная эффективность, дизель-электрический агрегат, управление мощностью

1. KIRISH.

Avtogreyder — yo‘l qurilish, yer ishlari va hududlarni tekislashda foydalaniladigan og‘ir yo‘l qurilish mashinasi bo‘lib, uning yetaklovchi tizimi katta moment (1500–6000 N·m) va keng tezlik diapazoni (0–40 km/soat) bilan ishlashini ta'minlashi lozim. An'anaviy avtogreyderlar dizel dvigateli va gidromexanik uzatma qutisiga asoslangan bo‘lib, ularning yoqilg‘i sarfi 20–40 l/soatni tashkil etadi.Yer qazish va yo‘l qurilish mashinalariga nisbatan tobora kuchayib borayotgan ekologik talablar (Stage V/Tier 4 Final standartlari) va energiya xarajatlarini kamaytirish zaruriyati gibrid texnologiyalarni konstruktorlik-tadqiqot ishlarining markaziga olib chiqdi. **Komatsu**, **Caterpillar** va **John Deere** kabi yetakchi ishlab chiqaruvchilar allaqachon gibrid ekskvator va traktorlarni seriyali ishlab chiqarishga joriy etgan bo‘lsa, avtogreyderlar uchun bunday tizimlar hali tadqiqot va sinovlar bosqichida.



1-rasm. Avtogrederning umumiy ko‘rinishi

Ushbu maqolaning maqsadi — avtogreyder mashinalari uchun mos gibrid arxitekturani tanlab, energetik samaradorlikni baholab, O‘zbekiston yo‘l qurilish sanoatiga tadbiq etish istiqbollarini asoslashdan iboratdir.

2. AVTOGREYDERNING ISH SIKLI VA QUVVAT TALABLARI.

2.1. Texnik xususiyatlar tahlili

Avtogreyder mashinalari boshqa qurilish texnikasidan farq qiladigan bir qator o‘ziga xos operatsion xususiyatlarga ega. Asosiy ish operatsiyalari: yer tekislash, qor tozalash, gruntni silliqlash, yo‘l yuzasini profillash. Har bir operatsiya turli yuklanish profilini vujudga keltiradi.

ISSN 3030-3907

Kuzatuvlar shuni ko‘rsatadiki, avtogreyder ish siklining taxminan 35–45%i past tezlik va yuqori tortish kuchini (yer kesish, gruntni siljitish), 30–40%i o‘rtacha yuklanishda harakatlanishni, 15–25%i esa salt yurish yoki manevrlashni o‘z ichiga oladi. Bu yuklanish profili gibrid energetik tizim uchun qulay sharoit — salt yurish vaqtida batareyani quvvatlantirish imkoni mavjud bo‘ladi.

2.2. Quvvat talab modeli

Og‘ir texnika uchun ish siklidagi o‘rtacha quvvat talabi $P_{o‘rt}$ quyidagi ko‘rinishda ifodalanadi:

$$P_{o‘rt} = P_{dvigatel} \cdot \left(\frac{T_{yuklanish}}{T_{umumiy}}\right) \cdot \eta_{uzatma} \qquad (1)$$

$$P_{reg} = m \cdot g \cdot v \cdot (\sin\alpha + \mu) \cdot \eta_{motor} \qquad (2)$$

Bu yerda: $\mathbf{P}_{reg}$ — regenerativ tormozlashdan olinadigan quvvat; **m** — avtogreyder massasi (14 000–20 000 kg); **g** — erkin tushish tezlanishi; **v** — harakat tezligi; **α** — qiyalik burchagi; **μ** — harakat qarshiligi koeffitsienti; $\eta_{_motor}$ — elektr motor FIK (0.91–0.95).

3. AVTOGREYDER UCHUN GIBRID ARXITEKTURALAR.

3.1. Gidrostatik gibrid tizim

Gidrostatik gibrid — avtogreyderlar uchun eng ko‘p tadqiq etilayotgan variantlardan biri. Bu tizimda dizel dvigateli gidravlik nasos bilan birlashtiriladi, to‘plangan gidravlik energiya esa akkumulator (pnevmogidravlik akkumulator) da saqlanib, keyin gidravlik motor orqali yetakchi o‘qqa uzatiladi. Caterpillar 140M3 gibrid avtogreyder prototipi aynan shu tamoyilga asoslanadi.

Gidrostatik gibridning asosiy afzalligi — gidravlik tizim allaqachon avtogreyderda mavjud (ish organlari uchun), shuning uchun qo‘shimcha tizim integratsiyasi nisbatan sodda. Taxminiy yoqilg‘i tejami: ish siklida 18–28%.

3.2. Elektr-mexanik gibrid (Diesel-Electric)

Dizel-elektr sxemasida dizel dvigateli generator bilan birlashtiriladi, hosil bo‘lgan elektr energiyasi tyristorli o‘zgartkichlar orqali harakatlantiruvchi elektr motorlariga uzatiladi. Shu bilan birga, litiy-ion yoki $LiFePO_4$ akkumulyatorlar qo‘shimcha energiya manbai va bufer sifatida xizmat qiladi.

Bu arxitektura avtogreyder uchun bir qator konstruktiv ustunliklar beradi: gidromexanik uzatma qutisi va murakkab kardan uzatmalar o‘rniga oddiy elektr kabellar; har bir g‘ildirak yoki o‘q uchun mustaqil moment nazorati ; kabina issiqlik qulayligi uchun invertor yordamida elektr isitish.

3.3. Quvvat boshqaruvi strategiyasi

Gibrid avtogreyder uchun quvvat boshqaruvi algoritmi (Energy Management Strategy — EMS) quyidagi parametrlarga asoslanishi kerak: akkumulator zaryad holati (SOC—State of Charge), dvigatel ish nuqtasi (optimal

ISSN 3030-3907

FIK zonasi), doimiy va o‘zgaruvchan yuklanish prognozi, atrof-muhit harorati (batareya termik chegaralari).

Qoida asosida boshqaruvda (Rule-Based EMS) dvigatel 75–90% yuklanishda — optimal FIK zonasida — ushlab turiladi. SOC < 30% bo‘lganda batareyani to‘ldirish ustuvorlikka ega; SOC > 80% bo‘lganda regenerativ tormozlash yoqiladi. Adaptiv (ECMS — Equivalent Consumption Minimization Strategy) algoritmlar esa ish siklini real vaqtda tahlil qilib, 5–10% qo‘shimcha tejamkorlik beradi.

1-jadval.

Avtogreyder gibrid tizim arxitekturalarini taqqoslash

Ko‘rsatkich	Gidrostatik	Dizel-elektr	Parallel mexanik	An'anaviy (taqqoslash)
Yoqilg‘i tejamkorligi (%)	18–28	25–35	15–22	—
Tizim massasi (kg, qo‘shimcha)	+600–900	+1200–1800	+400–700	0
Konstruktiv murakkablik	O‘rtacha	Yuqori	Kam	—
Integratsiya soddaligi	Yuqori	O‘rtacha	Yuqori	—
Taxminiy qo‘shimcha narx ($)	45–70k	80–120k	30–50k	—
Ekologik foyda (CO_2, %)	20–30	28–38	15–20	—

4. TEXNIK MUAMMOLAR VA YECHIMLAR

4.1. Og‘ir sharoit va mustahkamlik

Avtogreyder tosh, chang, namlik va harorat o‘zgarishlari bilan boyigan og‘ir sharoitda ishlaydi. Elektr komponentlari (elektr motor, invertor, akkumulator) IP67 yoki undan yuqori himoya darajasiga ega bo‘lishi shart. O‘zbekiston sharoitida qishki −15°C va yozgi +45°C harorat oralig‘i $LiFePO_4$ kimyosini tanlashni zarur qiladi — bu kimyo Li-NMC ga qaraganda haroratga bardoshliligi va xavfsizligi bilan ustunlik qiladi.

4.2. Akkumulyator sig‘imi va og‘irligi

ISSN 3030-3907

Og‘ir texnikada qo‘shimcha 1–2 tonna massa konstruktiv va foydalanish parametrlariga ta'sir qiladi. Shuning uchun avtogreyder gibridlari uchun tam to‘liq elektr zaxira emas, balki "quvvat buferiga ega" yondashuv — kichik sig‘imli (20–80 kWh), yuqori quvvatli akkumulator paketi qo‘llaniladi. Bu esa uzoq muddatli zaryad muammosini hal qilib, vaznni minimal darajada ushlab turadi.

4.3. Texnik xizmat ko‘rsatish infratuzilmasi

O‘zbekistonda og‘ir qurilish texnikasiga ixtisoslashgan servis markazlari hali gibrid komponentlarni diagnostika qilish imkoniyatiga ega emas. Muammoni hal etish uchun: OEM (asl jihozlar ishlab chiqaruvchisi) bilan uzoq muddatli servis shartnomasi; mahalliy mexaniklarga CAN-bus diagnostika va HV (yuqori voltaj) tizimlar bo‘yicha o‘quv kurslari; modulli dizayn — shikastlangan elektr modul butun agregatni emas, alohida almashtirilishi kerak.

5. O‘ZBEKISTON SHAROITIDA IQTISODIY SAMARADORLIK.

O‘zbekistondagi yo‘l qurilish kompaniyalari uchun gibrid avtogreyderning 7 yillik TCO (Total Cost of Ownership — umumiy egalik narxi) tahlili quyidagi taxminiy ko‘rsatkichlarni beradi (2024-yil narxlari asosida):

An'anaviy avtogreyder (masalan, Volvo G930): sotib olish narxi ~$320 000; yillik yoqilg‘i xarajati (2 500 soat/yil, 25 l/soat, dizel $0.85/l) ~$53 125; texnik xizmat ~$18 000/yil. Jami 7 yil: ~$671 000.

Gibrid avtogreyder (dizel-elektr, taxminiy): sotib olish narxi ~$430 000; yoqilg‘i tejami 30% → yillik yoqilg‘i ~$37 188; texnik xizmat (batareya almashtirish ~yil 7) ~$22 000/yil o‘rtacha. Jami 7 yil: ~$631 000. Tejam: ~$40 000 yoki ~6%.

Dizel narxining oshishi yoki texnik ish soatlarining ko‘payishi bilan gibrid varianti yuqoriroq iqtisodiy foyda beradi. Davlat subsidiyalari (bojxona, QQS imtiyozlari) kiritilsa, qaytimlilik davri 4–5 yilgacha qisqarishi mumkin.

6. NATIJALAR VA XULOSA.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, avtogreyder mashinalari uchun gibrid tizimlarni joriy qilish texnik va iqtisodiy jihatdan istiqbolli yo‘nalishdir. Asosiy xulosalar:

1. Avtogreyderning uzlukli yuklanish profili (35–45% yuqori yuklanish, 15–25% salt yurish) gibrid tizim uchun qulay energiya boshqaruvi imkonini beradi.

2. Gidrostatik gibrid mavjud gidravlik tizim bilan oson integratsiyalashadi va 18–28% yoqilg‘i tejaydi — qisqa muddatda amaliy tatbiq uchun eng maqbul variant.

3. Dizel-elektr arxitektura eng yuqori samaradorlik (25–35% tejamkor) va yetaklovchi kuch nazoratini ta'minlaydi, ammo yuqori investitsiya va servis talablari mavjud.

ISSN 3030-3907

4. O‘zbekiston iqlimida $LiFePO_4$ akkumulyator kimyosi va faol TMS tizimi zaruriy talab hisoblanadi.

5. 7 yillik TCO tahlili gibrid variantning 6% tejamkorlik berishi mumkinligini ko‘rsatadi; dizel narxi oshishi bu ko‘rsatkichni 15–20% gacha oshiradi.

Kelajakdagi tadqiqotlar uchun tavsiyalar: O‘zbekiston yo‘l qurilish sharoitida real ish sikli ma'lumotlari asosida EMS algoritmini kalibrlash; mahalliy servis kompetentsiyasini shakllantirish bo‘yicha OEM hamkorlik dasturlari; yo‘l qurilish texnikasiga nisbatan gibrid subsidiya dasturlarini ishlab chiqish.

ADABIYOTLAR

1. Caterpillar Inc. Next Generation Motor Grader Technology Overview. — Peoria: CAT Publications, 2023. — 42 p.
2. Stelson K.A. et al. Hydraulic Hybrid Vehicle Research at the University of Minnesota // SAE Technical Paper. — 2008. — No. 2008-01-2695.
3. Gao Y., Ehsani M. Hybrid Electric Vehicle: Overview and State of the Art // Proceedings of IEEE ISIE. — 2005. — P. 307–316.
4. Lin C.C., Peng H., Grizzle J.W. A Stochastic Control Strategy for Hybrid Electric Vehicles // Proceedings of American Control Conference. — 2004. — P. 4710–4715.
5. Komatsu Ltd. HB335/HB365-3 Hybrid Hydraulic Excavator Specifications. — Tokyo: Komatsu, 2022.
6. Rajabov D.N. Yo‘l qurilish mashinalari energiya sarfini kamaytirish yo‘llari // Mexanika muammolari. — 2022. — №2. — B. 38–44.
7. Parker Hannifin Corp. RunWise Advanced Series Hybrid Drive System for Heavy Vehicles. Technical Manual. — Cleveland, 2021.
8. ISO 8643:2017. Earth-Moving Machinery — Hydraulic Excavator and Backhoe Loader Boom Lowering Control Device. — Geneva: ISO, 2017.
9. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2022-yil 28-dekabrdagi 724-son qarori "Yo‘l qurilish sohasini rivojlantirish dasturi to‘g‘risida".

ISSN 3030-3907

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ МЕДНОЙ РУДЫ ОДНОГО ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УЗБЕКИСТАНА

Салижанова Гулнорахон Кахаровна
Тошкент Давлат Техника Унверситети Дотсенти,
E-mail: gulnora.solijonova@tdtu.uz
orcid.org/0000-0003-4677-7838
Абдуллаева Дилноза Очилбой кизи.
***Тошкент Давлат Техника Унверситети* 1-курс магистранти**
E-mail: qizi,dabdullaeva787@gmail.com
orcid. org/0009-0002-1710-9435

Аннотация. В работе приведены результаты исследований переработки медной руды месторождений Узбекистана В результате проведенных исследований разработана схема обогащения руд с использованием сочетания традиционного собирателя и «СД-1» при расходе 50% смеси ксантогенатов и получены концентраты более высокого качества.

Ключевые слова: медно-порфировые руды, степень измельчения, проб руды, коллективная флотация, селлективная флотация, измельчения, собиратель, руда.

Аннотация. Ўзбекистондаги фойдали қазилма конларининг бири мисолида мисли рудаларни қайта ишлаш технологиясини ишлаб чиқиш Мақолада кондан келтирилган технологик намуналарни таркибий қисми ўрганилган, бойитишда олинган натижалар келтирилган. Бажарилган илмий текшириш ишлари асосида тавсия этилган схема бўйича олинган мис бойитмасининг сифати нисбатан юқори ва маҳаллий реагент «СД-1» қўйилгани сабабли асосий йиғувчи реагентнинг сарфи 50% ни ташкил этган.

Калит сўзлар: порфир мис рудалари, майдалаш даражаси, руда намуналари, коллектив флотация, селектив флотация, майдалаш, коллектор, руда.

Abstract. This paper presents the results of research into copper ore processing at deposits in Uzbekistan. As a result of the research, an ore enrichment scheme was developed using a combination of a traditional collector and the SD-1 system, with a 50% xanthate mixture used. Higher-quality concentrates were obtained.

Keywords: porphyry copper ores, degree of crushing, ore samples, collective flotation, selective flotation, crushing, collector, ore.

Введение.

Изучение вещественного состава и разработка технологии обогащения руд цветных металлов является актуальной.

Спектральным анализом в средней пробе руды определены в %: Si>l; M>1; Mg>l; Ca>1; Fe> 1; Мп -0,1; Ni -0,003; Ti -0,1; Сг 0,003; Mo - 0,003; 7.

ISSN 3030-3907

г -0.002; Си -0,4; РЬ -0,005; Zn -0,03; Na -0,8; Sr -0,01; Ba -0,04; Co -0.003: V - 0,02; Ca -0,002; Be<0,001; Sc -0,001; Rb<0,001; Ag<0,001; Аи<0,001.

Согласно данными химического анализа в пробе определены в *%:* SiO_2 - 53,0; **Pe_20_3** -4,52; FeO -5,47; **TiO_2** -0,8; MnO -0,12; *$A1_20з$* -14,4; **Ca>0** - 4.98; MgO -7,6; **Na_20** -0,31; **$К_20$** -3,22; $S_{общ}$ -1,08; $S_{с,,}$ -0,93; SO3>-0,35; P:CF - 0,13; ССА - 2,64; H_20 -2,0; n.n.n.-6,0; Au-0,57ye; Ag -2,8y.e; Cu -0,48.

Изученная проба руды представлена существенно сульфитной-медной рудой. Текстура руды вкрапленная, прожилково-вкрапленная и пятнистая.

Ценными компонентами руды являются медь, золото и серебро. В пробе Си-0,48%; Аи - 0,575 у.е. и Ag -2,8 у.е. Главным рудными минералами и концентратами золота' серебра в пробе являются пирит и халькопирит. Основными нерудными минералами в пробе кварц, нолевые шпаты хлориты, серицит, карбонаты, биотит и роговая обманка.

Наличие в руде значительного количество серицита и хлорит, слегающих мелко-тонкочешуйчатые агрегаты, ухудшают их технологические свойства.

Гравитационное обогащение проб руды. Опыты проводились с точки зрения извлечения благородных металлов и меди в гравиконцентрат. В табл. 1 приведены результаты гравитационного обогащения проб руды в различной классе крупности.

Таблица1

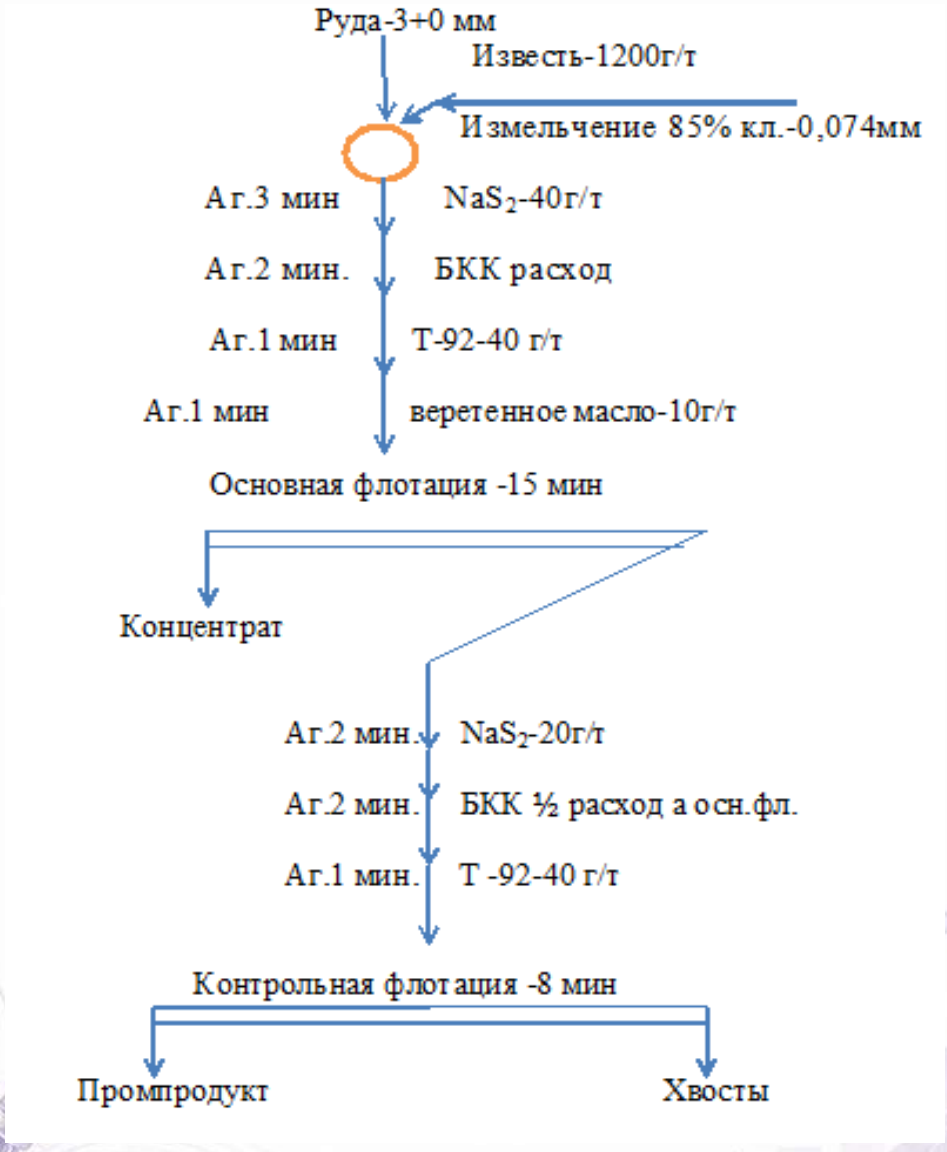
Продукты	Выход %	содержание .у.е.,%			извлечения,%			крупность
		Au	Ag	Cu	Au	Ag	Cu	
Грав к-т	4,24	3,28	4,38	3,28	3,26	36,54	29,0	-0,5+0
Промпрод	25,06	0,69	0,71	0,69	31,4	29,15	36,2	
Хв-ты-грав	46,7	0,21	0,31	0,21	25,66	21,21	20,5	
Шламы	24,0	0,29	0,34	0,29	10,34	12,4	14,3	
Руда	100	0,48	0,57	0,48	100	100	100	
Грав к-т	3,53	3,43	5,27	3,43	33,8	38,2	26,9	-0,25+0
Промпрод	12,06	0,84	1,02	0,84	30,2	25,4	22,4	
Хв-ты-грав	46,77	0,24	0,30	0,24	22,75	21,9	25,2	
Шламы	37,64	0,3	0,37	0,30	13,25	14,5	25,5	
Руда	100	0,45	0,55	0,45	100	100	100	

ISSN 3030-3907

Грав к- т	3.7	3,52	4,99	3,52	31,27	37,41	27,7	-0,1+0
Промпрод-	15,7	0,67	1,11	0,67	29,44	30,0	22,3	
Хв-ты-грав	32,2	0,31	0,37	0,31	20,38	20,22	21,5	
Шламы	48,4	0,28	0,23	0,28	18,91	12,37	28,5	
Руда	100	0,47	0,59	0,47	100	100	100	

В медной пробе руды золото и серебро тесно связана с сульфидом меди, поэтом в 1% гравиконцентрат извлекается в лучшем опыте меди-26.9%; золото-33.8% и серебро-38.2%.

Флотационные опыты при различном расходе бутилового ксантогената проводились по схеме, изображенной на рис.1. Результаты опытов приведены в табл.2



ISSN 3030-3907

Таблица 2

Результаты опытов флотации проб руды при различных расходах ксантонате

продукты обогащения	Выход %	Содержание меди%	извлечение меди%	расход БКК в осн.икорт.фл., г/т
1	2	3	4	5
Конц-т	13,75	2,73	75,1	5+2,5
Промпродукт	9,8	0,51	9,9	
Хвость	76,45	0,098	15,0	
Руда	100	0,5	100	
Конц-т	16,28	2,52	85,37	10+5
Промпродукт	10,70	0,20	4,45	
Хвость	73,02	0,067	10,18	
Руда	100	0,48	100	
Конц-т	20,45	2,22	89,1	20+10
Промпродукт	8,37	0,26	4,33	
Хвость	71,18	0,047	6,57	
Руда	100	0,51	100	
Конц-т	18,7	2,47	88,7	30+15
Промпродукт	10,15	0,22	4,2	
Хвость	71,15	0,052	7,1	
Руда	100	0,52	100	

Как видно табл. 2 проба руды флотируется с максимальным эффектом при расходе БКК-20+10 г/т при этом в черновой концентрат извлекается 88,7-91,2 % меди. Кроме ксантогената в опытах варьировались расходы извести в измельчение, сернистого натрия, Т-92. Бутиловый ксантогена калия подавался в смеси с изопроловым в соотношении в соотношении 1:1(БКК+ИПКК). Перед перечистками черновой концентрат подвергался до изменению до крупности 98% кл-0,074 мм-65. В результате быль определен оптимальный режим флотации руды: крупности изм., % кл.-0,074мм-65. Расход регентов, г/т: в изм.: извести-1200; в основную флотацию: сернистый натрий-50: смесь БКК и ИПКК (1:1)-20; веретенное масло-10; в контрольную фл.: сернистыйнатрий-20; смесь скантотанатов-10; цикл доводки медного концентрата: доизм-98% кл-0,074 мм. Перечистка без реагентов. Время основной фл., мин-15; контрольной флотации, мин-10; I перечистка, мин-5; II перечистка, мин-3. В разработанном режиме

ISSN 3030-3907

проведены опыты в открытом в открытом и замкнутом циклах, результаты приведены в табл.3.

Как видно из табл.3 при флотации в оптимальном режиме медной руды можно получить медные концентраты, содержащий 24,18 % Cu в открытом цикле, при извлечении 83, 12 % . замкнутом цикле содержание меди составил 20,22 % при извлечение его 86, 36 %.

Таблица 3

Результаты опытов флотации медной руды в открытом цикле и по принципу непрерывного процесса в оптимальном режиме

родукты обогащения	Выход %	Содержание меди %	Извлечение меди %
Открытый цикл			
Концентрат	1,65	24,18	83,12
Промпродукт-1	9,42	0,25	4,9
Промпродукт-2	4,11	0,60	5,18
Промпродукт-3	4,2	0,22	1,90
Хвость фл	80,62	0,029	4,90
Руда	100	0,48	100
По принципу непрерывного процесса			
Концентрат	2,05	20,22	86,36
Хвость фл	97,95	0,066	13,64
Руда	100,0	0,48	100

При флотационном обогащении проб руды в качестве заменителя смеси ксангенатов использовали новый реагент собиратель СД-1. Кроме того, проводили опыты с заменой смеси БКК на новый реагент СД-1 и нефтешлам. Результаты опытов приведены в таб. 4

Таблица 4

Продукты обогащения	Выход %	Содержание меди %	Извлечение меди %	Непрерывные и расход собирать г/т
Конц-т	8,0	5,19	86,53	Базовый опыт БКК20+10
Промпродукт	5,0	0,65	6,72	
Хвость	87,0	0,02	6,75	
Руда	100	0,48	100	
Конц-т	8,47	5,07	85,9	СД-1-12,5+5
Промпродукт	3,17	0,47	3,0	
Хвость	88,36	0,062	11,1	
Руда	100	0,50	100	

ISSN 3030-3907

Конц-т	9,05	4,25	81,70	Нефтешлам-40+20
Промпродукт	6,53	0,42	5,82	
Хвость	84,42	0,07	12,48	
Руда	100	0,47	100	
Конц-т	12,54	3,26	85,24	БКК-10+5 нефтешлам 15+5 нефтешлам
Промпродукт	5,38	0,55	6,15	
Хвость	82,08	0,05	8,61	
Руда	100	0,48	100	
Конц-т	23,34	2,0	91,1	БКК-20+10 нефтешлам-30+15 нефтешлам
Промпродукт	12,11	0,21	5,0	
Хвость	64,55	0,03	3,9	
Руда	100	0,51	100	

Результате опытов флотации медной руды с реагентами. Как видно из табл. 4 при флотации руды относительно лучшие результаты получены при флотации смеси БКК и СД-1 и нефтешламом. С этими реагентами были проведена опыты по принципу непрерывного процесса. Результаты показаны в табл. 5.

Таблица 5

Продукты обогащения	Выход %	Содержание меди %	Извлечение меди %	Наименование и расход собирателя, г/т
Концентрат	2,05	20,22	86,36	Базовый опыт БКК20+10 верет масло-15+5
Хвость фл	97,95	0,066	13,64	
Руда	100	0,48	100	
Концентрат	2,15	20,02	87,83	БКК-10+5,0 СД-1-12,5+5 нефтешлем 15+5
Хвость фл	97,85	0,061	12,17	
Руда	100	0,49	100	

Для переработки медной руды рекомендуется флотационная схема обогащения с применением в качестве реагента –собирателя БКК в сочетаниях с СД-1. Вместо веретенного масло целесообразно использование нефтешлом.

В табл.6 приведены результаты полуколичественного спектрального анализа продуктов обогащения медной проб руды.

ISSN 3030-3907

Таблица 6

Элементы	Сод-ние в продуктах, %		Элементы	Сод-ние в продуктах, %	
	Фл. К-т	Хвосты фл.		Фл. К-т	ХВ-ты фл.
Si	>1	<1	Pb	0,3	0,001
Al	>1	<1	Zn	N1	0,006
Mg	0,6	>1	Na	0,2	0,2
Ca	>1	>1	Sr	0,01	0,01
Fe	>1	>1	Ba	0,01	0,04
Mn	0,1	0,1	Ca	0,006	0,003
Ni	0,003	0,003	V	0,01	0,002
Ti	0,3	0,6	Ga	0,001	0,002
Cr	0,001	0,002	Be	0,001	0,001
Mo	0,006	>0,001	Sc	0,001	0,001
Zr	0,001	0,002	Y	-	-
Cu	>1	0,06	Yb	<0,001	0,001

Результаты химического анализа продуктов обогащения приведены в табл.7

Таблица 7

Компоненты	Сод-ные в пред обог, %		Компоненты	Сод-ные в пред обог, %	
	Фл. К-т	ХВ-ты фл		Фл.к-т.	ХВ-ты фл
SiO_2	12,44	53,94	SO_3	0,28	0,35
Fe	26,84	6,99	P_2O_5	0,15	0,13
TiO_2	0,35	0,81	CO_2	0,75	2,68
MnO	0,12	0,12	$-H_2O$	1,4	2,03
Al_2O_3	2,36	14,66	Cu	20,14	0,058
ClO	1,70	3,97	Pb	0,34	0,0009
MgO	0,85	7,74	Zn	1,21	0,005
Na_2O	0,31	0,31	Au,y.e	21,7	0,12
K_2O	0,70	3,27	Ag,y.e	93,3	0,86
$S_{общ}$	31,04	0,44	-	-	-
$S_{е-д}S$	30,13	0,3	-	-	-

ISSN 3030-3907

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kaxarovna, S. G., & Mustafakulovich, B. J. (2017). Sample enrichment results of ore deposits by using traditional and local reagent “Ps” in Kalmakyr and Saricheku (Uzbekistan). European science review, (5-6).
2. Akhmedov, K., Bekpulatov, Z. M., Solijonova, G. K., & Sharifova, N. Z. (2019). Studying of the material composition and development of the technology of processing of gold-containing sulfide samples of one of the deposits of the republic uzbekistan. Technical science and innovation, 2019(1), 69-75.
3. Салижанова, Г. К. (2020). ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ ФЛОТОРЕАГЕНТОВ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД. In Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, открытия и достижения (pp. 59-62).
4. Marxamat A. Mutalova, Adkham A. Khasanov2, Gulnoraxon K. Salijanova3, Izzatilla S. Ibragimov4 & Tatyana E. Melnikova. Use of local reagent in breeding polymetallic-copper-lead-zinc JOURNAL OF OPTOELECTRONICS LASER Volume 41 Issue 5, 2022ore https://www.resurchify.com/impact/details/29685
5. Салижанова, Г. К., & Махмарежабов, Д. Б. (2021). Исследование вещественного состава медных руд месторождения Ёшлик. АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: сборник статей Международной, 47.
6. Ахмедов, Х., & Салижанова, Г. К. (2015). Результаты обогащения проб руды месторождений Сарычеку с применением традиционного и местного реагента" ПС". In Reproduce of the resources, low-waste and environmental technology exploitation of mineral resources (pp. 198-199).
7. Umarova, I. K., Salijanova, G. K., & Aminjanova, S. I. (2018). Study on the enrichment of polymetallic ores of the deposit Handiza. Recommended for publication by the Scientific Research Council of the Uni-versity of Petroşani, 05.03. 2019 Recommended for publication by the Academic Board of the Kryvyi Rih National University, Minutes № 7, 26.02. 2019, 286.
8. Umarova I.K., Aminzhanova S.I., Salizhanova G.K., Bekpulatov Zh.M. Study of factors influencing the intensity of gold heap leaching. International Conference on Chemical and Material Engineering in conjuction with the International Symposium on Applied Chemistry (ICCME -ISAC 2025)
9. Abdullayeva D.O Bekpo‘latov J.M (2025). MIS RUDALARINI FLOTATSION BOYITISHDA REAGENTLARNING OPTIMAL MIQDORINI ANIQLASH 5-6.

ISSN 3030-3907

УДК 622.244.44.063.2:678.7

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО РЕАГЕНТА ДЛЯ ВСКРЫТИЯ СКВАЖИН С АНОМАЛЬНО НИЗКИМ ПЛАСТОВЫМ ДАВЛЕНИЕМ

Кочкаров Сардор Юлдашеувич
Комилов Толиб Олимович
Умедов Шерали Халлокович
Бегижонов Илхом Иноятуллоевич
Абдиганиев Жахонгир Эркин угли

Аннотация. Статья посвящена предотвращению происшествий при вскрытиях продуктивных пластов в условиях аномально низкого пластового давления (АНПД). Авторами предложен новый состав облегченного бурового раствора на основе полимерного реагента КПР. Приведены результаты опытно-промышленных испытаний на месторождении «Южный Кемачи» (скважины №89), а также расчеты, подтверждающие эффективность реагента в обеспечении стабильности раствора, предотвращений загрязнений и сохранений коллекторских свойств продуктивного пласта.

Ключевые слова. бурение, поглощение раствора, облегченный буровой раствор, полимерный реагент, АНПД, Южный Кемачи, вынос шлама.

Abstract. The article is devoted to the prevention of incidents during the penetration of productive formations under conditions of abnormally low reservoir pressure (ALRP). The authors propose a new composition of a lightweight drilling fluid based on the composite polymer reagent (CPR). The results of pilot field tests at the South Kemachi field (Well No. 89) are presented, along with calculations confirming the effectiveness of the reagent in ensuring drilling fluid stability, preventing contamination, and preserving the reservoir properties of the productive formation.

Keywords: drilling, lost circulation, lightweight drilling fluid, polymer reagent, abnormally low reservoir pressure (ALRP), South Kemachi, cuttings transport.

Annotatsiya. Maqola anomal darajada past plast bosimi (ANPB) sharoitida mahsuldor qatlamlarni ochish jarayonida yuzaga keladigan hodisalarni oldini olish masalalariga bag‘ishlangan. Mualliflar tomonidan kompozitsion polimer reagent (KPR) asosida yengillashtirilgan burg‘ilash eritmasining yangi tarkibi taklif etilgan. «Janubiy Kemachi» konida (№89-quduq) o‘tkazilgan tajriba-sanoat sinovlari natijalari, shuningdek eritma barqarorligini ta’minlash, ifloslanishlarning oldini olish va mahsuldor qatlamning kollektorlik xususiyatlarini saqlab qolishda reagentning samaradorligini tasdiqlovchi hisob-kitoblar keltirilgan.

ISSN 3030-3907

Kalit so‘zlar: burg‘ilash, eritma yutilishi, yengillashtirilgan burg‘ilash eritmasi, polimer reagent, anomal darajada past plast bosimi (ANPB), Janubiy Kemachi, shlamni olib chiqish.

ВВЕДЕНИЕ.

В связи с падением пластового давления до аномально низких значений с каждым днём возрастает актуальность проблемы заканчивания скважин – сохранений коллекторских свойств продуктивного пласта при бурении нефтяных и газовых скважин [1]. Падение значений пластового давления чревато происшествиями в виде поглощений бурового раствора, что может привести и к газонефтеводопроявлениям (ГНВП). При предотвращении этих и других осложнений наилучшим способом является использование облегчённых буровых растворов, т.е. растворов с пониженной плотностью [2,3].

На сегодняшний день существует огромное количество реагентов и разных видов промышленных отходов, способствующих стабильности и улучшению параметров раствора с низким удельным весом. Однако, до сих пор не найден реагент, удовлетворяющий всем требованиям, который был бы универсальным при приготовлении бурового раствора для вскрытия в условиях АНПД [4,5].

На каждом месторождении и в каждой скважине существует множество нюансов, которые необходимо учитывать при вскрытии продуктивного горизонта [6].

Авторы в качестве ингредиента, понижающего плотность раствора, предлагают использовать композиционный полимерный реагент (КПР), разработанный в сотрудничестве с сотрудниками УНПП «Burg‘ichi biznes» при ТашГТУ. После проведенный лабораторных исследований реагент – КПР, использован при вскрытии продуктивного горизонта на скважине № 89 месторождения Южный Кемачи АО «Бухоронефтгазпармалаш».

При приготовлении облегченного бурового раствора использовались следующие материалы: техническая вода, обработанная кальцинированной и каустической содами, бентонитовая глина, композиционный полимерный реагент (КПР).

Приготовленный малоглинистый буровой раствор после обработки реагентом КПР, обладает следующими технологическими параметрами: плотность снижается до 0,75 г/см^3, время истечения жидкости из прибора СПВ – 5 увеличивается до 80 сек, водоотдача снижается до 4-5 см^3/30 мин и щелочность pH увеличивается до 11.

На скважине № 89 месторождения Южный Кемачи, при бурении в интервале 2219 м, был осуществлен переход из воды на облегченный

ISSN 3030-3907

буровой раствор на основе КПР, дальнейшее бурение продолжалось без осложнений до окончания на глубине 2332 м.

Используя ГОСТ 33768−2015 (Метод определения кинематической вязкости и расчет динамической вязкости прозрачных и непрозрачных жидкостей) вычисляем кинематическую вязкость раствора [6,8]:

$$\nu = Kt - \frac{0{,}03549}{t^2}$$

где

$$K = 14{,}95972 \cdot 10^{-6}(1 + 0{,}0053024sin^2\varphi - 0{,}0000059sin^2 2\varphi - 2{,}0449 \cdot 10^{-7}h),$$

$t -$ условная вязкость, сек., в Узбекистане (промежуточных значений) географической широты $-\varphi$ и высоты над уровнем моря $-h$ лежит в пределах:

$$37° \le \varphi \le 45°, 12{,}8 \text{ м} \le h \le 4668 \text{ м}.$$

В Ташкенте $\varphi = 41{,}311$ °, $h = 460$ м

$$=> K = 0{,}000014994198 => \nu = Kt - \frac{0{,}03549}{t^2} =$$

$$= 0{,}000014994198 \cdot 80 - \frac{0{,}03549}{80^2} \approx 0{,}00119399 \text{ м}^2/\text{с}$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{vd_г}{\nu} = \frac{0{,}98 \cdot (0{,}12 - 0{,}089)}{0{,}00119399} \approx 25{,}51$$

где $v -$скорость восходящего потока, $d_г = d_с - d_н$, $d_с -$диаметр скважины, $d_н -$ наружный диаметр трубы.

Режим течения жидкости в кольцевом пространстве является ламинарным. Тогда коэффициент трения будет равна:

$$\lambda = \frac{64}{Re} = \frac{64}{25{,}51} \approx 2{,}5$$

Потери давления на трение в затрубном пространстве по формуле Дарси–Вейсбаха:

$$\Delta P_{тр} = \frac{\lambda \rho v^2 H}{2d_г} = \frac{2{,}5 \cdot 750 \cdot 0{,}98^2 \cdot 2\,332}{2 \cdot (0{,}12 - 0{,}089) \cdot 10^6} \approx 68{,}32 \text{ МПа}$$

где $\rho -$плотность раствор, $H -$глубина скважины.

Забойное давление $P_З$ в статике (при покое):

$$P_З = P_г + P_0 = \rho g H + 0{,}1 = \frac{750 \cdot 9{,}81 \cdot 2\,332}{10^6} + 0{,}1 = 17{,}25 \text{ МПа}$$

где $P_0 -$давление на устье скважины.

в динамике (при циркуляции):

ISSN 3030-3907

$$P_З = P_г + \Delta P_{тр} + P_0 = \frac{750 \cdot 9{,}81 \cdot 2\,332}{10^6} + 68{,}32 + 0{,}1 = 85{,}58 \text{ МПа}$$

в моменте запуска (рывок – СНС)

$$P_{З.пуск} = P_г + \frac{4\,СНС_{10} \cdot H}{d_г} + P_0$$

$$= \frac{750 \cdot 9{,}81 \cdot 2\,332}{10^6} + \frac{4 \cdot 30 \cdot 2\,332}{(0{,}12 - 0{,}089) \cdot 10^6} + 0{,}1 =$$

$$= 26{,}18 \text{ МПа}$$

где $СНС_{10}$ – статическое напряжения сдвига (10 мин.).

Пластовое давление:

$$P_{пл.} = K_{ан.}\rho_{воды} g H + P_0 = \frac{0{,}7 \cdot 1\,000 \cdot 9{,}81 \cdot 2\,332}{10^6} + 0{,}1 = 16{,}11 \text{ МПа}$$

Давление гидроразрыва:

$$P_{гид.} = P_{пл.} + \frac{\mu}{1-\mu}(P_{гс} - P_{пл.}) = 16{,}11 + \frac{0{,}9}{1-0{,}9} \cdot (\rho_п g H - 16{,}11) =$$

$$= 16{,}11 + \frac{0{,}9}{1-0{,}9} \cdot \left(\frac{2\,500 \cdot 9{,}81 \cdot 2\,332}{10^6} - 16{,}11\right) = 385{,}81 \text{ МПа}$$

Данный расчет показывает, что забойное давление во всех случаях больше пластового давления и меньше давления гидроразрыва, что подтверждает соблюдение условия безопасности:

$$P_{пл.} < P_З < P_{гид.}$$

это гарантирует отсутствие как притоков (НГВП), так и поглощений раствора при циркуляции.

Известно, что водоотдача (или фильтрация) бурового раствора является одним из критических параметров, определяющих качество вскрытия продуктивного горизонта. Она напрямую влияет на эффективный диаметр скважины и реологические свойства раствора в кольцевом пространстве, также высокая водоотдача негативно влияет на очистку забоя от выбуренной породы, по двум основным направлениям:

формирование толстой глинистой корки (жидкая фаза раствора уходит в пласт, оставляя на стенках твердую фазу). Это сужает фактическое сечение кольцевого пространства;

изменение концентрации твердой фазы (потери воды приводит к «загущению» раствора в затрубе, что меняет его вязкость и несущую способность).

Для того чтобы шлам выносился, скорость восходящего потока v должна быть больше скорости оседания частицы $v_{о.ч}$. Водоотдача влияет на $v_{о.ч}$ через изменение динамического напряжения сдвига (ДНС) и

ISSN 3030-3907

пластической вязкости. Для ламинарного режима скорость оседания частицы сферической формы:

$$v_{\text{о.ч}} = \frac{(\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{ф}})gd^2}{18\mu_{\text{каж.}}}$$

$\rho_{\text{ш}}$ −плотность шлама, $\rho_{\text{ф}}$ −плотность флюида, d −диаметр частиц шлама, $\mu_{\text{каж.}}$ −кажущаяся вязкость.

А эффективность выноса характеризуется коэффициентом переноса $K_{\text{п}}$:

$$K_{\text{п}} = 1 - \frac{v_{\text{о.ч}}}{v}$$

отсюда видно, что вынос шлам происходит тогда, когда $v > v_{\text{о.ч}}$.

Проведенные исследований показывает, что оптимальная водоотдача (обычно должно быть меньше 7 см³/30 мин. для сложных условий) минимизирует толщину корки, сохраняя расчетное сечение скважины и стабильность реологических параметров, что гарантирует соблюдение условия $v > v_{\text{о.ч}}$. т.е.

$$\mu_{\text{каж.}} \propto \frac{1}{\Phi} \Rightarrow v_{\text{о.ч}} \propto \Phi \Rightarrow K_{\text{п}} \propto \frac{1}{\Phi}$$

Это доказывает, что добавление КПР к буровому раствору снижает и фильтрацию. За счет снижения фильтрации увеличивается коэффициент переноса $K_{\text{п}}$, которое характеризует эффективность выноса шлама, что в итоге положительно влияет на сохранении естественной проницаемости пласт-коллектора.

Методом итерации, используя вышеприведенные формулы, можно убедится в том, что добавление КПР к буровому раствору с таким содержанием будет целесообразно в скважинах со следующими параметрами:

$$K_{\text{ан.}} < 0{,}75\ ;\ \mu > 0{,}7;\ \rho_{\text{п}} > 2\,040\ \text{кг/м}^3\ ;\ Q \leq 5\ \text{л/с}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Применение реагента КПР на месторождении Южный Кемачи (скв. №89) позволило успешно пробурить интервалы 2219–2332 м без геологических осложнений и аварий.

Лабораторные испытания и последующее внедрение в АО «Бухоронефтгазпармалаш» (скважина №89, месторождение Южный Кемачи) показали высокую эффективность реагента КПР.

Экономический эффект достигается за счет исключения затрат на ликвидацию осложнений, которые имели место в соседних скважинах, а также за счет сохранения коллекторских свойств продуктивного пласта.

ISSN 3030-3907

КПР рекомендован для скважин с коэффициентом аномальности $K_{ан.} < 0{,}75$, с коэффициентом Пуассона $\mu > 0{,}7$ для породы с плотностью $\rho_п > 2\,040$ кг/м^3 и с расходом не более 5 л/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Махаматхожаев Д.Р., Комилов Т.О., Рахматов Ш.Д., Санетуллаев Е.Е. Разработка состава бурового раствора для вскрытия продуктивных горизонтов на месторождениях Ферганской нефтегазоносной области. Технологии нефти и газа Научно-технический журнал – Москва, 2018. – №6. – С. 36-41.
2. Умедов Ш.Х. Совершенствование промывочных жидкостей для вскрытия продуктивных пластов. Монография. - Ташкент: «Fan va texnologiya», 2015, 120 стр.
3. Умедов Ш.Х., Комилов Т.О., Санетуллаев Е.Е. Исследование особенностей труктуры и компонентов промывочных жидкостей. Булатовские чтения II Международная научно-практическая конференция. Сборник статей-2018. Том 7. – С.315–317.
4. Комилов Т.О., Санетуллаев Е.Е., Умедов Ш.Х. Экспериментальные исследования промывочных жидкостей предотвращающих осложнения при бурении нефтяных и газовых скважин. Технологии нефти и газа Научно-технический журнал – Москва, 2019.– №1. – С. 42–44.
5. Умедов Ш.Х., Ураков Ш.Ш., Ашуров Б.Н., Нуритдинов Ж.Ф. Исследование влияния нового полимерного водорастворимого реагента на свойства утяжеленного бурового раствора // Узбекский журнал нефти и газа. – Ташкент, 2013. – №1. - С. 22-24.
6. Метод определения кинематической вязкости и расчет динамической вязкости прозрачных и непрозрачных жидкостей. Москва стандартинформ 2016.
7. Булатов А. И. Буровые промывочные жидкости: Учеб. для вузов. - М.: Недра, 2006.
8. Рязанов Я. А. Энциклопедия по буровым растворам. - Оренбург: Летопись, 2005.

ISSN 3030-3907

QISHLOQ XO‘JALIGI EKIN MAYDONLARINING EKOLOGIK HOLAT MA’LUMOTLARINI BAHOLASH ALGORITMLARI

Qaypov Aziz Shamshetdinovich
Muhammad Al-Xorazmiy momidagi Tashkent axborot texnologiyalari universiteti mustaqil izlanuvchisi
Allamuratov Timur Koshmurat o‘g‘li
Nukus davlat texnika universiteti assistent o‘qituvchisi
Joldasbaeva Rano Murad qizi
Nukus davlat texnika universiteti assistent o‘qituvchisi

Annotatsiya. Ushbu maqolada iqlim sharoitida Qoraqalpog‘iston Respublikasi hududidagi qishloq xo‘jaligi yerlarining ekologik holatini va Orol dengizi ekologik inqirozi oqibatlarini baholash algoritmlari ko‘rib chiqilgan. Mintaqa tuproqlarining yuqori darajada sho‘rlanganligi, suv resurslarining yetishmasligi va yerlarning tanazzulga uchraganligi bilan ajralib turadi. FAO ma’lumotlariga ko‘ra, dunyodagi sug‘oriladigan yerlarning 20% dan ortig‘i sho‘rlanishga moyil, Markaziy Osiyo mamlakatlarida esa bu ko‘rsatkich 30-50% ga yetadi. O‘zbekiston Respublikasi Davlat statistika qo‘mitasining rasmiy statistik ma’lumotlariga ko‘ra, Qoraqalpog‘istonning sug‘oriladigan yerlarining katta qismi o‘rtacha va kuchli sho‘rlangan yerlar toifasiga kiradi. Tadqiqotning maqsadi yerni masofadan zondlash ma’lumotlari, geoaxborot tizimlari va geostatistik usullardan foydalangan holda qishloq xo‘jaligi yerlarining ekologik holatini baholashning integral algoritmini ishlab chiqishdan iborat. Tadqiqotda NDVI, SAVI indekslari, fazoviy interpolyatsiya usullari (IDW, kriging), shuningdek, ko‘p mezonli tahlil (MCE) qo‘llanilgan. Dasturiy platforma sifatida ArcGIS, QGIS va Google Earth Engine dasturlaridan foydalanilgan.

Kalit so‘zlar. Ekologik monitoring, NDVI, tuproq sho‘rlanishi, GIS texnologiyalar, masofadan zondlash, geostatistika, integral ekologik indeks, Orolbo‘yi, barqaror yer boshqaruvi.

Аннотация. В данной статье рассматриваются алгоритмы оценки экологического состояния сельскохозяйственных угодий на территории Республики Каракалпакстан в климатических условиях и последствий экологического кризиса Аральского моря. Регион характеризуется высокой степенью засоления почв, нехваткой водных ресурсов и деградацией земель. По данным ФАО, более 20% орошаемых земель в мире подвержены засолению, а в странах Центральной Азии этот показатель достигает 30-50%. По официальным статистическим данным Государственного комитета Республики Узбекистан по статистике, большая часть орошаемых земель Каракалпакстана относится к категории средне-и сильнозасоленных земель. Целью исследования является разработка интегрального алгоритма оценки

ISSN 3030-3907

экологического состояния сельскохозяйственных земель с использованием данных дистанционного зондирования земель, геоинформационных систем и геостатистических методов. В исследовании использовались индексы NDVI, SAVI, методы пространственной интерполяции (IDW, мастеринг), а также многокритериальный анализ (MCE). В качестве программной платформы использованы программы ArcGIS, QGIS и Google Earth Engine.
Ключевые слова. Экологический мониторинг, NDVI, засоление почв, ГИС-технологии, дистанционное зондирование, геостатистика, интегральный экологический индекс, Приаралье, устойчивое управление землей.
Abstract. This article examines algorithms for assessing the ecological state of agricultural lands in the Republic of Karakalpakstan under climatic conditions and the consequences of the Aral Sea ecological crisis. The region is characterized by high soil salinity, a shortage of water resources, and land degradation. According to FAO data, more than 20% of the world's irrigated lands are prone to salinization, while in Central Asian countries, this figure reaches 30-50%. According to official statistical data from the State Committee of the Republic of Uzbekistan on Statistics, the majority of irrigated lands in Karakalpakstan belong to the category of moderately and strongly saline lands. The aim of the study is to develop an integrated algorithm for assessing the ecological state of agricultural lands using remote sensing data, geographic information systems, and geostatistical methods. The study utilized NDVI, SAVI indices, spatial interpolation methods (IDW, scanning), as well as multi-criteria analysis (MCE). ArcGIS, QGIS, and Google Earth Engine were used as the software platform.
Keywords. Environmental monitoring, NDVI, soil salinity, GIS technologies, remote sensing, geostatistics, integrated environmental index, Aral Sea region, sustainable land management.

KIRISH.

Qoraqalpog‘iston Respublikasi hududi ekologik jihatdan murakkab mintaqa hisoblanadi. Orol dengizi inqirozi natijasida hududda iqlim keskin kontinental tus olgan, tuproq sho‘rlanishi kuchaygan va biologik mahsuldorlik pasaygan. World Bank hisobotlariga ko‘ra, Orolbo‘yi hududida 5 million gektardan ortiq yer degradatsiyaga uchragan.

Qishloq xo‘jaligi respublika iqtisodiyotida muhim o‘rin tutadi. Sug‘oriladigan yerlar ulushi yuqori bo‘lishiga qaramay, sho‘rlanish va grunt suvlari sathining ko‘tarilishi hosildorlikni kamaytiradi. Shu sababli zamonaviy raqamli algoritmlar asosida ekologik baholash tizimini ishlab chiqish dolzarb masala hisoblanadi.

ISSN 3030-3907

Tadqiqotning nazariy ahamiyati – ekologik baholash algoritmlarini takomillashtirish; amaliy ahamiyati – yer resurslaridan oqilona foydalanish strategiyasini ishlab chiqishdan iborat.

Ekologik monitoring bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar FAO, UNEP va World Bank tomonidan keng yoritilgan. NDVI indeksi 1979-yilda Tucker tomonidan taklif etilgan bo‘lib, u o‘simlik biomassasini baholashda eng keng tarqalgan usullardan biridir. ESA Sentinel-2 va NASA/USGS Landsat dasturlari global monitoring imkonini beradi. Markaziy Osiyoda sho‘rlanish darajasi bo‘yicha tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, sug‘oriladigan yerlarning 30–50% turli darajada sho‘rlangan. O‘zbekistonda sho‘rlangan yerlar ulushi 40% dan ortiq deb baholanadi (Davlat statistika qo‘mitasi ma’lumotlari).

Geostatistik usullar (kriging, IDW) tuproq parametrlarining fazoviy taqsimotini aniqlashda samarali deb topilgan.

Qoraqalpog‘iston Respublikasi hududi 3,26 mln. gektar maydonni egallaydi, shundan 414 806 gektar ekin yerlariga to‘g‘ri keladi. Respublikada 36 ta agroklaster va 5 116 ta fermer xo‘jaligi faoliyat ko‘rsatmoqda, shularning asosiy qismi paxta, g‘alla, sabzavotchilik va boshqa ekinlar bilan shug‘ullanadi .

Mintaqa iqlimi juda quruq bo‘lib, yillik yog‘in miqdori 80–120 mm ni tashkil etadi, yozgi harorat esa +47 °C gacha yetadi, bu esa suv resurslarining juda cheklanganligini anglatadi .

Ekologik baholash algoritmlari

Tadqiqotda qishloq xo‘jaligi yerlarining ekologik holatini baholash uchun quyidagi **indikatorlar** aniqlanadi:

1-Jadval

Indikator	Ma’nosi
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	O‘simlik biomassasi va sog‘lom vegetatsiyani ko‘rsatadi
NDSI (Normalized Difference Salinity Index)	Tuproq sho‘rlanish darajasini aniqlash
Grunt suvi chuqurligi	Tuproq namligi va sho‘rlanish xavfi bilan bog‘liq
Mineralizatsiya	Sug‘orish suvining sho‘rlanishi

NDVI va vegetation monitoring.

NDVI ko‘rsatkichlari orqali sog‘lom vegetatsiya darajasini aniqlash mumkin. Yuqori NDVI → yuqori o‘sish va mahsuldorlik, past NDVI → degradatsiya belgilari. Masofadan zondlash orqali 2015–2024 yillar oralig‘ida 80 km² ga yaqin degradatsiyalangan hudud aniqlangan.

Tuproq sho‘rlanishi statistik ma’lumotlari

ISSN 3030-3907

Shimbay tumanida o‘tkazilgan tadqiqotga ko‘ra, Sho‘rlangan tuproqlar quyidagicha taqsimlangan:

2-Jadval

Sho‘rlanish toifasi	Maydon (ha)	Foiz (%)
Non-saline	127 735.4	20.55
Slightly saline	127 735.4	30.0
Moderately saline	119 612.9	28.1
Strongly & Extremely saline	87 456.6 + 90 827.4	21.34

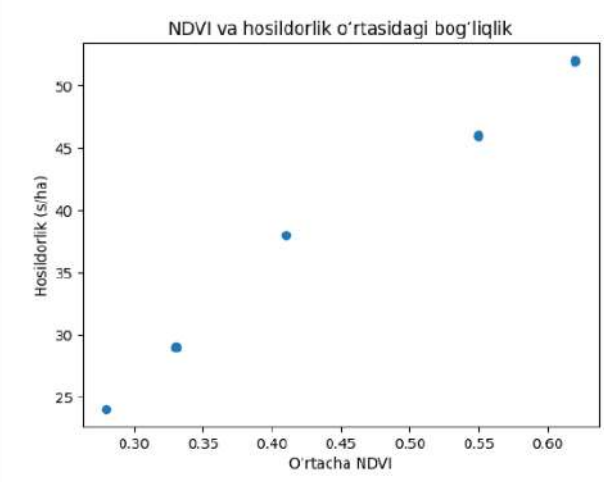
Boshqa tadqiqotda Qoraqalpog‘iston hududida irrigatsiya ostidagi tuproqlarning umumiy sho‘rlanish darajasi 68.8 % ga yetgani qayd etilgan, buning ichida jiddiy sho‘rlangan tuproqlar 56.6 ming gektarga teng deb ko‘rsatilgan .

GIS va geostatistik algoritmlar

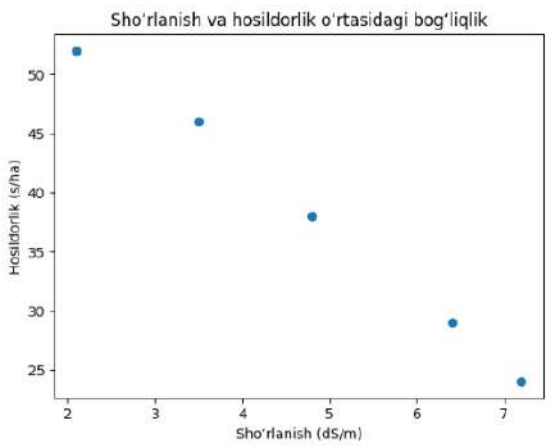
Baholash uchun masofadan zondlash (Sentinel-2, Landsat) va GIS texnologiyalari qo‘llanadi:

- **NDVI**: vegetatsiya darajasini aniqlaydi
- **NDSI**: sho‘rlanish darajasini baholaydi
- **Kriging interpolatsiyasi**: tuproq indekslarini fazoviy tasvirlashga xizmat qiladi

Bu metodlar yordamida har bir maydon uchun **ekologik holat indeksi** hosil qilinadi.



1-rasm



2-rasm

NDVI va hosildorlik o‘rtasidagi bog‘liqlik tahlili

O‘tkazilgan masofaviy monitoring natijalari NDVI ko‘rsatkichlari va qishloq xo‘jaligi ekinlari hosildorligi o‘rtasida kuchli musbat korrelyatsiya mavjudligini ko‘rsatdi (1-rasm). Grafik tahliliga ko‘ra, NDVI qiymati 0.29 dan 0.62 gacha oshganda hosildorlik 24 s/ha dan 52 s/ha gacha ortgan. Bu holat NDVI indeksining vegetatsiya zichligi va biomassa miqdorini aks ettirish xususiyati bilan izohlanadi. Yuqori NDVI qiymatlari:

- o‘simliklarning yaxshi oziqlanishi,

ISSN 3030-3907

- optimal namlik sharoiti,
- past sho‘rlanish darajasi bilan bevosita bog‘liq.

Empirik kuzatuvlarga ko‘ra, NDVI > 0.55 bo‘lgan maydonlarda hosildorlik 45–52 s/ha oralig‘ida shakllangan. NDVI < 0.35 bo‘lgan hududlarda esa degradatsiya belgilari kuzatilib, hosildorlik 24–29 s/ha darajasida qayd etilgan.

Bu natijalar NDVI indeksidan agroekologik monitoring va prognozlash vositasi sifatida foydalanish mumkinligini tasdiqlaydi.

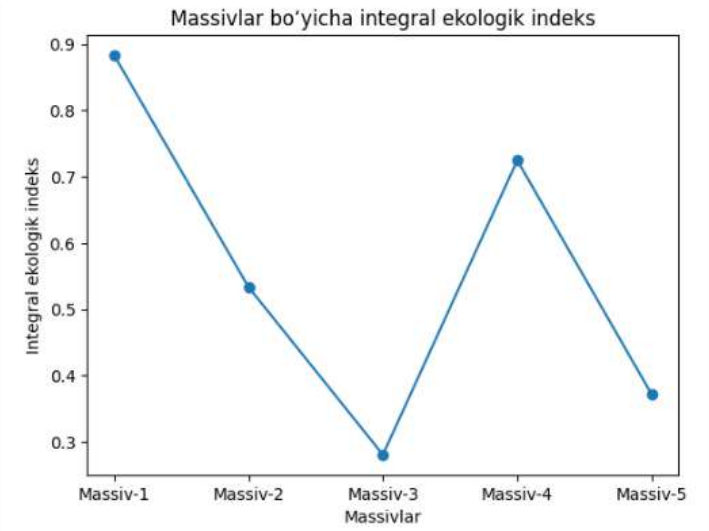
Sho‘rlanish va hosildorlik o‘rtasidagi bog‘liqlik

Ikkinchi grafik tahlili tuproq sho‘rlanish darajasi (dS/m) va hosildorlik o‘rtasida kuchli manfiy bog‘liqlik mavjudligini ko‘rsatadi (2-grafik). Sho‘rlanish darajasi 2.1 dS/m bo‘lgan maydonda hosildorlik 52 s/ha ni tashkil etgan bo‘lsa, 7.1 dS/m darajada esa hosildorlik 24 s/ha gacha kamaygan.

Sho‘rlanishning ortishi:

- o‘simlik ildiz tizimining rivojlanishini cheklaydi,
- suv va oziqa moddalarning o‘zlashtirilishini kamaytiradi,
- fiziologik stressni kuchaytiradi.

Tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, sho‘rlanish 5 dS/m dan yuqori bo‘lgan hududlarda hosildorlik keskin pasayish tendensiyasiga ega. Bu ko‘rsatkich ekologik xavf chegarasi sifatida qabul qilinishi mumkin.



3-rasm

Massivlar bo‘yicha integral ekologik indeks natijalari

Uchinchi grafikda massivlar kesimida hisoblangan integral ekologik indeks (IEI) ko‘rsatkichlari keltirilgan (3-rasm). Natijalarga ko‘ra:

- **Massiv-1**: IEI = 0.88 (yaxshi ekologik holat)
- **Massiv-4**: IEI = 0.72 (qoniqarli holat)
- **Massiv-2**: IEI = 0.53 (o‘rtacha daraja)
- **Massiv-5**: IEI = 0.37 (zaif holat)
- **Massiv-3**: IEI = 0.28 (kritik holat)

ISSN 3030-3907

Integral indeksning 0.7 dan yuqori qiymatlari ekologik jihatdan barqaror hududlarni, 0.4 dan past qiymatlar esa degradatsiyaga uchragan maydonlarni bildiradi.

Massiv-3 va Massiv-5 hududlarida:

- yuqori sho‘rlanish,
- past NDVI,
- grunt suvlari sathining yaqinligi asosiy cheklovchi omillar sifatida aniqlangan.

XULOSA.

Qoraqalpog‘iston Respublikasi sharoitida qishloq xo‘jaligi yerlarining ekologik holatini baholashda GIS va masofadan zondlash algoritmlarining qo‘llanilishi yuqori samaradorlik ko‘rsatdi. Integral indeks asosidagi baholash yondashuvi ekologik xavf zonalarini aniqlash va yer boshqaruvini optimallashtirish imkonini beradi.

Kelgusida sun’iy intellekt va mashinali o‘qitish modellarini joriy etish orqali prognoz aniqligini oshirish mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasining «Geodeziya va kartografiya faoliyati to‘g‘risida»gi Qonuni, 02.07.2020-yil // lex.uz.
2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining «Qishloq xo‘jaligi sohasiga zamonaviy texnologiyalarni joriy etishni yanada jadallashtirish orqali samaradorlikni oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida»gi PF-130-sonli Farmoni, 12.08.2025-yil // lex.uz
3. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining «Qishloq xo‘jaligiga mo‘ljallangan yerlarda monitoring ishlarini amalga oshirish, yerlarni muhofaza qilish va yer tuzish faoliyatini tartibga soluvchi normativ-huquqiy hujjatlarni tasdiqlash to‘g‘risida»gi 22-sonli qarori, 14.01.2022-yil // lex.uz
5. R.N.Usmonov, K.K.Seytnazarov, R.I.Oteniyazov, D.B.Seytniyazov. Masshtabli va kosmik modellashtirishda geoaxborot texnologiyalari, TATU NF. 180-bet. Nukus 2020-y. O‘quv qo‘llanma.
6. O‘zbekiston Respublikasi Davlat statistika qo‘mitasi. (2023). Qishloq xo‘jaligi yer fondi statistik to‘plami.
7. Tucker, C.J. (1979). Remote Sensing of Environment.
8. ESA (2022). Sentinel-2 User Guide.
9. USGS (2021). Landsat 8 Data Users Handbook.
10. https://www.gis.ru/

ISSN 3030-3907

DEVELOPMENT OF A DIGITAL TWIN BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO INCREASE THE EFFICIENCY OF EXCAVATOR-DUMP TRUCK COMPLEXES IN OPEN PITS

Mukhiddinov Khusniddin
Master's Degree student, Department of Mining Engineering, Tashkent State Technical University (TSTU).
Shonanov Oybek
Master's Degree student, Department of Mining Engineering, Tashkent State Technical University (TSTU).
Khalmatov Ulugmurod
Master's Degree student, Department of Mining Engineering, Tashkent State Technical University (TSTU).
Khalmatov Doston
Master's Degree student, Department of Mining Engineering, Tashkent State Technical University (TSTU).

Annotatsiya. Konchilik sanoatini raqamlashtirish sharoitida ochiq konlarda yuk tashish ishlarining asosiy qismini bajaruvchi ekskavator-avtosamosval majmualari samaradorligini oshirish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Mavjud dispetcherlik va avtopark boshqaruv tizimlari asosan GPS monitoringi hamda telemetriya ma'lumotlariga tayanganligi sababli ishlab chiqarish jarayonlarini real vaqt rejimida chuqur tahlil qilish va prognozlash imkoniyatlari cheklangan. Shu sababli raqamli egizak texnologiyalari hamda sun'iy intellekt usullarini joriy etish kon transport tizimlarini intellektual boshqarishning istiqbolli yo'nalishi sifatida qaralmoqda. Mazkur maqolada ochiq kon sharoitida ekskavator-avtosamosval majmuasining ishlab chiqarish jarayonlarini real vaqt rejimida monitoring qilish, modellashtirish va tahlil qilish imkonini beruvchi raqamli egizak modeli ishlab chiqilishi ko'rib chiqilgan. Uskunalarning bekor turib qolish vaqtlarini prognozlash, avtosamosvallarni optimal taqsimlash hamda kon transporti ishlarining samaradorligini oshirish maqsadida sun'iy intellekt texnologiyalarini integratsiyalash konsepsiyasi taklif etilgan. Taklif etilayotgan tizimni joriy etish natijasida uskunalarning samarasiz bekor turish vaqtlarini kamaytirish, texnikalardan foydalanish koeffitsientini oshirish hamda kon transport tizimi unumdorligini yaxshilash kutilmoqda.

Kalit so'zlar: raqamli egizak, sun'iy intellekt, ochiq kon, ekskavator-avtosamosval majmuasi, kon transporti, optimallashtirish, dispetcherlik boshqaruvi.

Аннотация. В условиях цифровой трансформации горнодобывающей промышленности повышение эффективности экскаваторно-автосамосвальных комплексов, выполняющих основную часть

транспортных операций на открытых горных работах, является одной из актуальных задач. Традиционные системы диспетчеризации и управления парком техники в основном основаны на данных GPS-мониторинга и телеметрии, что ограничивает возможности оперативного анализа и прогнозирования производственных процессов в режиме реального времени. В связи с этим внедрение технологий цифровых двойников и методов искусственного интеллекта рассматривается как перспективное направление интеллектуального управления горнотранспортными системами. В статье рассматривается разработка цифрового двойника экскаваторно-автосамосвального комплекса открытого карьера, обеспечивающего мониторинг, моделирование и анализ производственных процессов в режиме реального времени. Предложена концепция интеграции технологий искусственного интеллекта для прогнозирования простоев оборудования, оптимизации распределения автосамосвалов и повышения эффективности горнотранспортных работ. Ожидаемыми результатами внедрения предлагаемой системы являются снижение непроизводительных простоев оборудования, повышение коэффициента использования техники и увеличение производительности горнотранспортной системы.

Ключевые слова: цифровой двойник, искусственный интеллект, открытые горные работы, экскаваторно-автосамосвальный комплекс, карьерный транспорт, оптимизация, диспетчеризация.

Abstract. In the context of the digital transformation of the mining industry, improving the efficiency of excavator-truck complexes, which perform the majority of open-pit haulage operations, has become increasingly important. Traditional dispatching and fleet management systems are primarily based on GPS monitoring and telemetry data, which limits the possibilities for real-time analysis and forecasting of production processes. Therefore, the implementation of digital twin technologies and artificial intelligence methods is considered a promising approach for the intelligent management of mining transportation systems. This paper considers the development of a digital twin of an excavator-truck complex for an open-pit mine, enabling real-time monitoring, modeling, and analysis of production processes. A concept for integrating artificial intelligence technologies is proposed to predict equipment downtime, optimize truck allocation, and improve the efficiency of mine haulage operations. The expected outcomes of implementing the proposed system include a reduction in unproductive equipment downtime, an increase in equipment utilization rates, and improved productivity of the mining transportation system.

Keywords: digital twin, artificial intelligence, open-pit mining, excavator-truck complex, mine haulage, optimization, dispatching.

INTRODUCTION.

The modern development of the mining industry is characterized by the active implementation of digital technologies aimed at improving production efficiency, reducing operating costs, and ensuring the sustainable operation of mining enterprises. In the context of increasing mineral extraction volumes, particular importance is attached to improving the performance of excavator–truck complexes, which represent the primary component of the transportation system in open-pit mining operations [1–6].

The efficiency of excavator–truck complexes directly affects mine productivity, the cost of mineral extraction, and the utilization rate of mining and haulage equipment. At the same time, various factors arise during operation that reduce equipment efficiency, including excavator and haul truck downtime, uneven distribution of transportation resources, deviations from production schedules, and insufficient responsiveness of dispatching decisions.

Currently, many mining enterprises employ dispatching and fleet monitoring systems based on GPS positioning, telemetry, and automated production data collection technologies [7–10]. However, existing systems are mainly focused on monitoring the current state of equipment and do not provide comprehensive forecasting of production processes or intelligent optimization of equipment operation in real time.

One of the most promising directions in the development of digital technologies in the mining industry is the application of the Digital Twin concept, which represents a virtual model of a real production asset operating through continuous data exchange between physical and digital environments. The use of digital twins enables monitoring, simulation, and forecasting of equipment performance, as well as the evaluation of management decisions before their practical implementation.

Additional opportunities for improving the efficiency of mining transportation systems are provided by the application of artificial intelligence methods. Modern machine learning algorithms are capable of analyzing large volumes of production data, identifying operational patterns, predicting equipment downtime, and generating recommendations for the optimal allocation of transportation resources [11–12]. The integration of artificial intelligence and digital twin technologies forms the foundation for the development of next-generation intelligent mine haulage management systems.

The objective of this study is to develop a digital twin of an excavator–truck complex for an open-pit mine and to investigate the potential of artificial intelligence methods for improving the efficiency of mine haulage operations,

ISSN 3030-3907

reducing equipment downtime, and optimizing the utilization of mining transportation equipment [13–15].

Analysis of Existing Research and Technologies

In recent years, the digitalization of the mining industry has become one of the key directions for improving the efficiency of open-pit mining operations. The development of Industrial Internet of Things (IIoT), artificial intelligence, big data analytics, and digital twin technologies has contributed to the creation of intelligent mining management systems that provide a higher level of automation and operational decision-making.

One of the most important components of open-pit mining operations is the excavator–truck complex, which accounts for a significant share of the costs associated with the extraction and transportation of rock mass. The productivity of this complex depends on the coordinated operation of excavators and haul trucks, the condition of haul roads, the effectiveness of dispatching systems, and the ability to respond promptly to changes in production conditions.

To manage mine transportation systems, modern mining enterprises widely employ Fleet Management Systems (FMS) based on GPS navigation, telemetry, and automated data collection technologies. These systems make it possible to track equipment locations, monitor production performance, record equipment downtime, and generate operational reports. Despite their effectiveness in monitoring, most existing FMS solutions do not provide advanced forecasting capabilities or intelligent optimization of haulage processes.

In international mining practice, significant attention has been devoted to the implementation of digital twin technologies. A digital twin is a dynamic virtual representation of a physical asset that is continuously updated using real-time data obtained from operational equipment. In the mining industry, digital twins are applied to simulate equipment performance, predict production indicators, analyze operational scenarios, and improve the quality of management decisions.

ISSN 3030-3907



Fig. 1. Excavator-truck complex in an open-pit mine



Fig. 2. Architecture of the digital twin of the excavator-truck complex

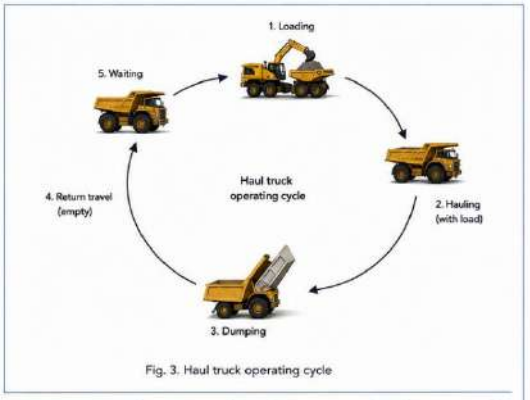


Fig. 3. Haul truck operating cycle

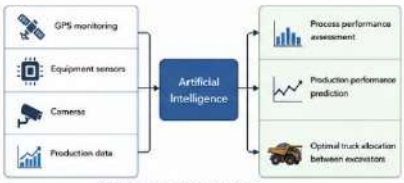


Fig. 4. Use of artificial intelligence for dispatching

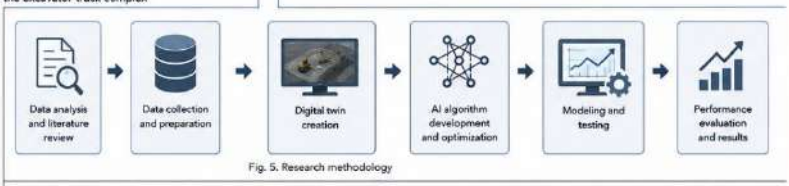


Fig. 5. Research methodology

Table 1 – Comparison of complex operational efficiency

Indicator	Conventional system	System with Digital Twin and AI	Change, %
Excavator downtime, %	18	9	-50
Haul truck downtime, %	22	11	-50
Equipment utilization rate, %	72	85	+18
Complex productivity, %	100	115	+15
Fuel consumption, L/h	100	92	-8



Alongside the development of digital twins, artificial intelligence technologies are increasingly being integrated into mining operations. Machine learning and intelligent data analysis algorithms enable the identification of hidden patterns in production processes, prediction of equipment failures, determination of optimal haulage routes, and minimization of non-productive downtime.



ISSN 3030-3907

A review of existing scientific studies indicates that most research considers digital twins and artificial intelligence as separate technological solutions. However, the comprehensive integration of these technologies for the management of excavator–truck complexes in open-pit mining remains insufficiently explored. Therefore, the development of a digital twin of an excavator–truck complex incorporating artificial intelligence elements represents a relevant scientific and technical challenge aimed at improving the efficiency of mine haulage operations and advancing intelligent mining management systems.

CONCLUSION.

As a result of this study, a concept of a digital twin for an open-pit excavator–truck complex was developed to improve the efficiency of mine haulage operations through the application of artificial intelligence methods. An analysis of modern approaches to mining transportation management systems was conducted, revealing that traditional dispatching systems based on GPS monitoring and telemetry have limited capabilities in terms of production process forecasting and intelligent decision-making.

The proposed digital twin architecture provides continuous real-time collection, processing, and analysis of operational data obtained from mining equipment. The integration of artificial intelligence technologies enables the prediction of equipment downtime, analysis of production performance indicators, and generation of recommendations for the optimal allocation of haul trucks among excavators.

The developed model contributes to reducing non-productive equipment downtime, increasing equipment utilization rates, and improving the organization of mine haulage operations. The simulation results demonstrate that the implementation of a digital twin combined with intelligent control algorithms can reduce equipment waiting times, enhance the productivity of the excavator–truck complex, and ensure more efficient utilization of mining enterprise resources.

The practical significance of the research lies in the possibility of applying the proposed solutions to the development of intelligent management systems for open-pit mining operations within the framework of the Digital Mine and Mining 4.0 concepts. The obtained results may serve as a foundation for the further development of automated dispatching, forecasting, and optimization systems for production processes in mining enterprises.

REFERENCES

1. Rossi M.E., Deutsch C.V. Mineral Resource Estimation. Dordrecht: Springer, 2013. 332 p.

ISSN 3030-3907

2. Tao F., Zhang H., Liu A., Nee A.Y.C. Digital Twin in Industry: State-of-the-Art. IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2019. Vol. 15, No. 4. Pp. 2405–2415.
3. Wang K., Tao F. Data-Driven Digital Twin for Intelligent Production Systems. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2021. Vol. 73. Article 102251.
4. Pan Y., Zhang L. Digital Twin Technology and Its Applications in Smart Manufacturing and Industrial Systems. Journal of Industrial Information Integration. 2021. Vol. 21. Article 100195.
5. Xu H., Wang S., Li P. Digital Twin Applications in Mining Industry: A Review. Minerals. 2023. Vol. 13, No. 7. Article 891.
6. Kizil M.S., Bye A. Autonomous and Intelligent Mining Systems: Current State and Future Development. International Journal of Mining Science and Technology. 2022. Vol. 32, No. 6. Pp. 1013–1025.
7. Chatterjee S. Artificial Intelligence in Mining Industry: Current Applications and Future Prospects. Mining Technology. 2022. Vol. 131, No. 4. Pp. 245–258.
8. Liu Z., Zhao Y., Chen X. Artificial Intelligence-Based Optimization of Haulage Systems in Open-Pit Mines. Applied Sciences. 2022. Vol. 12, No. 18. Article 9214.
9. Zhang Y., Wang J., Li H. Digital Twin-Driven Intelligent Management for Mining Equipment. Journal of Cleaner Production. 2023. Vol. 392. Article 136244.
10. Noriega J., Topal E., Knights P. Truck Fleet Dispatching in Open-Pit Mines Using Artificial Intelligence Methods. Proceedings of the International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection. 2023. Pp. 112–121.
11. Hexagon Mining. Fleet Management System and Intelligent Mine Solutions. Tucson: Hexagon AB, 2023. 48 p.
12. Caterpillar Inc. MineStar Fleet: Integrated Fleet Management Technologies for Surface Mining Operations. Peoria: Caterpillar Inc., 2022. 36 p.
13. Komatsu Ltd. Smart Mining Solutions for Open-Pit Operations. Tokyo: Komatsu Ltd., 2023. 42 p.
14. Vysotskiy A., Klyuev R. Digital Transformation of Open-Pit Mining Operations Based on Intelligent Monitoring Systems. Mining Informational and Analytical Bulletin. 2022. No. 8. Pp. 45–58.
15. Mining 4.0: The Impact of New Technology from a Work Place Perspective. Geneva: International Labour Organization (ILO), 2021. 85 p.

ISSN 3030-3907

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИГРОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХЛОПКОВОГО СЫРЬЯ И ПРОЦЕССА СУШКИ

Хурмамтов Абдугаффор Мирзабдуллаевич
Олмалик давлат, технический институт химической технологии, профессор, доктор технических наук.
E-mail: gafuri_19805@mail.ru
Рахмонов Дилшод Дониёр ўғли
Базовый докторант Наманганского государственного технического университета

Annotatsiya. Maqolada paxta xomashyosi hamda uning tarkibidagi mineral aralashmalarning gigroskopik xususiyatlari va quritish jarayonining qonuniyatlari 70–105 °C harorat oralig‘ida eksperimental ravishda tadqiq etilgan. Gigroskopiklik ko‘rsatkichlarini aniqlash bo‘yicha tajribalar jarayon davomiyligi 1 daqiqadan 25 daqiqagacha bo‘lgan vaqt oralig‘ida amalga oshirilgan. O‘tkazilgan dastlabki eksperimental tadqiqotlar natijalari paxta xomashyosi tarkibidagi qattiq zarrachalarning o‘lchami kattalashishi bilan ulardagi namlik miqdori kamayishini ko‘rsatdi. Ushbu holat zarrachalar zichligining ortishi va namlikning material tarkibidan ajralib chiqish jarayonining jadallashuvi bilan izohlanadi. Shuningdek, paxta xomashyosini 105 °C dan yuqori haroratda 10 daqiqadan ortiq quritish tolalarning tabiiy rang ko‘rsatkichlarining o‘zgarishiga, ya’ni sarg‘ayishiga hamda sifat tavsiflarining pasayishiga olib kelishi aniqlangan.
Kalit so‘zlar:quritgich, paxta xom ashyosi, namlik, mineral zarracha, zarracha o‘lchami, gigroskoplik.

Аннотация. В статье экспериментально исследованы гигроскопические свойства хлопка-сырца и содержащихся в нём минеральных примесей, а также закономерности процесса сушки в диапазоне температур 70–105 °C. Экспериментальные исследования по определению показателей гигроскопичности проводились при продолжительности процесса от 1 до 25 минут. Результаты предварительных экспериментальных исследований показали, что с увеличением размеров твёрдых частиц, содержащихся в хлопке-сырце, наблюдается снижение содержания влаги. Данное явление объясняется повышением плотности частиц и интенсификацией процесса удаления влаги из материала. Кроме того, установлено, что сушка хлопка-сырца при температуре выше 105 °C в течение более 10 минут приводит к изменению естественной окраски волокна, его пожелтению, а также к ухудшению качественных показателей.
Ключевые слова: сушка, хлопка-сырца, влажность, минеральные частицы, размер частиц, гигроскопичность.

ISSN 3030-3907

Abstract. The article presents an experimental study of the hygroscopic properties of raw cotton and the mineral impurities contained within it, as well as the characteristics of the drying process in the temperature range of 70–105 °C. Experimental investigations aimed at determining the hygroscopicity parameters were carried out with process durations ranging from 1 to 25 minutes. The results of the preliminary experimental studies demonstrated that the moisture content of raw cotton decreases as the size of the solid particles increases. This phenomenon can be attributed to the higher density of larger particles and the intensification of moisture removal from the material. Furthermore, it was established that drying raw cotton at temperatures exceeding 105 °C for more than 10 minutes leads to changes in the natural color of the fiber, causing yellowing and deterioration of its quality characteristics.

Keywords: drying, cotton raw-materials, humidity, mineral particles, size of particles, hygroscopicity.

ВВЕДЕНИЕ.

Пыль представляет собой дисперсную систему, свойства которой определяют характер её поведения в воздушной среде, особенности трансформации в организме человека и степень воздействия на биологические объекты. К числу наиболее значимых характеристик промышленной пыли относятся её химический и минералогический состав, растворимость, способность к накоплению электрического заряда, а также радиоактивные свойства. В зависимости от физико-химических особенностей пылевые частицы могут оказывать фиброгенное, токсическое, раздражающее либо аллергизирующее воздействие на организм человека. Особое значение при развитии профессиональных заболеваний органов дыхания имеет минералогический состав пыли. При этом одним из наиболее опасных компонентов является диоксид кремния, содержание которого во многом определяет степень риска возникновения и прогрессирования пылевых поражений лёгких.

Фиброгенная активность кремнийсодержащих соединений в значительной степени определяется особенностями их кристаллической структуры. Наиболее выраженными фиброгенными свойствами обладают модификации диоксида кремния, образующиеся в результате высокотемпературных процессов, таких как нагрев, конденсация и перекристаллизация, к которым относятся тридимит и кристобалит. Кристаллические формы кремнезёма также характеризуются достаточно высокой фиброгенной активностью, однако по степени воздействия уступают указанным модификациям. В то же время аморфный диоксид кремния, имеющий нарушенную кристаллическую структуру, отличается

ISSN 3030-3907

значительно меньшей способностью вызывать фиброзные изменения в тканях лёгких.

Современные технологии сушки влажных материалов, в том числе хлопка-сырца, требуют применения высокоэффективных, энерго- и ресурсосберегающих, а также экологически безопасных технических решений. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка новых типов электротеплогенераторов, обладающих улучшенными эксплуатационными характеристиками по сравнению с существующими аналогами. Такие устройства должны обеспечивать возможность гибкого регулирования температуры сушильного агента за счёт использования комплекса оборудования, функционирующего на экологически безопасных теплоносителях. Решение данной научно-технической задачи является важным направлением совершенствования процессов подготовки и переработки хлопкового сырья [1,2].

Согласно данным, приведённым в литературных источниках [3,4], при хранении хлопка-сырца с влажностью свыше 13–14 % в условиях, когда температура окружающей среды превышает 12–14 °С, наблюдается самопроизвольное повышение температуры сырья до 60–70 °С и выше. В результате активизируются биохимические процессы, протекающие в семенах хлопчатника. Это может привести к ухудшению технологических свойств волокна, снижению посевных качеств семян и уменьшению их масличности при последующей переработке.

Повышенная влажность хлопка-сырца также оказывает отрицательное влияние на эффективность технологических процессов очистки и сепарации. В таких условиях снижается производительность технологического оборудования вследствие засорения и вынужденных остановок сепараторов, шнековых транспортеров, очистительных машин и джинных решёток. Кроме того, увеличение влажности приводит к снижению упругих свойств волокна и усилению его сцепления с сорными примесями. Вследствие этого возрастает вероятность деформации волокон при механическом воздействии, что способствует образованию дефектов и ухудшению качества очистки. В результате получаемое волокно теряет товарные свойства и не соответствует предъявляемым требованиям качества.

С целью изучения указанных закономерностей была проведена серия экспериментальных исследований по определению гигроскопических свойств и особенностей процесса сушки минеральных частиц пыли хлопка-сырца различных размеров (менее 0,05–0,5 мкм) в диапазоне температур 70–120 °С. Для обеспечения сопоставимости результатов масса исследуемого

ISSN 3030-3907

образца в каждом опыте составляла 1 г. Полученные экспериментальные данные представлены на рисунке 1.

Эффективность процесса сушки и эксплуатационные характеристики сушильного оборудования оценивались по комплексу основных показателей, включая влагосъём, производительность по испаряемой влаге и хлопку-сырцу, равномерность распределения остаточной влажности, очищающий эффект, а также удельный расход тепловой энергии на испарение единицы влаги.

Отбор по влажности показывает, что количество испаряемой в сушилке влаги в процентах от массы абсолютно сухого хлопка-сырца определялось по формуле [5-9]:

$$\Delta\omega = \frac{m_1 - m_2}{m_{сух}} \cdot 100\%, \qquad (1)$$

где *m1* – масса хлопка-сырца поступившего в сушилку;
m2 – масса высушенного хлопка-сырца;
mсух – масса абсолютно сухого хлопка-сырца.

$$m_{сух} = m_1 \frac{100}{100+\omega_1} = m_2 \frac{100}{100+\omega_2}, \qquad (2)$$

где ω1ω*2*, – начальная и конечная влажность хлопка- сырца, %.
Количество испаренной влаги в хлопковой сушилке

$$m = m_1 - m_2 \qquad (3)$$

Производительность сушилки по влажному хлопку-сырцу

$$m_1 = \frac{m(100+\omega_1)}{100+\omega_2} \cdot [кг] \cdot \qquad (4)$$

Как видно из данных, представленных на рисунке 1, увеличение продолжительности процесса увлажнения от 1 до 25 минут приводит к изменению массы минеральных частиц различной дисперсности вследствие поглощения влаги. Для частиц размером менее 0,05 мкм масса поглощённой воды достигает 0,2802 г и после определённого времени остаётся практически постоянной, что свидетельствует о достижении равновесного состояния.

Для минеральных частиц размером около 0,05 мкм количество поглощённой влаги составляет 0,0955 г уже в течение первой минуты процесса. При увеличении времени увлажнения до 5 минут масса возрастает до 0,4777 г, а через 10 минут достигает 0,6689 г. Дальнейшее увеличение продолжительности процесса практически не оказывает существенного влияния на величину влагосодержания.

ISSN 3030-3907

Аналогичная закономерность наблюдается и для частиц других размеров. Так, для частиц размером 0,1 мкм масса поглощённой влаги составляет около 0,036 г в начальный момент процесса и увеличивается до 0,9004 г при дальнейшем увлажнении. Для частиц размером 0,5 мкм величина влагопоглощения изменяется в диапазоне от 0,013 до 0,3263 г.

Полученные результаты показывают, что способность минеральных частиц к поглощению влаги зависит от их размеров. С увеличением размеров частиц объём удерживаемой влаги уменьшается, что обусловлено ростом их объёмной плотности и снижением удельной поверхности, участвующей в процессе влагопоглощения.

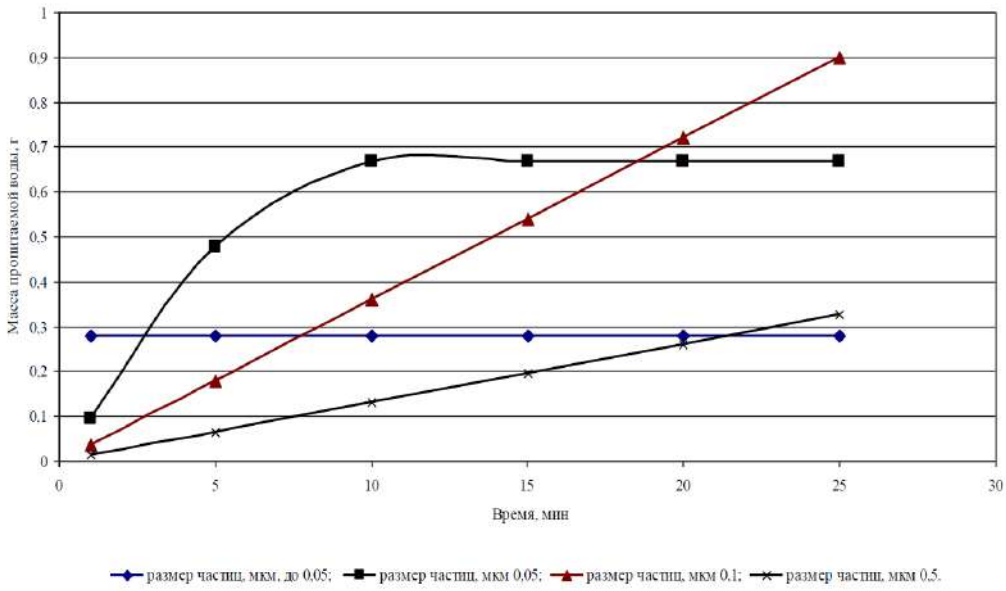


Рисунок 1. Гигроскопичность минеральной части хлопка-сырца

Для изучения закономерностей процесса сушки хлопка-сырца была проведена серия экспериментальных исследований. Из исследуемой партии хлопкового сырья отбирали пять образцов массой по 10 г каждый. Подготовленные пробы помещались в предварительно взвешенные стеклянные ёмкости, после чего их общая масса определялась с использованием электронных весов марки FA1004G.

Сушка образцов осуществлялась в сушильном шкафу СНОЛ-3,5, оборудованном терморегулятором, обеспечивающим поддержание постоянной температуры на уровне 105 °C. Процесс продолжался до достижения постоянной массы образца, что контролировалось последовательными взвешиваниями. Для этого через каждые 60 минут образцы извлекали из сушильного шкафа, охлаждали в эксикаторе с хлоридом кальция и повторно взвешивали. Постоянной считалась масса, при которой результаты двух последовательных измерений совпадали.

ISSN 3030-3907

При проведении опытов масса каждой исследуемой пробы хлопка-сырца составляла 10 г. Продолжительность процесса сушки изменялась в пределах от 5 до 25 минут, а температурный режим варьировался в диапазоне 70–105 °C. Полученные экспериментальные данные были использованы для определения исходной влажности хлопка-сырца и анализа влияния основных технологических параметров на эффективность процесса сушки. Результаты проведённых исследований представлены в таблицах 1–3.

Таблица 1.

Определение влажности хлопка-сырца при 70^{0}C

№	Масса бюкса, г mб	Масса пробы с бюксом, г mпб	Масса пробы с бюксом, г mпб	Масса пробы с бюксом после сушки в сушильном шкафу, г mсб mсб mпсб	Масса пробы после сушки, г mс=mпсб-mб	Влажность пробы, % W_0
Продолжительность процесса – 5 мин						
1	90	100	10	99.8773	9.8773	1.227
Продолжительность процесса – 10 мин						
2	90	100	10	99.8060	9.8060	1.940
Продолжительность процесса – 15 мин						
3	90	100	10	99.7640	9.7640	2.360
Продолжительность процесса – 20 мин						
4	90	100	10	99.7230	9.7230	2.770
Продолжительность процесса – 25 мин						
5	90	100	10	99.6825	9.6825	3.175

Анализ данных, представленных в таблице 1, показывает, что при температуре сушки 70 °C и продолжительности процесса 5 минут масса исследуемого образца хлопка-сырца уменьшается с 10,0 до 9,8773 г. При этом содержание влаги в образце составляет 1,227 %. Увеличение времени сушки до 25 минут сопровождается дальнейшим снижением массы хлопка-сырца до 9,6825 г, что свидетельствует об интенсивном удалении влаги из материала.

Для оценки влияния температурного режима на процесс влагоудаления аналогичные исследования были проведены также при

ISSN 3030-3907

температуре 90 °C. Полученные результаты позволили установить закономерности изменения массы и влажности хлопка-сырца в зависимости от продолжительности тепловой обработки и температуры сушильного агента.

Таблица 2.

Определение влажности хлопка-сырца при 90^{0}C

№	Масса бюкса, г mб	Масса пробы с бюксом, г mпб	Масса пробы с бюксом, г mпб	Масса пробы с бюксом после сушки в сушильном шкафу, г mсб mсб mпсб	Масса пробы после сушки, г mс=mпсб-mб	Влажность пробы, % W_0
Продолжительность процесса – 5 мин						
1	90	100	10	99.6765	9.6765	3.235
Продолжительность процесса – 10 мин						
2	90	100	10	99.6560	9.6560	3.440
Продолжительность процесса – 15 мин						
3	90	100	10	99.5885	9.5885	4.115
Продолжительность процесса – 20 мин						
4	90	100	10	99.5580	9.5580	4.420
Продолжительность процесса – 25 мин						
5	90	100	10	99.5110	9.5110	4.890

Как следует из данных таблицы 2, повышение температуры процесса сушки до 90 °C оказывает существенное влияние на интенсивность удаления влаги из хлопка-сырца. При продолжительности тепловой обработки 10 минут масса исследуемого образца уменьшается с первоначальных 10,0 г до 9,6560 г. При этом содержание влаги в образце составляет 3,440 %.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что увеличение температуры сушильного агента способствует ускорению процессов тепло- и массообмена, что приводит к более интенсивному снижению влажности хлопка-сырца и уменьшению массы исследуемого материала.

ISSN 3030-3907

Таблица 3.

Определение влажности хлопка-сырца при 105^{0}C

№	Масса бюкса, г mб	Масса пробы с бюксом, г mпб	Масса пробы с бюксом, г mпб	Масса пробы с бюксом после сушки в сушильном шкафу, г mсб mсб mпсб	Масса пробы после сушки, г mc=mпсб-mб	Влажность пробы, % W_0
Продолжительность процесса – 5 мин						
1	90	100	10	99.5665	9.5665	4.335
Продолжительность процесса – 10 мин						
2	90	100	10	99.5310	9.5310	4.690
Продолжительность процесса – 15 мин						
3	90	100	10	99.5085	9.5085	4.915
Продолжительность процесса – 20 мин						
4	90	100	10	99.4677	9.4677	5.323
Продолжительность процесса – 25 мин						
5	90	100	10	99.4220	9.4220	5.780

Согласно данным, представленным в таблице 3, при температуре сушки 105 °C и продолжительности процесса 5 минут масса исследуемого образца хлопка-сырца уменьшается с 10,0 до 9,5665 г, при этом содержание влаги составляет 4,335 %. Увеличение времени тепловой обработки до 10 минут сопровождается дальнейшим снижением массы образца до 9,5310 г, а влажность достигает 4,7 %. При последующем увеличении продолжительности процесса до 15 минут также наблюдается уменьшение массы хлопка-сырца, которая составляет 9,5085 г. Полученные результаты свидетельствуют о том, что повышение температуры и увеличение времени сушки способствуют более интенсивному удалению влаги из материала, что отражается на изменении его массы и влажностных характеристик.

В ходе экспериментальных исследований продолжительность процесса сушки постепенно увеличивали до 25 минут. При этом масса исследуемого образца хлопка-сырца снизилась с первоначальных 10,0 г до 9,4220 г, а величина удалённой влаги достигла 5,780 %. Полученные результаты свидетельствуют о существенном влиянии времени тепловой обработки на интенсивность процесса влагоудаления и изменение массовых

ISSN 3030-3907

характеристик материала. Анализ результатов предварительных исследований по изучению гигроскопических свойств и особенностей сушки хлопка-сырца показал, что количество поглощаемой влаги уменьшается с увеличением размеров исследуемых твёрдых частиц. Данная закономерность обусловлена повышением их насыпной плотности и уменьшением удельной поверхности, участвующей в процессах влагопоглощения. Установлено также, что проведение процесса сушки при температуре выше 105 °C в течение более 10 минут отрицательно влияет на качество волокна, вызывая его пожелтение и ухудшение технологических характеристик. В связи с этим возникает необходимость определения рациональных режимов сушки и обоснования оптимальных конструктивных параметров сушильных установок, предназначенных для эффективной обработки хлопка-сырца при сохранении его качественных показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Salimov. Mahsulotlar sifatini aniqlash va sertffikatlash. -T.: «Fan va texnologiva», 2019, 216 bet.

2. N.R. Yusupbekov, H.S. Nurmuhamedov, S.G. Zokirov. Kimyoviy texnologiya asosiy jarayon va qurilmalari. - T.: «Fan va texnologiya», 2015,848 bet.

3. A.Parpiyev va boshqalar “Paxta xomashyosini quritish”. - T.:Cho,,lpon, 2009.

4. I.H.Hamzayev, E.S.Umarov. “Materiallar qarshiligi”. O‘quv qo‘llanma / “Classic”-2021 yil 360 bet.

5. А.Салимов, АЛугачёв. “Технология первичной обработки хлопка” -Т., 2017. 6. Умаров Э.С. Рамани ўқлар бўйича кўчишларни, унинг мустахкамлигига таъсири ҳақида // Журнал Технических исследований. – 2020. – Т. 3. –№.1.

6. Umarov E. On the effect of axial displacements on the strength of frames //Technical Sciences. – 2020. – Т. 1. – С. 24-28.

7. Umarov E.S. Non-linear bending bar //Scientific progress. – 2021. – Т. 2. – №. 7. – С. 578-585.

10. Умаров Э.С. Нам пахтани намлигини қуритишда барабанли қуритгачдан фойдаланиш //Scientific-technical journal. – 2022. Т.26. - № 5. – С. 206-210.
10. Хамзаев И.Х., Умаров Э.С. Задача теплопроводности для кусочно однородной пластины с теплообменом через основание //Barqarorlik va yetakchi tadqiqotlar onlayn ilmiy jurnali. – 2022. – С. 245-249.

ISSN 3030-3907