ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -2

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 2

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	Технологии производства паст с натуральными полифенолами-антиоксидантами *Бердиева Зулфия Мухиддиновна*	9
2	Development and experimental verification of a deformation model for dough sheeting based on contact mechanics *Akhmedova Marhabo Sayidmurod qizi*	16
3	O‘rta asrlarda ayollarning ijtimoiy huquqiy mavqyi, mif va haqiqat *G.SH.Tosheva* *X.X.Boyqobilov*	30
4	Diskli ishchi organlar orasidagi bo‘ylama masofaning optimal qiymatini aniqlashning matematik modeli *Safarov Azamat Azimovich* *Ravshanov Nasimbek Qodir o‘g‘li* *Qurbonova Shabnam Istalali qizi* *Tovashov Rustam Xo‘jaxmat o‘g‘li* *Irgashev Dilmurod Begmurodovich*	35
5	Development of heritage-compatible restoration mortars based on local raw materials and industrial waste for historical monuments of uzbekistan *Masharipova Sharofat Muxammadovna* *Kalandarova Mekhriniso* *Sadullayev Amirxon*	48
6	Oliy ta’lim muassasalaridagi heterogen ma’lumotlarni intellektual tahlil qilish *Boltayev Jahongir Erkin o‘g‘li*	57
7	Obyektlarni tanib olish algoritmlari tahlili *Abdukadirov Baxtiyor Abduvaxitovich*	71
8	Polimer qo‘shimchalar yordamida gidrofob beton ishlab chiqarish *Imamov Suxrob Solexovich* *Toshpo‘latov Murodjon Bahodir o‘g‘li* *Bekmurodov Ozodbek Jonibekovich* *Hidoyatov Asadbek Furqatovich* *Nuriddinov Bexruz Baxriddinovich* *Sultonov Qodirbek Sobir o‘g‘li*	81
9	Separation and structure of 5-methylimidazolidine-2,4-dione from the fungus agaricus bisporus grown in natural conditions *Nomozova M.Z.* *Kamolov L.S.* *Jurakulova N.K.*	88
10	Tarmoq oqimi ma’lumotlariga qayta ishlov berish usullarini analitik tahlili *Ma’ruf Jo‘rayev* *Safarov Mansur* *Dilmurod Normurodov* *Shohista Ahmadaliyeva* *Shaxriyor Xudoyberdiyev*	98
11	Yuqori sinf o‘quvchilarida o‘quv motivining pasayishiga ta’sir etuvchi pedagogik va psixologik omillar tahlili. *Raximdjanova Shahnoza Erkin qizi*	107
12	Mato sifatini sinflash va baholash usullari *Qambarov Jamoliddin Xikmatullayevich* *Mamatqulova Saida Raxmatovna*	114
13	Boshlang‘ich sinflarda matematik tafakkurni rivojlantirishda interfaol metodlarning pedagogik imkoniyatlari. *Serkaboyeva Dina Altinbekovna*	121

ISSN 3030-3907

14	Artificial intelligence based clinical decision support systems in cardiac diagnostics *Sharipov Bahodir Akilovich* *Tashpulatova Nadira Batirovna* *Akbarova Marg'uba Khamidovna* *Djangazova Kumriniso Abdulvahobovna*	126
15	Mintaqaviy korxonalar faoliyati samaradorligining tashkiliy va funksional diagnostik tadqiqi *Toxirova Nigora Zokirjon qizi*	133
16	Methods for automatic recognition of parts of speech in the uzbek language-identification of possessives, articles, complements, determiners, cases using nlp *Nuriddinova Sarvinoz Murodillo qizi*	140
17	Galerkin usuli yordamida ikkinchi tartibli differensial tenglama uchun qo'yilgan chegaraviy masalani taqribiy yechish *Ismoilov Axrorjon Ikromjonovich* *Adhamova Vasila Elyorjon qizi*	147
18	Evaluation of antioxidant (free radical scavenging) activity of mint (mentha sp.) Alcoholic extract based on dpph method *Asqarov Ibrohimjon Rahmonovich* *Qirg'izov Shahobiddin Mirzaraimovich* *Mamurova Mohlaroyim Ma'rufjon qizi*	157
19	O'zbek tili gap bo'laklarining ierarxik strukturasini graf modellari asosida tadqiq etish *Shahlo Xamroyeva Mirdjonovna* *Nuriddinova Gulira'no Baxtiyor qizi*	165
20	Ekskavator sedlovoy podshipnigi yon roliklarining kuchlanish-deformatsiya holatini sonli modellashtirish asosida takomillashtirish *Xamzayev Akbar Abdalimovich* *Usmonov Maftunjon Zohidjon o'g'li*	171
21	Лечение лекарственными травами (фитотерапия) *Хасанова Гулбахор Рахматуллаевна* *Тожибоева Р.Д.*	182
22	Turizm falsafasi: madaniyatlararo muloqot, barqaror rivojlanish va shaxs ma'naviy kamoloti omili sifatida *Ergashov Ziyodullo Bobir o'g'li*	189
23	Tok bargi tarkibiy qismi moddalarining gipoglikemik tasiri *Sovetov Qoraqul Tashanovich*	197
24	Analysis of macro- and microelements in the leaves of turnip (*brassica rapa* l.) Cultivated in uzbekistan *Atakulova Nargiza Baxtiyorjon qizi*	203
25	Распределенная система мониторинга параметров окружающей среды *Варламова Людмила Петровна* *Султанмурадов Бекзод* *Бобокулов Азизбек*	213
26	Umumiy o'rta maktab o'quvchilarining individual o'rganish xususiyatlariga mos raqamli ta'lim resurslaridan foydalanishning metodik asoslari *Farxod Irisqulov* *Nazokat Xalilova*	219
27	Elektr tarmoqlarida reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish usullari va qurilmalari *Y.K.Xamidov* *B.B.Abdulazizov* *B.A. Xushboqov* *K.F. Abdirasulov*	230
28	Intellektual tizim asosida nasos agregatini bosim bo'yicha boshqarish usuli *Abdullabekov Islombek* *G'aniyev Elbek* *Abduxalilov Abdumannop*	236

ISSN 3030-3907

29	Benzinning benzol saqlagan fraksiyasidan siklogeksan olish jarayoni uchun al_2o_3 asosli katalizatorlar olish istiqbollari *Asadova Dilnavoz Fayzulloyevna* *Hayitov Ruslan Rustamjonovich*	243
30	Application of laser measurement methods in the quality control of packaging materials *Sativaldiev Aziz*	247
31	Обзор средств измерений, применяемых в процессе получения чистого теллура из технического теллура в целях использования в зелёной экономике *Миралиева Азиза Каюмовна* *Юсупова Камила Муратовна* *Холбоева Гулзода Икром қизи*	254
32	Использование чистого теллура в области зелёной экономики *Савриева Икбол Баходировна* *Миралиева Азиза Каюмовна* *Юсупова Камила Муратовна* *Рашидов Абдумалик Абдулхай ўғли*	266
33	“Mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi” fanini o‘qitishda integrativ texnologiyalar asosida axborot-metodik ta’minotni takomillashtirish metodikasi *Maxmudov Baxtiyor Xayrullayevich* *Tursunova Nargiza Nigmatovna*	275
34	Kimyo ta’limida ai yordamida personalizatsiyalashgan o‘quv trayektoriyalarini shakllantirish *Karomova D.X.*	286
35	Talab qilinadigan mahsulotlar narxlarini monitoring qilish va bashoratlash mobil ilovasini ishlab chiqishning algoritmik va dasturiy asoslari *Xudayberganov Temur Rustamovich* *Raximon Akbarbek Kamoladdin o‘g‘li*	294
36	Study of the effect of superplasticizers on the physical-mechanical properties of concrete *Safarova Rukhshona Ulug‘bek qizi* *Bekov Ulug‘bek Safarovich*	305
37	Real elektr tarmog‘ida quyosh fotoelektrik tizimlarini optimal integratsiyalash masalalari *Xidirov Mirabbos Mirzayor o‘g‘li*	315
38	Butil spirtini maxsar moyi bilan eterifikatsiya jarayonini sanoat reaktorini modellashtirish va optimallashtirish *H.S.Fozilov.* *A.X, Temirov.* *N.B.Axrorova* *S.F.Fozilov*	325
39	Generativ sun'iy intellekt texnologiyalarining grafik dizayn jarayonlari samaradorligiga ta'sirini baholashning ilmiy-metodik asoslari *Fattoyeva Norjon Azamat qizi*	332
40	Smart monitoring of irrigation canals using iot sensors and artificial intelligence *Abdumannopova Mamura* *Seytov Aybek Jumabayevich* *Asretdinova Lobar*	341
41	Avtomobil transportida tashuv ishlarini amalga oshirishda harakat xavfsizligini ta’minlash uslublarini takomillashtirish yo‘llari *Yugayev Shavkat Mansunovich* *Abdivoidov Rustam Baxtiyor o‘g‘li*	349
42	Hybrid renewable energy supply systems for 5g/6g telecommunication base stations: a systematic review of architectures, control strategies, and ai-driven optimization methods *Muradov Muhammad Murod o‘g‘li* *Yuldoshev Jaloliddin Fayzulla o‘g‘li*	355
43	Neft-gaz quduqlarini burg‘ulash texnologiyalarining matematik modeli *Achilov Islom Azamatovich*	370

ISSN 3030-3907

	Azamatov Ilhom Islomovich	
44	O‘zbek va turkman tillari uchun transformer modellarini qiyosiy tahlil qilish va mos model tanlash mezonlari *Rajabova Sabina To‘lqin qizi* *Raximboyev Xikmat Jumanazarovich*	378
45	Солнечные воздушные нагреватели на основе фазопеременных материалов: систематический обзор современного состояния, тенденций и приоритетов исследований *Темиров Сохиб Амонович*	383
46	Investigation of the internal structure of neutron stars in modified gravity theory *Qo‘ldoshov Alixon*	407
47	Sun’iy intellekt asosida xorijiy til bilim darajasini aniqlash platformasining ma’lumotlar manbaini shakllantirish *Nazarov Sh.E.* *Ismatov B.R.* *Xushnazarov F.F.* *Qobilov R.B.*	417
48	Cheklangan sensorlar tarmog‘i sharoitida shahar trafik holatini baholashning zamonaviy grafli yondashuvlari qiyosiy tahlili *Ismoilova Anaxon*	424
49	Tar maxsulotidan olingan pech yonilg‘isi va nafta asosida neftsiz yoqilg‘i kompleksini yaratish. *Sharofiddinov Ismoiljon Ikromovich* *Axmadaliyev Maxammadjon Axmadaliyevich*	436
50	Туркистонда россия империяси ижтимоий сиёсатининг асосий йўналишлари *Тўлқин Олимжонович Ахмедов*	443

ISSN 3030-3907

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПАСТ С НАТУРАЛЬНЫМИ ПОЛИФЕНОЛАМИ-АНТИОКСИДАНТАМИ

Бердиева Зулфия Мухиддиновна
Старший преподаватель кафедры "Химическая технология"
Бухарского государственного технического университета
E-mail: berdiyevaz@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены современные технологии производства пастообразных пищевых и косметических продуктов, обогащённых натуральными полифенолами-антиоксидантами растительного происхождения. Показано, что полифенольные соединения, включая флавоноиды, катехины, антоцианы, фенольные кислоты, таннины и ресвератрол, обладают выраженной антиоксидантной, противовоспалительной и защитной активностью, способствуют замедлению процессов окисления липидов, повышению стабильности продуктов и улучшению их функциональных свойств. Особое внимание уделено ресвератролу как перспективному биоактивному компоненту косметических средств благодаря его способности снижать уровень окислительного стресса, стимулировать синтез коллагена, улучшать микроциркуляцию кожи и уменьшать проявления воспалительных процессов. Показано, что использование ферментов пектиназ позволяет повысить выход полифенольных соединений, улучшить их растворимость и снизить выраженность горького вкуса. Сделан вывод о высокой перспективности применения натуральных полифенолов в технологии функциональных и косметических паст нового поколения.

Ключевые слова: Полифенолы-антиоксиданты, ресвератрол, флавоноиды, катехины, антоцианы, пектиназа, ферменты, косметические пасты.

Аннотация. Мақолада ўсимлик манбали табиий полифенол-антиоксидантлар билан бойитилган пастасимон озиқ-овқат ва косметик маҳсулотларни ишлаб чиқаришнинг замонавий технологиялари кўриб чиқилган. Флавоноидлар, катехинлар, антоцианлар, фенол кислоталари, таннинлар ва ресвератролни ўз ичига олган полифенол бирикмалар кучли антиоксидант, яллиғланишга қарши ҳамда ҳимояловчи фаолликка эга эканлиги, липидлар оксидланиши жараёнларини секинлаштириши, маҳсулотлар барқарорлигини ошириши ва уларнинг функционал хусусиятларини яхшилаши кўрсатилган. Косметик воситаларнинг истиқболли биоактив компоненти сифатида ресвератролга алоҳида эътибор қаратилган бўлиб, унинг оксидловчи стресс даражасини пасайтириш, коллаген синтезини рағбатлантириш, тери микроциркуляциясини яхшилаш ва яллиғланиш жараёнлари намоён бўлишини камайтириш қобилияти

ISSN 3030-3907

ёритиб берилган. Пектиназа ферментларидан фойдаланиш полифенол бирикмалар чиқишини ошириши, уларнинг эрувчанлигини яхшилаши ҳамда аччиқ таъм даражасини камайтириши кўрсатилган. Янги авлод функционал ва косметик пасталар технологиясида табиий полифеноллардан фойдаланиш юқори истиқболга эга эканлиги ҳақида хулоса қилинган.

Калит сўзлар: полифенол-антиоксидантлар, ресвератрол, флавоноидлар, катехинлар, антоцианлар, пектиназа, ферментлар, косметик пасталар.

Abstract. The article examines modern technologies for producing paste-like food and cosmetic products enriched with natural plant-derived polyphenol antioxidants. It is shown that polyphenolic compounds, including flavonoids, catechins, anthocyanins, phenolic acids, tannins, and resveratrol, exhibit pronounced antioxidant, anti-inflammatory, and protective activities, contribute to slowing lipid oxidation processes, enhance product stability, and improve their functional properties. Particular attention is given to resveratrol as a promising bioactive component of cosmetic products due to its ability to reduce oxidative stress levels, stimulate collagen synthesis, improve skin microcirculation, and decrease manifestations of inflammatory processes. It is demonstrated that the use of pectinase enzymes makes it possible to increase the yield of polyphenolic compounds, improve their solubility, and reduce the intensity of bitter taste. The study concludes that the application of natural polyphenols in the technology of next-generation functional and cosmetic pastes is highly promising.

Keywords: Polyphenol antioxidants, resveratrol, flavonoids, catechins, anthocyanins, pectinase, enzymes, cosmetic pastes.

ВВЕДЕНИЕ.

Технологии производства паст с натуральными полифенолами-антиоксидантами включают создание пищевых, косметических и функциональных пастообразных продуктов с добавлением растительных экстрактов, содержащих полифенолы. Эти соединения обладают высокой антиоксидантной активностью, способствуют замедлению окисления жиров, повышают устойчивость продукта и могут оказывать профилактическое действие.

Что такое полифенолы? Полифенолы — это группа природных соединений растений, включающая: флавоноиды; фенольные кислоты; катехины; таннины; антоцианы; ресвератрол.

Ресвератрол — мощный полифенольный антиоксидант из группы растительных защитных молекул. Ресвератро́л — природный фитоалексин, производное транс-стильбена, полифенол. Независимые исследования показали, что ежедневное потребление ресвератрола в диапазоне 700–1000 мг/сутки хорошо переносится без токсических эффектов и что

ISSN 3030-3907

концентрации ≤2 г/сутки безвредны при кратковременном применении. Суточная доза 1 г в день считается эффективной для лечения различных заболеваний у людей. Противовоспалительное действие ресвератрола было продемонстрировано на различных модельных организмах. Высокое содержание ресвератрола в корнях чёрной шелковицы — на уровне 32,5 мкг/г. В косметике он помогает коже лучше справляться с окислительным стрессом и УФ-нагрузкой — тем самым поддерживает более ровный тон, свежесть и спокойный вид кожи. Что делает ресвератрол для кожи лица? Защищает от повреждающего действия УФ-лучей; стимулирует синтеза коллагена; Уменьшает количества свободных радикалов (предупреждение появления морщин); Улучшает кровоснабжения кожи и поступления в нее питательных веществ; восстанавливает поврежденные клетки.

Чем отличается ретинол от ресвератрола? Это тот самый ингредиент из истории про красное вино и французский парадокс — ресвератрол из кожицы винограда связывали с более низкими сердечно-сосудистыми рисками у французов. В косметологии ресвератрол используется благодаря своим антиоксидантным и antiage-свойствам. Он не защитит от старости, но помогает предотвращать морщины, сохранить овал лица, уменьшает покраснения и раздражения. Ингибируя ферменты, разрушающие коллаген, ресвератрол поддерживает плотность и молодость кожи, усиливает синтез коллагена. Стимулируя фибробласты, способствует естественному обновлению кожи. Полезен как компонент функциональных продуктов или косметики для борьбы с гиперпигментацией, особенно в глубоких слоях кожи. В японском исследовании ресвератрол помог осветлять кожу, особенно в случае стойких темных пятен в дерме (глубоких слоях кожи), которые трудно поддаются лечению. Активирует аутофагию — процесс, при котором клетка «убирает мусор» и перерабатывает ненужные компоненты. Усиливает работу лизосом — клеточных «переваривателей», которые разрушают ненужные вещества, в том числе меланосомы (органеллы, содержащие пигмент меланин). Запускает антиоксидантную защиту через белок NRF2, что дополнительно усиливает работу лизосом и аутофагии.

В косметике его ценят за комплексный потенциал: антиоксидант + успокоение + поддержка ровного тона.

В отличие от мощных антиоксидантов ретинола и витамина С, ресвератрол не имеет побочных эффектов. Он успокаивает кожу, снимает покраснение и укрепляет защитный барьер. Поэтому ресвератрол может применяться даже при розацеа (хроническое воспалительное заболевание кожи лица, сопровождающееся покраснением, расширением сосудов,

ISSN 3030-3907

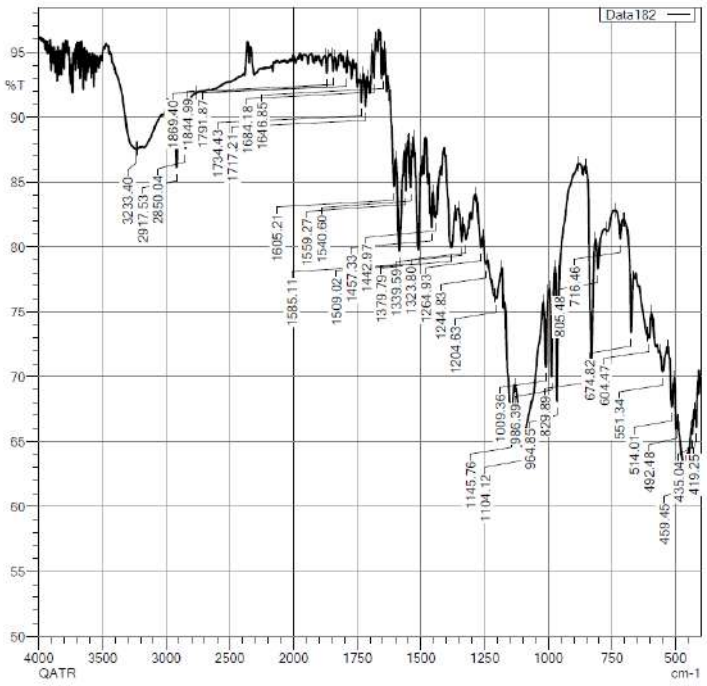
высыпаниями и воспалительными проявлениями.), дерматите и других дерматологических состояниях. В отличие от многих классических антиоксидантов, ресвератрол интересен не только как нейтрализатор свободных радикалов, но и как актив с противовоспалительным сигнальным действием и потенциалом для осветления и выравнивания тона. Исследования показывают, что он может влиять на процессы меланогенеза и активность тирозиназы — поэтому его рассматривают как перспективный компонент для работы с неровным тоном, тусклостью и видимостью пигментных пятен. Поэтому он органично вписывается в формулы для чувствительной кожи, пост-акне следов и анти стресс-ухода.

Основные источники: зеленый чай; виноградные косточки; гранат; ягоды; розмарин; куркума; шелковица чёрная; какао; оливковые листья. К основным видам паст относятся пищевые пасты, ореховые; фруктово-ягодные; шоколадные; белковые; функциональные спортивные пасты; детское питание, косметические пасты, зубные пасты; маски; крем-пасты; лечебно-профилактические составы. Для техно схемы производства сырьё очищали, сортировали и измельчали. Для высокого содержания ресвератрола использовали кору корней черной шелковицы (Morus nigra). А для растительного сырья важно минимизировать контакт с кислородом; избегать высоких температур; сохранять биологически активные вещества. Для этого во многих случаях применяются: крио измельчение; вакуумная обработка; мягкая сушка.

Для получение полифенольных экстрактов использовали наиболее распространенные методы, как водно-спиртовая экстракция. Использовали 50–70% водные растворы этанола ,соотношение сырья и растворителя: 1:10–1:15. Поместили измельчённое сырьё в стеклянный реактор и добавили водно-спиртовой раствор. Экстрагировали при температуре 35–50 °C в течении 1–3 часа при постоянном перемешивании. Провели идентификацию ресвератролосодержащего экстракта методом инфракрасной спектроскопии. Исследование ресвератролосодержащего экстракта методом ИК-спектроскопии позволил подтвердить наличие функциональных групп, характерных для ресвератрола и сопутствующих фенольных соединений. При иследовании экстракта в ИК-спектре наблюдался следующие характерные полосы поглощения: широкая интенсивная полоса в области 3400 $см^{-1}$, соответствующая валентным колебаниям гидроксильных групп (–OH); полосы в области 3080$см^{-1}$, относящиеся к ароматическим C–H связям; пики около 1580 $см^{-1}$, обусловленные колебаниями ароматического кольца и двойных связей C=C;

ISSN 3030-3907

полоса в области 975 см$^{-1}$, характерная для транс-конфигурации этиленовой связи; сигналы 1260 см$^{-1}$, связанные с колебаниями фенольной группы C–O.



При исследовании экстракта наличие указанных полос свидетельствует о присутствии ресвератрола в составе исследуемого образца. Одновременно наблюдались дополнительные полосы, обусловленные примесями, растворителями или другими полифенольными компонентами растительного происхождения.

Для уменьшения окисления использовали тёмную посуду, поддерживали слабокислую среду.

Учитывая чувствительность полифенолов к свету; кислороду; металлам; высокой температуре применяли вакуумное выпаривание; лиофильную сушку. Это позволяет: защитить антиоксиданты; уменьшить горечь; повысить биодоступность; увеличить срок хранения.

Для приготовления пастообразной основы для косметических средств соблюдали требования безопасности, гигиены и совместимости компонентов. Использовали стерильную либо тщательно продезинфицированную посуду и инструменты, работали в перчатках и на чистой рабочей поверхности. Для приготовления составов применяли дистиллированную воду и готовую смесь хранили в герметично закрытой таре.

Для образования пастообразной косметической основы обычно добавляли жировую фазу (масла миндальное); водную фазу; загуститель(крахмал); активные компоненты; консерванты, глицерин.

ISSN 3030-3907

Для соблюдений пропорций не превышали допустимую концентрацию активных веществ; добавляли загустители постепенно, чтобы избежать образования комков. Примерное соотношение компонентов следующие: 50–70% — база; 10–30% — вода дистилированная; 5–15% — загустители и стабилизаторы; 1–5% — активные вещества и дополнительные компоненты; Масла обычно растапливали при температуре 60°C. Компоненты, чувствительные к нагреву (витамины, эфирные масла), добавили после охлаждения смеси ниже 40°C. Для введение полифенолов ключевой задачей является — сохранить антиоксидантную активность. Поэтому смешивание вели в инертной атмосфере и регулировали pH. Оптимальный pH для многих полифенолов: pH=4.0–6.0. Уровень pH (для косметики для кожи обычно 4,5–6,5); Смешивание должно быть плавным и равномерным. Для получения однородной консистенции использовали мини-миксер. Избыточное попадание воздуха в массу нежелательно, так как это снижает стабильность продукта. Для увеличения выхода полифенолов; уменьшения гореча; улучшения растворимости применяли фермента пектиназы(полисахарид, содержащегося в клеточных стенках растений). Полученную массу необходимо законсервировать при помощи Эуксила (1 гр) и перемешать. Таким образом готовое средство может храниться при комнатной температуре довольно продолжительное время.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Muhiddinovna B. Z. Functions and forms of chemical experiment //European science review. – 2020. – №. 1-2. – С. 48-50.
2. Бердиева З. М., Мирзаева Ш. У. Экстракция масла цветков джиды сверхкритической углекислотой //Интеграция современных научных исследований в развитие общества. – 2016. – С. 181-183.
3. Мухаммадиева З. Б., Бердиева З. М. Пищевая безопасность CO2-экстрактов из растительного сырья //Universum: химия и биология. – 2020. – №. 4 (70). – С. 8-12.
4. Бердиева З. М., Жахонов Ж., Мирзаев А. АНАЛИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОЛИФЕНОЛА //SCIENTIFIC ASPECTS AND TRENDS IN THE FIELD OF SCIENTIFIC RESEARCH. – 2023. – Т. 1. – №. 8. – С. 284-287.
5. The therapeutic potential of resveratrol: a review of clinical trials — Berman A.Y., Motechin R.A., Wiesenfeld M.Y., Holz M.K. Рассматриваются клинические исследования ресвератрола, его антиоксидантные и противовоспалительные свойства.
6. Anti-atherogenic effects of resveratrol — Ramprasath V.R., Jones P.J.H. Исследование влияния ресвератрола на сердечно-сосудистую систему и профилактику атеросклероза.

ISSN 3030-3907

7. Клинические эффекты ресвератрола (обзор литературы) — Успенская Ю.Б. Обзор клинических эффектов ресвератрола и его применения в медицине.
8. Ресвератрол — Пальцын А.А. Рассматриваются биодоступность, антиоксидантные свойства и механизмы действия ресвератрола.
9. Шарипова Н. У., Мухамадиев Б. Т., Шарипова Н. У. ХРАНЕНИЕ, ТРАНСПОРТИРОВКА И РЕАЛИЗАЦИЯ КРИО ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ И ЗАМОРОЖЕННЫХ ПРОДУКТОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ //Universum: технические науки. – 2021. – №. 2-2 (83). – С. 100-103.
10. Жумаев Ж. Х., Шарипова Н. У. Структурно-механические характеристики композиций на основе электрохимического модифицированного крахмала и полимеров //Universum: химия и биология. – 2019. – №. 11-1 (65). – С. 74-76.
11. Шарипова Н. У. Химическая промышленность и окружающая среда //Universum: химия и биология. – 2022. – №. 5-1 (95). – С. 19-21.

ISSN 3030-3907

UDC: 664.65:539.3:531.44

DEVELOPMENT AND EXPERIMENTAL VERIFICATION OF A DEFORMATION MODEL FOR DOUGH SHEETING BASED ON CONTACT MECHANICS

Akhmedova Marhabo Sayidmurod qizi
Research Intern Tashkent State Technical University named after Islam Karimov.
E-mail: axmedovabror78@gmail.com

Abstract. The article presents a theoretical and methodological study of dough deformation during the sheeting process based on the principles of contact mechanics. Dough sheeting is one of the key technological operations in the production of bakery, confectionery, pasta and laminated dough products. During this process, dough passes through a pair of rotating rollers and undergoes compression, shear, frictional interaction, viscous flow and partial elastic recovery. The stability of the sheeting process directly affects the final product thickness, surface uniformity, internal structure, energy consumption and overall quality of the finished product. The scientific novelty of the study consists in the development of an engineering deformation model that considers wheat dough as an elastic-viscous-plastic medium interacting with rigid cylindrical rollers. The proposed model combines contact length, average contact pressure, relative compression, elastic recovery, friction force and rolling torque into a single calculation scheme. The model is based on the classical concepts of contact mechanics, Coulomb friction and rheological descriptions of dough deformation. The methodological basis of the research includes the works of K.L. Johnson on contact mechanics, R.J. Love on mathematical modelling of bread dough sheeting, F. Qi, R.I. Tanner and co-authors on prediction of dough sheeting thickness, E. Mitsoulis and S.G. Hatzikiriakos on experimental and numerical simulation of bread dough rolling, and S. Chakrabarti-Bell and co-authors on computational modelling and physical validation of dough sheeting. The article also substantiates an experimental verification procedure using a laboratory two-roll dough sheeter. The recommended verification parameters include initial dough thickness, roller gap, outlet thickness, normal force, rolling torque, dough width, surface defects and elastic recovery. It is shown that the final outlet thickness cannot be considered equal to the geometrical roller gap because dough partially recovers after leaving the rollers. Therefore, the introduction of an elastic recovery coefficient significantly improves the accuracy of technological calculations. The proposed model can be used for selecting rational sheeting regimes, reducing energy consumption, stabilizing dough thickness and improving the quality control of bakery and confectionery products.

ISSN 3030-3907

Keywords: dough sheeting, contact mechanics, deformation model, two-roll sheeter, wheat dough, rheology, viscoelasticity, friction, contact pressure, experimental verification.

Аннотация. В статье представлено теоретическое и методологическое исследование деформации теста в процессе раскатки, основанное на принципах контактной механики. Раскатка теста - одна из ключевых технологических операций при производстве хлебобулочных, кондитерских, макаронных и слоеных изделий из теста. Во время этого процесса тесто проходит через пару вращающихся валков и подвергается сжатию, сдвигу, фрикционному взаимодействию, вязкому течению и частичному восстановлению упругости. Стабильность процесса нанесения пленки напрямую влияет на толщину конечного продукта, однородность поверхности, внутреннюю структуру, энергопотребление и общее качество готового продукта. Научная новизна исследования заключается в разработке инженерной модели деформирования, которая рассматривает пшеничное тесто как упруговязкопластичную среду, взаимодействующую с жесткими цилиндрическими роликами. Предложенная модель объединяет длину контакта, среднее контактное давление, относительное сжатие, упругий подъем, силу трения и момент прокатки в единую расчетную схему. Модель основана на классических представлениях о контактной механике, кулоновском трении и реологических характеристиках деформации теста. Методологическую основу исследования составили работы К.Л. Джонсона по контактной механике, Р.Дж. Лава по математическому моделированию раскатки хлебного теста, Ф. Ци, Р.И. Таннера и соавторов по прогнозированию толщины раскатки теста, Э. Мицулиса и С.Г. Хацикириакоса по экспериментальному и численному моделированию раскатки хлебного теста., и С. Чакрабарти-Белл с соавторами по компьютерному моделированию и физической проверке формования теста. В статье также приводится методика экспериментальной проверки с использованием лабораторной двухвалковой тестораскатывающей машины. Рекомендуемые параметры проверки включают начальную толщину теста, зазор между валками, толщину на выходе, нормальное усилие, момент раскатывания, ширину теста, дефекты поверхности и восстановление упругости. Показано, что конечную толщину на выходе нельзя считать равной геометрическому зазору между валками, поскольку тесто частично восстанавливается после выхода из валков. Таким образом, введение коэффициента упругого восстановления значительно повышает точность технологических расчетов. Предложенная модель может быть использована для выбора рациональных режимов раскатки, снижения

ISSN 3030-3907

энергозатрат, стабилизации толщины теста и улучшения контроля качества хлебобулочных и кондитерских изделий.

Ключевые слова: раскатка теста, контактная механика, деформационная модель, двухвалковая раскатная машина, пшеничное тесто, реология, вязкоупругость, трение, контактное давление, экспериментальная проверка.

Annotatsiya. Maqolada kontakt mexanikasi tamoyillari asosida xamirni qoplash jarayonida uning deformatsiyasi bo‘yicha nazariy va uslubiy tadqiqotlar keltirilgan. Xamirni qoplash non, qandolat, makaron va laminatlangan xamir mahsulotlarini ishlab chiqarishda asosiy texnologik operatsiyalardan biridir. Ushbu jarayon davomida xamir bir juft aylanadigan roliklardan o‘tadi va siqilish, kesish, ishqalanish o‘zaro ta'siri, yopishqoq oqim va qisman elastik tiklanishdan o‘tadi. Qoplama jarayonining barqarorligi tayyor mahsulotning yakuniy qalinligi, sirt bir xilligi, ichki tuzilishi, energiya sarfi va umumiy sifatiga bevosita ta'sir qiladi. Tadqiqotning ilmiy yangiligi bug‘doy xamirini qattiq silindrsimon roliklar bilan o‘zaro ta'sir qiluvchi elastik-yopishqoq-plastik muhit sifatida ko‘rib chiqadigan muhandislik deformatsiyasi modelini ishlab chiqishdan iborat. Taklif etilayotgan model kontakt uzunligi, o‘rtacha kontakt bosimi, nisbiy siqilish, elastik tiklanish, ishqalanish kuchi va aylanish momentini yagona hisoblash sxemasiga birlashtiradi. Model kontakt mexanikasi, Kulon ishqalanishi va xamir deformatsiyasining reologik tavsiflari haqidagi klassik tushunchalarga asoslangan. Tadqiqotning uslubiy asosiga K. L. Jonson kontakt mexanikasi bo‘yicha, R. J. Sevgi non xamirini qoplashni matematik modellashtirish bo‘yicha, F. Qi, R. I. Tanner va hammualliflar xamir qoplamasining qalinligini bashorat qilish bo‘yicha, E. Mitsoulis va S. G. xatzikiriakos non xamirini prokatlashni eksperimental va raqamli simulyatsiya qilish bo‘yicha va S. Chakrabarti-Bell va hammualliflar xamirni qoplashni hisoblash modellashtirish va jismoniy tasdiqlash bo‘yicha. Maqolada, shuningdek, laboratoriya sharoitida ikki rulonli xamirni yoyish moslamasi yordamida eksperimental tekshirish tartibi asoslab berilgan. Tavsiya etilgan tekshirish parametrlari orasida xamirning dastlabki qalinligi, rolik oralig‘i, chiqish qalinligi, normal kuch, aylanish momenti, xamir kengligi, sirt nuqsonlari va elastik tiklanish kiradi. Ko‘rsatilishicha, oxirgi chiqish qalinligi geometrik rolik bo‘shlig‘iga teng deb hisoblanmaydi, chunki xamir roliklardan chiqqandan keyin qisman tiklanadi. Shuning uchun elastik tiklanish koeffitsientini kiritish texnologik hisob-kitoblarning aniqligini sezilarli darajada oshiradi. Tavsiya etilgan modeldan choyshabning oqilona rejimlarini tanlash, energiya sarfini kamaytirish, xamir qalinligini barqarorlashtirish va non va qandolat mahsulotlari sifatini nazorat qilishni yaxshilash uchun foydalanish mumkin.

ISSN 3030-3907

Kalit so‘zlar: xamir varag‘i, kontakt mexanikasi, deformatsiya modeli, ikki rulonli varaq, bug‘doy xamiri, reologiya, viskoelastiklik, ishqalanish, kontakt bosimi, eksperimental tekshirish.

INTRODUCTION.

Dough sheeting is one of the most important mechanical and technological operations in the production of bread, pasta, laminated confectionery products, biscuits, flatbread and other flour-based foods. During this operation, dough is brought to a required thickness, its surface is smoothed, and its internal structure undergoes compression and shear deformation. If the sheeting thickness is unstable under industrial conditions, the shape, baking uniformity, layering degree, porosity and sensory properties of the final product may deteriorate.

The relevance of the topic is also associated with the global significance of grain and flour-based food production. According to FAO data, global primary crop production reached approximately 9.9 billion tonnes in 2023, while cereal production increased by 61 million tonnes, or about 2%, compared with 2022. Maize, wheat and rice accounted for about 91% of total cereal production [16]. According to USDA data, world wheat production in the 2024/2025 marketing year was estimated at 799.31 million metric tonnes [17]. In Uzbekistan, grain production also plays an essential role in ensuring food security and supplying the bakery and flour-processing industries [18, 19]. These statistics show that technological processes related to wheat flour processing, including dough preparation and sheeting, remain highly relevant from both scientific and industrial points of view.

In practical production, dough sheeting is often treated as a simple geometrical compression process. However, such an approach is insufficient. When dough enters the roller gap, normal pressure, tangential friction, shear rate, relative deformation, adhesion and elastic recovery occur simultaneously in the contact zone. Therefore, the sheeting process must be analysed using both contact mechanics and food rheology.

Dough is not a simple elastic solid or a Newtonian fluid. It is a complex multiphase material consisting of hydrated gluten, starch granules, water, soluble components and gas inclusions. It exhibits elasticity, viscosity, plasticity, relaxation and nonlinear flow behaviour. For this reason, the modelling of dough sheeting requires an approach that can describe both deformation resistance and recovery after loading.

The purpose of this study is to develop a deformation model for dough sheeting based on contact mechanics and to substantiate an experimental procedure for verifying the model under laboratory conditions.

The main objectives of the study are as follows:

ISSN 3030-3907

1. to develop a mechanical scheme of dough sheeting between two rotating rollers;

2. to determine the contact length and relative deformation of dough in the roller gap;

3. to formulate a simplified elastic-viscous-plastic model of dough deformation;

4. to derive equations for outlet thickness, contact pressure, normal sheeting force, friction force and rolling torque;

5. to propose an experimental verification methodology based on real scientific approaches reported in the literature;

6. to evaluate the technological significance of the proposed model for bakery and confectionery production.

LITERATURE REVIEW AND SCIENTIFIC BASIS.

The classical foundations of contact mechanics are systematically presented in the work of K.L. Johnson, *Contact Mechanics*. Johnson analysed the relationship between pressure distribution, surface deformation, friction and elastic boundaries in contact problems [1]. When the dough sheeting process is considered as an interaction between a deformable soft material and rigid cylindrical rollers, Johnson's approach provides an important theoretical basis.

S.P. Timoshenko and J.N. Goodier developed fundamental principles of elasticity theory that are still widely used for analysing deformation, stress distribution and elastic response of materials [2]. Although dough is not an ideal elastic body, the concepts of stress, strain and elastic recovery remain important when constructing simplified engineering models of dough deformation.

J.F. Steffe emphasized that food materials often exhibit complex rheological behaviour, including viscoelasticity, yield stress and time-dependent deformation [3]. This is especially relevant for wheat dough, which cannot be correctly described by simple linear models.

R.J. Love, in his study *Mathematical modelling of bread dough sheeting*, described dough sheeting as the process in which a mass of dough passes through two or more rotating rollers [4]. This definition clearly reflects the mechanical nature of the process: sheeting is not only a reduction in thickness, but also a mechanical treatment that affects the dough structure, gluten network and further baking performance.

F. Qi, S.C. Dai, M.P. Newberry, R.J. Love and R.I. Tanner proposed a simple approach for predicting the final thickness of sheeted dough. Their study combined rheological experiments and mathematical modelling to estimate the outlet thickness after sheeting [5]. This research confirms that the final dough

ISSN 3030-3907

thickness depends not only on the roller gap but also on the viscoelastic recovery of dough.

E. Mitsoulis and S.G. Hatzikiriakos studied the rolling of bread dough using both experiments and numerical simulations. They showed that bread dough is characterized by yield stress, shear-thinning behaviour and significant wall slip [6]. This finding supports the idea that dough should be treated as a viscoplastic and nonlinear rheological medium rather than as a simple Newtonian fluid.

S. Chakrabarti-Bell and co-authors developed a computational model of dough sheeting and validated it using physical measurements of roller forces and sheet thickness in a two-roll sheeting device [7]. They emphasized that controlling dough sheeting remains a long-standing challenge in the food industry. Their work demonstrates that measured force and thickness values are essential for verifying the reliability of mathematical models.

M.O.S. Albasir, M. Alyassin and G.M. Campbell showed that dough sheeting can enhance gluten development, particularly in fibre-enriched bread systems [8]. However, excessive mechanical treatment may also damage the gluten structure. Therefore, determining an optimal sheeting regime is an important technological and scientific task.

K.J. Chen and co-authors investigated the mechanical characterization and modelling of rolling in potato-based dough materials [9]. Their work confirms that rolling and sheeting processes in food systems must be analysed by considering both mechanical deformation and material-specific rheological properties.

Thus, the literature analysis shows that dough sheeting is a complex nonlinear contact and rheological process. The final product thickness, roller force and sheeting stability depend on the combined influence of roller geometry, friction, dough moisture, viscoelastic recovery and deformation rate.

MATERIALS AND METHODS.

Wheat dough was selected as the object of the study. Wheat dough is a multiphase food material consisting of hydrated gluten proteins, starch granules, water, salts and other minor components. Its deformation behaviour differs significantly from that of ideal elastic materials because elasticity, viscosity, plasticity, relaxation and slip may occur at the same time.

For model development, the following assumptions were adopted:

1. the rollers are considered rigid cylindrical bodies;
2. dough is considered a homogeneous elastic-viscous-plastic medium;
3. the sheeting process occurs under quasi-steady-state conditions;
4. normal pressure and tangential friction are present in the contact zone;
5. dough undergoes partial elastic recovery after leaving the rollers;

ISSN 3030-3907

6. the geometrical roller gap is not equal to the final outlet thickness;
7. temperature variation during the process is neglected.

For experimental verification, a laboratory two-roll dough sheeter is recommended. The main controllable parameters are roller radius (R), roller width (b), roller gap (h_g), surface velocity of rollers (v), and initial dough thickness (h_0). The main measurable parameters are outlet thickness (h_1), normal force (F_N), rolling torque (M), sheet width, elastic recovery and surface defects.

The experimental procedure should include dough samples with different moisture contents, for example 55%, 58% and 60%. Each dough sample should be rested for 20–25 minutes before sheeting in order to allow partial structural relaxation. The roller gap may be set at 3, 4 and 5 mm. Each experimental condition should be repeated at least three times. The mean value, standard deviation and relative error should then be calculated.

Deformation Model Based on Contact Mechanics

When dough passes through the rotating rollers, it is first drawn into the inlet zone, then compressed in the contact zone and finally released with partial elastic recovery at the outlet. The contact length may be approximately expressed as:

$$l_c = \sqrt{R(h_0-h_g)}$$

where:

(l_c) — contact length, m;
(R) — roller radius, m;
(h_0) — initial dough thickness, m;
(h_g) — geometrical roller gap, m.

The relative compression strain of dough is determined as:

$$\varepsilon = \frac{h_0-h_1}{h_0}$$

where:

(ε) — relative deformation;
(h_1) — actual outlet thickness after sheeting, m.

The actual outlet thickness may be higher than the geometrical roller gap because of elastic recovery:

$$h_1 = h_g + \Delta h_e$$

$$\Delta h_e = k_e(h_0-h_g)$$

where:

(Δh_e) — increase in thickness due to elastic recovery;
(k_e) — elastic recovery coefficient.

The value of (k_e) depends on dough formulation, moisture content, gluten quality, resting time and sheeting speed. Dough with lower moisture content and

ISSN 3030-3907

stronger gluten structure usually has a higher recovery coefficient, while softer dough with higher moisture content tends to recover less after sheeting.

The total mechanical stress in dough may be represented by a simplified elastic-viscous-plastic model:

[\sigma = E\varepsilon + \eta \dot{\varepsilon} + \sigma_y]

where: (\sigma) — total stress, Pa;

(E) — elastic modulus, Pa;

(\eta) — viscosity coefficient, Pa·s;

(\dot{\varepsilon}) — strain rate, s(^{-1});

(\sigma_y) — yield stress, Pa.

This formulation is consistent with the findings of Mitsoulis and Hatzikiriakos, who showed that bread dough exhibits yield stress, shear-thinning behaviour and wall slip during rolling [6].

The average contact pressure in the roller gap can be estimated as:

[p_{av} = E\varepsilon + \eta \frac{v}{l_c}\varepsilon + \sigma_y]

where:

(p_{av}) — average contact pressure, Pa;

(v) — roller surface velocity, m/s.

The normal sheeting force is calculated as:

[F_N = p_{av} \cdot b \cdot l_c]

where:

(F_N) — normal sheeting force, N;

(b) — roller working width, m.

The tangential friction force is described according to Coulomb’s law:

[F_f = \mu F_N]

where:

(F_f) — friction force, N;

(\mu) — coefficient of friction between dough and roller surface.

The torque required to rotate the roller is:

[M = F_f \cdot R]

where:

(M) — rolling torque, N·m.

These equations make it possible to predict three important technological outputs: outlet thickness, normal force and rolling torque. The advantage of the model is that it links the rheological properties of dough with the operating parameters of the sheeting equipment.

Model Parameters and Calculation Algorithm

The main input parameters of the model are roller radius, roller gap, initial dough thickness, roller speed, dough moisture, elastic modulus, viscosity

ISSN 3030-3907

coefficient, yield stress and friction coefficient. Some of these parameters are determined by equipment design, while others depend on dough formulation and preparation conditions.

The calculation algorithm can be described as follows:

1. determine (h_0), (h_g), (R) and (b);
2. calculate the contact length (l_c);
3. select or experimentally determine the elastic recovery coefficient (k_e);
4. calculate the outlet thickness (h_1);
5. determine the relative deformation (\varepsilon);
6. estimate the strain rate (\dot{\varepsilon} \approx v/l_c);
7. calculate the average contact pressure (p_{av});
8. calculate the normal force (F_N);
9. calculate the friction force (F_f);
10. calculate the rolling torque (M);
11. compare model values with experimental measurements.

The basic model parameters may be presented as follows.

Table 1.

No.	Parameter	Symbol	Typical range
1	Roller radius	(R)	0.03–0.08 m
2	Roller working width	(b)	0.15–0.30 m
3	Initial dough thickness	(h_0)	8–12 mm
4	Roller gap	(h_g)	3–5 mm
5	Elastic modulus	(E)	depends on dough formulation
6	Viscosity coefficient	(eta)	depends on moisture and temperature
7	Yield stress	(sigma_y)	determined experimentally
8	Friction coefficient	(mu)	depends on roller surface and flour dusting
9	Elastic recovery coefficient	(ke)	determined experimentally
10	Roller surface velocity	(v)	depends on sheeter regime

Experimental Verification Methodology

The experimental verification procedure proposed in this article is intended for real laboratory testing. It is based on published scientific approaches. Chakrabarti-Bell and co-authors validated a computational model of dough sheeting by measuring roller forces and sheet thickness in a two-roll device [7]. Mitsoulis and Hatzikiriakos used inlet thickness, outlet thickness and torque as the main verification parameters in rolling experiments [6]. Therefore, in this

ISSN 3030-3907

study, the same types of measurable parameters are recommended for validating the proposed model.

For each dough sample, the following values should be recorded:

- initial dough thickness;
- roller gap;
- outlet thickness;
- roller normal force;
- rolling torque;
- dough width after sheeting;
- surface cracks;
- adhesion to rollers;
- elastic recovery after leaving the roller gap.

The relative error between model and experimental values is calculated as:

$$\delta = \frac{|X_{exp}-X_{model}|}{X_{exp}} \cdot 100\%$$

where:

δ — relative error, %;

X_{exp} — experimentally measured value;

X_{model} — value calculated by the model.

If the model error does not exceed 5% for outlet thickness and 10% for force, the model may be considered sufficiently accurate for engineering and technological calculations.

Verification Based on Real Scientific Sources

This article does not present artificially invented experimental results. Instead, the verification logic is based on real published scientific studies and their methodological approaches.

Mitsoulis and Hatzikiriakos demonstrated that bread dough rolling is affected by yield stress, shear-thinning behaviour and wall slip [6]. This supports the inclusion of σ_y, η and μ in the model. Chakrabarti-Bell and co-authors measured roller force and sheet thickness in a two-roll sheeter and used these data for model validation [7]. This confirms that F_N and h_1 are the main measurable outputs for verification. Qi and co-authors showed that the final dough thickness after sheeting can be predicted only when viscoelastic recovery is taken into account [5]. Therefore, the introduction of the elastic recovery term Δh_e is scientifically justified.

The comparison of the proposed model with previous studies shows that it reflects the most important physical mechanisms of dough sheeting: compression, elastic recovery, viscous resistance, yield stress and frictional interaction.

RESULTS AND DISCUSSION.

ISSN 3030-3907

The theoretical analysis shows that the roller gap should not be considered identical to the final product thickness. After leaving the rollers, dough partially recovers due to its viscoelastic nature. This phenomenon was also identified as one of the main problems in predicting dough sheeting thickness by Qi, Love and Tanner [5]. Therefore, the correction term (h_1 = h_g + \Delta h_e) is important for practical calculations.

When the roller gap decreases, the relative deformation of dough increases. As a result, contact pressure and normal force also increase. However, this increase is not necessarily linear because dough is a nonlinear rheological material. Since dough exhibits viscosity, yield stress and relaxation behaviour, the strain rate also affects the process. Increasing roller speed improves productivity, but it may also increase viscous resistance and energy consumption.

Moisture content is another important technological factor. As moisture increases, dough becomes softer, and its elastic modulus and resistance to deformation decrease. However, excessive moisture may cause sticking to roller surfaces, unstable outlet thickness and surface defects. Therefore, moisture content, roller speed and roller gap should be optimized together.

The coefficient of friction has a dual effect. On the one hand, sufficient friction is necessary to draw dough into the roller gap. On the other hand, excessive friction may increase tangential stresses in the upper and lower layers of dough, leading to cracks and non-uniform deformation. In industrial practice, friction is controlled by roller surface material, surface roughness, flour dusting and dough surface moisture.

The practical significance of the model is that it reduces excessive dependence on empirical operator experience. If (E), (\eta), (\sigma_y) and (k_e) are experimentally determined for a specific dough formulation, then the required roller gap and roller speed can be calculated in advance to obtain a desired final thickness. This can help reduce energy consumption, stabilize product thickness and decrease the amount of defective products.

Practical Recommendations

1. The roller gap should be set smaller than the desired final dough thickness because dough undergoes elastic recovery after sheeting.
2. The elastic recovery coefficient should be determined separately for each dough formulation.
3. Model accuracy increases if not only outlet thickness but also roller force and torque are measured.
4. Excessively smooth rollers may increase slip, while excessively rough rollers may cause surface cracks.
5. Moisture content, roller speed and gap should be optimized together.

ISSN 3030-3907

6. For industrial application, the model parameters should be calibrated using real laboratory measurements.

7. For laminated dough and confectionery dough, additional factors such as fat content, sugar content and layer structure should be included in future models.

Scientific Novelty

The scientific novelty of the study lies in the representation of the dough sheeting process as a unified engineering model combining contact mechanics, viscoelastic recovery and frictional interaction. The model relates contact length, elastic recovery coefficient, strain rate, yield stress and friction coefficient to outlet thickness and sheeting force. This approach makes it possible to predict the main technological parameters of dough sheeting not only empirically, but also through engineering calculation.

CONCLUSION.

Dough sheeting is an important mechanical and technological operation that determines the quality of bakery, confectionery and flour-based products. In this study, the sheeting process was analysed from the viewpoint of contact mechanics, and dough was considered as an elastic-viscous-plastic medium. Mathematical relationships were proposed for calculating contact length, relative deformation, elastic recovery, average contact pressure, normal sheeting force, friction force and rolling torque.

The literature analysis showed that real studies by R.J. Love, F. Qi, R.I. Tanner, E. Mitsoulis, S.G. Hatzikiriakos, S. Chakrabarti-Bell, K.J. Chen and other researchers confirm the necessity of considering dough sheeting as a nonlinear rheological and contact-mechanical process. For experimental verification, roller force, outlet thickness, torque and surface defects were identified as the main measurement criteria.

The developed model can be used for adjusting dough sheeting equipment, stabilizing thickness, reducing energy consumption, preventing surface defects and improving digital quality control in bakery and confectionery production. In future research, the model should be experimentally calibrated for different flour types, high-fat confectionery dough, laminated dough and gluten-free dough systems.

REFERENCES

1. Johnson K.L. *Contact Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.

2. Timoshenko S.P., Goodier J.N. *Theory of Elasticity*. New York: McGraw-Hill, 1970.

3. Steffe J.F. *Rheological Methods in Food Process Engineering*. 2nd ed. Freeman Press, 1996.

ISSN 3030-3907

4. Love R.J. *Mathematical Modelling of Bread Dough Sheeting*. PhD thesis. Massey University, 2003. URL: https://mro.massey.ac.nz/items/9c72f52d-a828-4e0a-85f9-447d026e1240
5. Qi F., Dai S.C., Newberry M.P., Love R.J., Tanner R.I. A simple approach to predicting dough sheeting thickness. *Journal of Cereal Science*. 2008;47(3):489–495. DOI: 10.1016/j.jcs.2007.06.013.
6. Mitsoulis E., Hatzikiriakos S.G. Rolling of bread dough: Experiments and simulations. *Food and Bioproducts Processing*. 2009;87(2):124–138. DOI: 10.1016/j.fbp.2008.07.001.
7. Chakrabarti-Bell S., Wang S., Patel M.J., Dhanasekharan K.M. Computational modeling of dough sheeting and physical interpretation of the non-linear rheological behavior of wheat flour dough. *Journal of Food Engineering*. 2010;100(2):278–286. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2010.04.009.
8. Albasir M.O.S., Alyassin M., Campbell G.M. Development of Bread Dough by Sheeting: Effects of Sheeting Regime, Bran Level and Bran Particle Size. *Foods*. 2022;11(15):2333. DOI: 10.3390/foods11152333.
9. Chen K.J., Zhang R., Stannard C., et al. Mechanical characterisation and modelling of the rolling process of potato-based dough. *Journal of Food Engineering*. 2020;279:109942. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2020.109942.
10. Dobraszczyk B.J., Morgenstern M.P. Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Science*. 2003;38(3):229–245.
11. Bloksma A.H., Bushuk W. Rheology and chemistry of dough. In: *Wheat: Chemistry and Technology*. AACC International.
12. Bourne M.C. *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. Academic Press, 2002.
13. Rao M.A. *Rheology of Fluid and Semisolid Foods: Principles and Applications*. Springer, 2014.
14. GOST 27839-2013. Wheat flour. Methods for determining quantity and quality of gluten.
15. GOST 26574-2017. Wheat flour. Technical specifications.
16. FAO. Agricultural production statistics 2010–2023. 2024. URL: https://www.fao.org/statistics/highlights-archive/highlights-detail/agricultural-production-statistics-2010-2023/en
17. USDA FAS. Production — Wheat. 2025. URL: https://www.fas.usda.gov/data/production/0410000
18. FAO GIEWS. Country Brief: Uzbekistan. 2025. URL: https://www.fao.org/giews/countrybrief/country.jsp?code=UZB
19. Statistics Agency under the President of the Republic of Uzbekistan. Volume of grain and leguminous crops produced in the republic. 2025. URL:

ISSN 3030-3907

https://stat.uz/en/press-center/news-of-committee/60637-respublikada-yetishtirilgan-don-va-dukkakli-don-ekinlari-hajmi-3
20. Universum. Requirements for article formatting. URL: https://7universum.com/ru/tech/trebovaniya-k-oformleniyu-stati

ISSN 3030-3907

O‘RTA ASRLARDA AYOLLARNING IJTIMOIY HUQUQIY MAVQYI, MIF VA HAQIQAT

G.SH.Tosheva
Toshkent kimyo-texnologiya instituti Ijtimoiy siyosiy fanlar kafedrasi katta o‘qtuvchisi
E-mail: toshevaguzal05@gmail.com
X.X.Boyqobilov
Toshkent kimyo texnologiya institute Sanoat muhandisligi va menejment fakulteti 22-65MK talabasi

Annotatsiya. Ushbu maqolada XIV asrdan XVI asrgacha bo‘lgan Temuriylar davrida O‘rta Osiyo ayollarining ijtimoiy va huquqiy ahvoli o‘rganiladi. Tadqiqot vaqf hujjatlari, qozixona materiallari va o‘sha davr adabiy manbalariga tayanadi. Maqolada ayollarning mulkiy huquqlari, ijtimoiy faolligi va madaniy hayotdagi ishtiroki tahlil qilinadi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, Temuriylar davri ayollari an'anaviy tasavvurlardan farqli ravishda ijtimoiy hayotda ancha faol bo‘lgan.

Kalit so‘zlar: ayollar tarixi, Temuriylar davri, vaqf hujjatlari, ijtimoiy mavqe, huquqiy holat, O‘rta Osiyo, gender tarixi.

Аннотация. В данной статье рассматривается социальное и правовое положение женщин Средней Азии в эпоху Тимуридов с XIV по XVI век. Исследование опирается на вакфные документы, материалы казийских судов и литературные источники того времени. Полученные результаты свидетельствуют о том, что женщины эпохи Тимуридов играли более активную роль в общественной жизни, чем это принято считать.

Ключевые слова: история женщин, эпоха Тимуридов, вакфные документы, социальный статус, правовое положение, Средняя Азия.

Annotation. This article examines the social and legal status of women in Central Asia during the Timurid period from the 14th to the 16th century. The research draws on waqf documents, qazi court records and literary sources of the time. The findings indicate that Timurid era women were considerably more active in social life than is conventionally assumed.

Keywords: women's history, Timurid era, waqf documents, social status, legal position, Central Asia, gender history.

KIRISH.

O‘rta asrlar tarixini o‘rganayotgan har qanday kishi bir savol bilan duch keladi. O‘sha davrda ayollar qanday yashagan? Ko‘pchilik bu savolga juda qisqa va bir tomonlama javob beradi. Bu javob odatda parda, cheklov va izolyatsiya kabi tushunchalar atrofida aylanadi. Ammo tarix hech qachon bu qadar sodda

ISSN 3030-3907

bo‘lmaydi. Haqiqiy manbalar, ya'ni qonuniy hujjatlar, sud qarorlari va adabiy asarlar diqqat bilan o‘rganilsa, ancha murakkab va boy manzara namoyon bo‘ladi.

Temuriylar davri O‘rta Osiyo tarixining eng ravnaq topgan bosqichlaridan biri sifatida tan olingan. Bu davrda Samarqand va Hirot shaharlari ilm va san'atning yirik markazlariga aylangan. Shoir va olimlar saroyda izzat topgan, katta qurilish ishlari amalga oshirilgan. Biroq bu taraqqiyotda ayollarning o‘rni tarix kitoblarida ko‘pincha e'tibordan chetda qolgan. Holbuki aynan shu davrda bir qancha ayollar siyosat, madaniyat va iqtisodiy hayotda sezilarli faollik ko‘rsatgan.

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi mavjud bir yoqlama tasvirlarni birlamchi manbalarga asoslanib qayta ko‘rib chiqishdan iborat. Maqolada na bo‘rttirib ko‘rsatish, na kamsitish maqsad qilinmagan. Aksincha haqiqiy tarixiy manzarani imkon qadar to‘liq va ob'ektiv tarzda yoritish ko‘zlangan. Buning uchun vaqf hujjatlari, qozixona materiallari, safarnomalar va adabiy asarlardan manba sifatida foydalanilgan.

Mavzuning dolzarbligi shundaki bugungi O‘zbekistonda gender tarixi yo‘nalishi endigina rivojlanib kelmoqda. Ko‘plab arxiv materiallari hali to‘liq o‘rganilmagan. Shu sababli har bir yangi tadqiqot bu sohadagi bilimlarimizni sezilarli darajada boyitishi mumkin. Ushbu maqola ana shu yo‘nalishdagi zarur bir qadam bo‘lishiga umid qilinadi.

Temuriylar davrida O‘rta Osiyoda islom huquqi asosiy me'yoriy tizim sifatida faoliyat yuritgan. Mazkur tizim rasmiy jihatdan ayolga mulk egasi bo‘lish, meros olish, savdo bitimlarini tuzish va sud muassasalariga murojaat qilish huquqini bergan. Biroq real hayotda bu huquqlardan foydalanish darajasi ijtimoiy sinfga, shaharga va hatto mahallaga qarab sezilarli farq qilgan.

Buxoro va Samarqanddan bugungi kungacha saqlanib qolgan qozixona hujjatlari bu jihatdan juda qimmatli manba hisoblanadi. Ushbu hujjatlarni o‘rganish shuni ko‘rsatadiki ayollar faol ravishda mulkiy bitimlar tuzgan. Ular uy joy sotib olgan, do‘konlar ochgan, qarz bergan va olingan qarzlarni undirish uchun sudga murojaat qilgan. Bundan ham muhimi ba'zi ayollarning erlarini qozixonaga shikoyat qilgani ham hujjatlashtirilgan. Bu esa ayollarning huquqiy himoyadan butunlay mahrum bo‘lgan degan tasavvurni inkor etadi.

Vaqf muassasasi ayollar huquqiy faolligining yana bir yorqin namunasidir. Vaqf diniy yoki ijtimoiy maqsadlar uchun ajratilgan mulk bo‘lib, uni ta'sis etgan shaxs ma'lum huquq va mas'uliyatlarga ega bo‘lgan. Ko‘plab ayollar, jumladan o‘rta tabaqadan chiqqanlar ham vaqf ta'sis etgan. Bu ular nafaqat mulkka ega bo‘lganini, balki uni erkin tasarruf etish imkoniyatiga ham ega ekanini ko‘rsatadi.

Temuriylar saroyi tarixida bir qancha ayollar haqiqatan ham katta ta'sir o‘tkazgan. Ularning faoliyati faqat shaxsiy hayot doirasida emas, balki siyosat va

ISSN 3030-3907

madaniyat sohasida ham namoyon bo‘lgan. Gavharshodbegim bu jihatdan eng yorqin namuna hisoblanadi. Shohruh Mirzoning turmush o‘rtog‘i bo‘lgan bu ayol o‘z davrida me'morlik loyihalarini moliyalashtirgan, olimlar va shoirlarni qo‘llab quvvatlagan hamda bir qator muhim siyosiy masalalarda faol ishtirok etgan. Hirotdagi bir necha yirik imorat aynan uning tashabbusi bilan qurilgan.

Xurosonlik Mehrnigorbegim ham alohida diqqatga sazovor shaxslardan biri hisoblanadi. U o‘z davrida chuqur ta'lim olgan va saroyda bo‘lib o‘tgan ilmiy munozaralarda qatnashgan ayol sifatida tarixda o‘z izini qoldirgan. Uning hayoti va faoliyati haqidagi ma'lumotlar o‘sha davr adabiy asarlarida saqlanib qolgan. Bu esa ayollarning intellektual hayotda ham ishtirok eta olganini isbotlaydi.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki bu taniqli ayollar atigi istisno emas edi. Ular mavjud ijtimoiy tizimning ichidan yetishib chiqqan shaxslar edi. Demak tizimning o‘zi ayollarning ma'lum darajada faollik ko‘rsatishiga imkon bergan. Aks holda bu ayollar tarixda o‘z izlarini qoldirishga qodir bo‘lmagan bo‘lardi.

Saroy ayollaridan farqli ravishda oddiy shahar va qishloq ayollarining kundalik hayoti ancha boshqacha kechgan. Biroq bu hayot ham butunlay passiv yoki yopiq emas edi. Shahar bozorlarida ayollar faol qatnashgan. Ular ba'zan o‘zlari savdo qilgan, ba'zan esa oila uchun zarur narsalarni xarid qilgan. Bozor muhiti ularga boshqalar bilan erkin muloqot qilish imkonini bergan.

Hammom madaniyati ham ayollar hayotida muhim o‘rin tutgan. Hammomlar faqat tana tozaligiga xizmat qilmagan. Ular ayollar uchun ijtimoiy uchrashuv va muloqot joyi vazifasini ham bajargan. Bu yerda yangiliklar tarqalgan, to‘y va aza marosimlari muhokama qilingan va hatto nikoh masalalari hal etilgan. Shu ma'noda hammom o‘sha davrning ayollar uchun asosiy ijtimoiy maydoni edi.

Qishloq ayollari esa qishloq xo‘jaligi ishlarida to‘liq qatnashgan. Paxta terish, ipak qurti boqish, gilamchilik va boshqa hunarmandchilik turlari ularning asosiy mashg‘uloti bo‘lgan. Bu mehnat oila va jamiyat uchun iqtisodiy jihatdan juda muhim bo‘lgan. Biroq bu hissaning tarixiy manbalarda yetarlicha qayd etilmagani haqiqat, chunki rasmiy yozuvlar asosan elita tabaqasiga e'tibor qaratgan.

Rasmiy madrasalar asosan erkaklarga mo‘ljallangan edi. Bu haqiqat. Ammo bu ayollarning ta'limdan butunlay baxtsiz qolganini bildirmaydi. Boy va ziyoli oilalarda qizlarga uy sharoitida ta'lim berilgan. Qur'on o‘qish, arab va fors tillari, she'riyat hamda tarix bilimi bunday oilalarda qizlar uchun ham zarur hisoblangan. Ayrim ma'lumotlarga ko‘ra ba'zi ayollar boshqa ayollar va bolalarga Qur'on o‘qituvchisi sifatida dars bergan.

Temuriylar davrida bir nechta ayol shoirlar yashab ijod etgan. Ularning she'rlari fors va o‘zbek adabiyotida bugungi kungacha saqlanib qolgan. Bu

ISSN 3030-3907

ijodkor ayollar o‘z zamonasida tan olingan va saroyda izzat topgan. Hatto ba'zilari hukmdorlar va amirlar bilan adabiy muloqotda bo‘lgan. Bu dalil ayollarning nafaqat uy ichida, balki jamiyatning madaniy va intellektual hayotida ham qatnashganini isbotlaydi.

Musiqa va san'at sohasida ham ayollar ishtiroki mavjud bo‘lgan. Saroy ziyofatlari va rasmiy marosimlarda ayol hofizalar va raqqosalar qatnashgan. Bu guruh ayollar maxsus ta'lim olgan va o‘z sohalari bo‘yicha yuqori darajada malakali bo‘lgan. Ijtimoiy maqomda ular boshqa ayollardan farq qilgan bo‘lsa ham jamiyat hayotida ko‘zga ko‘ringan o‘rin egallagan.

So‘nggi o‘n yilliklarda O‘zbekiston va xorijiy olimlar Temuriylar davri ayollari tarixini qaytadan ko‘rib chiqishga kirishgan. Toshkent, Samarqand va Buxoro arxivlarida yangi hujjatlar topilmoqda va ularning ilmiy tahlili davom etmoqda. Ayniqsa vaqf hujjatlarini tizimli o‘rganish bu borada katta natijalar bermoqda.

Xalqaro tadqiqotchilar ham bu mavzuga katta qiziqish bildirmoqda. Maria Eva Subtelny, Beatrice Forbes Manz va boshqa xorijiy tarixchilarning ishlari O‘rta Osiyo ayollari tarixini yangi nuqtai nazardan yoritgan. Bu xalqaro ilmiy hamkorlik mavzuning yanada chuqurroq o‘rganilishiga yo‘l ochmoqda.

Shunga qaramasdan hali ko‘plab savollar javobsiz turibdi. Arxivlarning bir qismi hali ham to‘liq o‘rganilmagan. Ba'zi hujjatlar yaxshi saqlanmagan yoki tarjima qilinishini kutmoqda. Shu sababli bu sohadagi tadqiqotlar keyingi yillarda ham dolzarb bo‘lib qolishi shubhasiz.

Temuriylar davri ayollari haqidagi an'anaviy tasavvur ko‘p jihatdan to‘liq emas. Haqiqiy tarixiy manbalar ular haqida ancha rang barang manzarani namoyon etadi. Bu davrda ayollar huquqiy, iqtisodiy va madaniy hayotda faol qatnashgan. Ularning ishtiroki har doim ham erkaklar bilan teng darajada bo‘lmagan, ammo u mavjud bo‘lgan va tarixiy ahamiyatini yo‘qotmagan.

Temuriylar davri ayollar tarixini to‘liq anglash uchun yanada ko‘proq birlamchi manbalarga murojaat qilish zarur. Vaqf hujjatlari, qozixona materiallari va adabiy asarlar bu borada boy ma'lumot berishi mumkin. Kelgusida ushbu manbalar asosida olib boriladigan tadqiqotlar O‘rta Osiyo ayollari tarixining yanada aniqroq va to‘liqroq tasvirini yaratishga imkon beradi.

Bu mavzuni o‘rganish nafaqat tarixiy bilimlarimizni boyitadi. U ayni chog‘da bugungi O‘zbekiston jamiyatida gender munosabatlarini tushunishga ham o‘ziga xos asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin. Zero tarix shunchaki o‘tgan kunlar haqida emas, balki bugungi kunimizni shakllantiradigan ko‘zgudek hamdir.

ISSN 3030-3907

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Subtelny M.E. Timurids in Transition: Turko-Persian Politics and Acculturation in Medieval Iran. Leiden: Brill, 2007. 376 p.
2. Manz B.F. Power, Politics and Religion in Timurid Iran. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 312 p.
3. Pugachenkova G.A. Iskusstvo Afganistana. Moskva: Iskusstvo, 1963. 248 b.
4. Bartold V.V. Ulugbek i yego vremya. Sankt Peterburg: Nauka, 1918. 196 b.
5. Azimov I.M. Temuriylar davri madaniyati. Toshkent: Fan, 2015. 284 b.
6. Saidov A.X. O‘rta Osiyo huquq tarixi. Toshkent: Adolat, 2008. 320 b.
7. Gross J.A. Muslims in Central Asia: Expressions of Identity and Change. Durham: Duke University Press, 1992. 264 p.
8. Levin T. The Hundred Thousand Fools of God: Musical Travels in Central Asia. Indiana University Press, 1996. 302 p.
9. Rahimov M.R. Temuriylar davri ijtimoiy hayoti. Toshkent: O‘qituvchi, 2011. 256 b.
10. Yunusova M.A. O‘zbek ayollari tarixi. Toshkent: Sharq, 2017. 312 b.
11. Khazanov A.M. Nomads and the Outside World. Cambridge: Cambridge University Press, 1984. 328 p.
12. Soucek S. A History of Inner Asia. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 359 p.

ISSN 3030-3907

DISKLI ISHCHI ORGANLAR ORASIDAGI BO‘YLAMA MASOFANING OPTIMAL QIYMATINI ANIQLASHNING MATEMATIK MODELI

Safarov Azamat Azimovich
Qarshi davlat texnika universiteti, O‘zbekiston. Tayanch doktarant
E-mail: azamatsafarov00@gmail.com.
ORCID0000-1234-5678-9101
Ravshanov Nasimbek Qodir o‘g‘li
Qarshi davlat texnika universiteti, tayanch doktarant
E-mail: nasimbekravshanov@gmail.com
ORCID 0009-0009-2102-2376
Qurbonova Shabnam Istalali qizi
Qarshi davlat texnika universiteti, magistirant.
E-mail: sh.kurbanova9227@mail.ru
Tovashov Rustam Xo‘jaxmat o‘g‘li
Qarshi davlat texnika universiteti, Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent
E-mail: rmaxamov@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7266-7387
Irgashev Dilmurod Begmurodovich
Qarshi davlat texnika universiteti, Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent,
E-mail: d.b.irgashev1227@mail.ru
ORCID 0009-0007-5541-7814

Annotatsiya. Mazkur maqolada pushta hosil qilish jarayonida ramaga o‘rnatilgan diskli ishchi organlar orasidagi bo‘ylama masofaning agrotexnik va energetik ko‘rsatkichlarga ta’siri nazariy va eksperimental jihatdan o‘rganilgan. Tadqiqotda disk–tuproq o‘zaro ta’siri asosida tortish qarshiligi, energiya sarfi va pushta shakllanish sifati tahlil qilindi. Tenzometrik o‘lchovlar va matematik-statistik usullar yordamida olingan natijalar disklar orasidagi bo‘ylama masofa agregat ish samaradorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishini tasdiqladi. Optimal bo‘ylama masofani tanlash orqali energiya tejamkorlikni oshirish va agrotexnik sifatni yaxshilash mumkinligi aniqlandi.

Kalit so‘zlar: diskli ishchi organ, bo‘ylama masofa, pushta hosil qilish, tortish qarshiligi, energiya sarfi, tuproq mexanikasi, optimallashtirish.

Аннотация. В данной статье исследуется влияние продольного расстояния между дисковыми рабочими органами, установленными на раме, на агротехнические и энергетические показатели процесса формирования гребней. На основе теоретических и экспериментальных исследований

проведён анализ взаимодействия диск–почва, включая тяговое сопротивление, энергозатраты и качество формирования гребня. Полученные результаты, основанные на тензометрических измерениях и математико-статистической обработке данных, подтвердили значительное влияние продольного расстояния на эффективность агрегата. Установлено, что оптимальный выбор расстояния позволяет снизить энергозатраты и повысить агротехническое качество обработки почвы.

Ключевые слова: дисковый рабочий орган, продольное расстояние, формирование гребней, тяговое сопротивление, энергозатраты, механика почвы, оптимизация.

Abstract. This article investigates the influence of the longitudinal spacing between disk working units mounted on a frame on agro-technical and energy performance indicators during ridge formation. The study is based on theoretical and experimental analysis of disk–soil interaction, including draft resistance, energy consumption, and ridge formation quality. The obtained results, supported by strain gauge measurements and mathematical-statistical analysis, confirm that the longitudinal spacing significantly affects the efficiency of the arperate. It was found that proper optimization of spacing reduces energy consumption and improves soil processing quality.

Keywords: disk working unit, longitudinal spacing, ridge formation, draft resistance, energy consumption, soil mechanics, optimization.

KIRISH.

Qishloq xo‘jaligi ishlab chiqarishida tuproqqa sifatli ishlov berish yuqori hosildorlikka erishishning asosiy omillaridan biri hisoblanadi. Tuproqni optimal strukturaga keltirish, uni yumshatish va ekin ekish uchun qulay pushta hosil qilish jarayonlarida diskli ishchi organlar keng qo‘llaniladi. Diskli ishchi organlar konstruktiv soddaligi, yuqori unumdorligi va turli agroiqlim sharoitlarida barqaror ishlashi bilan ajralib turadi.

So‘nggi yillarda resurstejamkor texnologiyalarni ishlab chiqish, energiya sarfini kamaytirish hamda tuproq unumdorligini saqlab qolish dolzarb ilmiy-amaliy vazifalardan biri bo‘lib qolmoqda. Shu nuqtai nazardan, pushta hosil qiluvchi agregatlarning ishchi organlari parametrlarini optimallashtirish, ayniqsa disklar orasidagi bo‘ylama masofaning texnologik jarayonga ta’sirini o‘rganish muhim ahamiyat kasb etadi.

Disklar orasidagi bo‘ylama masofa tuproq oqimining shakllanishi, pushta geometriyasi, tortish qarshiligi hamda energiya sarfiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Noto‘g‘ri tanlangan masofa tuproqning to‘liq qayta taqsimlanmasligiga, pushta sifatining yomonlashishiga va energiya sarfining ortishiga olib keladi.

ISSN 3030-3907

Shu sababli ushbu tadqiqotning maqsadi — ramaga joylashtirilgan diskli ishchi organlar orasidagi bo‘ylama masofaning pushta hosil bo‘lish sifati va energetik ko‘rsatkichlarga ta’sirini nazariy va eksperimental

ADABIYOTLAR TAXLILI.

So‘nggi yigirma yil davomida diskli ishchi organlar yordamida tuproqqa ishlov berish va pushta hosil qilish jarayonlari bo‘yicha ko‘plab ilmiy tadqiqotlar olib borilgan. Ushbu yo‘nalishda disk–tuproq o‘zaro ta’siri, energetik ko‘rsatkichlar va ishchi organlarning geometrik parametrlarini optimallashtirish masalalari chuqur o‘rganilgan.

Zamonaviy tadqiqotlarda diskli ishchi organlarning tuproq bilan o‘zaro ta’siri asosan raqamli modellashtirish usullari asosida tahlil qilingan. Xususan, Xitoy va Yevropa olimlari Zhang, Chen va Lillar tomonidan olib borilgan ishlarda DEM (Discrete Element Method) asosida disk harakati davomida tuproq zarrachalarining siljishi va kontakt kuchlari o‘rganilgan. Ushbu tadqiqotlarda disk tezligi va geometrik parametrlar o‘zgarishi natijasida kontakt zonada kuchlarning notekis taqsimlanishi hamda energiya sarfining sezilarli o‘zgarishi aniqlangan.

Yevropa ilmiy maktabida aozlari Ibrahmi, Bentaher va Hamoudi tomonidan diskli ishchi organlarning 3D FEM modellashtirish asosida tahlili amalga oshirilgan bo‘lib, unda disk burchagi, qiyalik burchagi va ishlov chuqurligi agregatning tortish qarshiligi va tuproq deformatsiyasiga bevosita ta’sir qilishi ko‘rsatib berilgan. Ushbu tadqiqotlar natijasida geometrik parametrlar energiya sarfining asosiy aniqlovchi omillari ekanligi asoslangan.

AQSh agrar muhandislik tadqiqotlarida ASABE standartlari asosida, Smith va Johnsonlar diskli ishchi organlarning energetik modellari ishlab chiqilgan bo‘lib, ularda ishlov chuqurligi, tezlik va disk diametri asosiy omillar sifatida qaralgan. Biroq ushbu ishlarda disklar orasidagi fazoviy joylashuv, xususan bo‘ylama masofa to‘liq hisobga olinmaganligi qayd etilgan.

Turkiya va Hindiston olimlari Singh, Kumar va Patellar tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda pushta hosil qilish jarayonida disklar orasidagi bo‘ylama masofa muhim rol o‘ynashi aniqlangan. Ushbu ishlarda disklar orasidagi masofa kichik bo‘lganda tuproq oqimlarining interferensiyasi yuzaga kelishi, katta bo‘lganda esa pushta shakllanishining to‘liq shakllanmasligi qayd etilgan. Ular tomonidan optimal masofa disk diametrining 0.6–1.0 qismi oralig‘ida bo‘lishi mumkinligi taklif etilgan.

MDH ilmiy maktabida Klenin, Sibiryov, Panov kabi olimlar tomonidan diskli ishchi organlarning energetik samaradorligi va geometrik parametrlarini optimallashtirish bo‘yicha tadqiqotlar olib borilgan. Ushbu ishlarda asosan disk burchagi, ishlov chuqurligi va agregatning umumiy qarshilik kuchi tahlil qilingan

ISSN 3030-3907

bo‘lib, bo‘ylama masofa masalasi yetarli darajada chuqur o‘rganilmaganligi qayd etilgan.

Umuman olganda, zamonaviy ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, diskli ishchi organlar bo‘yicha ko‘plab nazariy va eksperimental tadqiqotlar mavjud bo‘lsa-da, pushta hosil qilish jarayonida disklar orasidagi bo‘ylama masofaning agrotexnik sifat va energiya sarfiga kompleks ta’siri to‘liq o‘rganilmagan. Shu sababli ushbu yo‘nalish hozirgi kunda ham dolzarb ilmiy muammo bo‘lib qolmoqda.

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Ushbu tadqiqotda ramaga o‘rnatilgan diskli ishchi organlar yordamida pushta hosil qilish jarayonida disklar orasidagi bo‘ylama masofaning agrotexnik va energetik ko‘rsatkichlarga ta’sirini aniqlash bo‘yicha nazariy va eksperimental usullar qo‘llanildi.

Tadqiqotning nazariy asosida disk–tuproq o‘zaro ta’siri deformatsiyalanuvchi muhit mexanikasi qonuniyatlariga tayangan holda ko‘rib chiqildi. Disk harakati davomida tuproqning kesilishi, siqilishi va yon tomonga siljishi natijasida hosil bo‘ladigan qarshilik kuchlari komponentlarga ajratilib, umumiy tortish qarshiligi matematik ifoda shaklida modellashtirildi.

Eksperimental tadqiqotlar dala sharoitida maxsus tayyorlangan pushta hosil qiluvchi agregatda amalga oshirildi. Agregat ramasiga bir nechta diskli ishchi organlar ketma-ket o‘rnatilib, ular orasidagi bo‘ylama masofa o‘zgartiriladigan konstruksiyada loyihalashtirildi. Tajribalar davomida bo‘ylama masofa L turli qiymatlarda o‘zgartirilib, uning pushta hosil bo‘lish sifati va agregatning tortish qarshiligiga ta’siri o‘rganildi.

Tadqiqotlarda quyidagi boshqariluvchi omillar qabul qilindi: disklar orasidagi bo‘ylama masofa *(L),* ishlov chuqurligi *(h),* harakat tezligi (v) va diskning hujum burchagi *(α).* Natijaviy ko‘rsatkichlar sifatida tortish qarshiligi *(R),* energiya sarfi *(N)* hamda pushta geometrik parametrlari balandlik, kenglik va simmetriya o‘qi bo‘yicha baholandi.

Kuchlarni o‘lchash uchun tenzometrik o‘lchov tizimi qo‘llanildi. Gorizontal va vertikal yo‘nalishdagi qarshilik kuchlari elektron datchiklar yordamida qayd etilib, ma’lumotlar avtomatik ravishda raqamli yozib olish tizimiga uzatildi.

Olingan tajriba natijalari matematik-statistik usullar asosida qayta ishlanib, regressiya va dispersiya tahlillari amalga oshirildi. Ko‘p omilli regressiya modeli yordamida disklar orasidagi bo‘ylama masofa va boshqa parametrlarning tortish qarshiligi hamda energiya sarfiga bog‘liqligi aniqlanib, model adekvatligi Fisher kriteriyasi orqali baholandi.

ISSN 3030-3907

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi tajribalarni kamida uch martadan takrorlash va o‘rtacha qiymatlarni olish orqali ta’minlandi. Olingan natijalar nazariy model bilan solishtirilib, ularning moslik darajasi baholandi. Umuman olganda, qo‘llanilgan metodologiya diskli ishchi organlar orasidagi bo‘ylama masofaning pushta hosil qilish jarayoniga ta’sirini kompleks baholash va optimal konstruktiv parametrlarni aniqlash imkonini berdi.

NATIJA.

Diskli ishchi organ tuproq bilan o‘zaro ta’sirda bo‘lganda, tuproq deformatsiyalanadi, siqiladi va yon tomonga siljiydi. Ushbu jarayon natijasida disk yuzasiga quyidagi kuchlar ta’sir qiladi:

Umumiy qarshilik kuchi:

$$R^2=Rx^2+Ry^2+Rz^2 \qquad (1)$$

bu yerda; gorizontal qarshilik kuchi R_x

vertikal kuch R_z

urinma kuch R_y

Diskli ishchi organga gorizontal o‘q bo‘yicha hosil bo‘ladigan tuproqning solishtirma qarshiligi, ishlov chuqurligi va disk qamrov kengligi asosida hosil bo ‘ladi va u quydagi izohlanadi

$$R_x=k\cdot b\cdot h\cdot \sin\alpha \qquad (2)$$

bu yerda: k — tuproqning solishtirma qarshiligi, N/m²

b — disk qamrov kengligi, cm

h — ishlov chuqurligi, cm

α — hujum burchagi, °.

Diskli ishchi organ bilan tuproqqa ishlov berish vaqtida diskning qiyalik burchagi tufayli hosil bo‘ladigan kuch:

$$R_z=R_x\tan\beta \qquad (3)$$

yoki to‘liq ko‘rinishda:

$$R_z=kbh\sin\alpha\tan\beta \qquad (4)$$

Diskning vertik tik tekislikga nisbatan qiya joylashishi uning sirti bo ‘ylab urinma kuchni hosil qiladi va quydagicha ifodalandi:

$$R_y=R_x\sin\beta \qquad (5)$$

Disk va tuproq orasidagi ta’sir yuzasida hozil bo ‘ladigan normal kuch quydagicha aniqlandi:

$$N=p\cdot S \qquad (6)$$

bu yerda: p — o‘rtacha bosim

S — disklning tuproq bilan doimo ta’sirlashayotgan yuzasi

Disklning tuproq bilan doimo ta’sirlashayotgan yuzasi:

$$S=b\cdot l \qquad (7)$$

l— diskning tuproq bilan kontakt uzunligi

ISSN 3030-3907

$$F=f\cdot N \qquad (8)$$

yoki:

$$F=f\cdot p\cdot S \qquad (9)$$

Diskning to‘liq tortish qarshiligi diskli ishchi organ harakati davomida tuproq tomonidan unga ta’sir etuvchi barcha qarshilik kuchlarining yig‘indisidan hosil bo‘ladi. Ushbu qarshilik tarkibiga diskning tuproqqa botishiga qarshilik, tuproq qatlamini kesish va maydalashga sarflanadigan qarshilik, tuproq massasini yon tomonga surish qarshiligi hamda disk sirti bilan tuproq orasidagi ishqalanish kuchlari kiradi. Diskning ishlov berish chuqurligi ortishi bilan deformatsiyalanayotgan tuproq hajmi ko‘payadi va natijada to‘liq tortish qarshiligi ham oshadi. Shuningdek, disk diametri, o‘rnatilish burchagi, harakat tezligi hamda tuproqning namligi va qattiqligi qarshilik kuchining qiymatiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi.

To‘liq tortish qarshiligi diskli ishchi organning energetik ko‘rsatkichlarini belgilovchi asosiy mezonlardan biri hisoblanadi. Qarshilik kuchining ortishi agregat tomonidan sarflanadigan tortish quvvati va yoqilg‘i sarfini ko‘paytiradi. Shu sababli disk parametrlarini maqbullashtirish orqali to‘liq tortish qarshiligini kamaytirish va energiya tejamkorligini oshirish muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega. Optimal ish rejimlarida disk tuproqni sifatli yumshatgan holda minimal tortish qarshiligini hosil qiladi, bu esa agregatning unumdorligi va iqtisodiy samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Diskning to‘liq tortish qarshiligi modeli

Barcha kuchlarni hisobga olib:

$$R = kbh \sin a \cdot \sqrt{1 + tan^2\beta + sin^2\beta} \qquad (10)$$

yoki soddalashtirilgan ko‘rinish

$$R = kbh \sin a \cdot \phi(\beta) \qquad (11)$$

bu yerda

$$\phi(\beta) = \sqrt{1 + tan^2\beta + sin^2\beta} \qquad (12)$$

Diskli ishchi organlarning energiya sarfi tuproqqa ishlov berish jarayonida qarshilik kuchlarini yengish uchun sarflanadigan quvvat miqdori bilan tavsiflanadi. Energiya sarfi asosan tuproqning fizik-mexanik xossalari, ishlov berish chuqurligi, harakat tezligi hamda disklarning geometrik parametrlariga bog‘liq. Tuproqning qattiqligi va namligi ortishi bilan diskning tuproqqa kirib borishi qiyinlashadi, natijada tortish qarshiligi va energiya sarfi oshadi. Shuningdek, ishlov berish chuqurligi va qamrash kengligining ortishi tuproqning ko‘proq hajmini deformatsiyalashni talab etadi, bu esa qo‘shimcha energiya sarfiga olib keladi.

ISSN 3030-3907

Disklarning diametri, o‘rnatilish burchagi va o‘zaro joylashish masofalari ham energiya sarfiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Parametrlarning maqbul tanlanishi tuproqning sifatli yumshatilishini ta’minlagan holda tortish qarshiligini kamaytiradi va energiya tejamkorligini oshiradi. Aksincha, parametrlarning nomuvofiq qiymatlarida tuproqning ortiqcha deformatsiyalanishi yuzaga kelib, energiya sarfi ortadi. Shu sababli diskli ishchi organlarni loyihalashda energiya sarfini minimallashtirish va texnologik jarayon sifatini saqlab qolish asosiy vazifalardan biri hisoblanadi. Energiya sarfining kamayishi agregatning unumdorligini oshiradi, yoqilg‘i sarfini kamaytiradi hamda qishloq xo‘jaligi ishlarining iqtisodiy samaradorligini yaxshilaydi.

Agregatning tortish quvvati:

$$N=R\cdot v \qquad (13)$$

bu yerda: v — harakat tezligi; m/s

Yoqilg‘i sarfi bilan bog‘liqlik:

$$G_f=N\eta \qquad (14)$$

η — mexanik foydali ish koeffitsienti;

Disklar orasidagi bo‘ylama masofa diskli ishchi organning texnologik va energetik ko‘rsatkichlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Bo‘ylama masofa kichik bo‘lganda oldingi disk tomonidan deformatsiyalangan tuproq qatlamiga keyingi disk qayta ta’sir qiladi. Natijada tuproqning qo‘shimcha zichlanishi va siljishi yuz berib, tortish qarshiligi ortadi hamda energiya sarfi ko‘payadi. Bo‘ylama masofa ortishi bilan disklarning ish zonalari o‘zaro kamroq ta’sirlashadi, tuproqning erkin ko‘chishi uchun qulay sharoit yaratiladi va qarshilik kuchi kamayadi. Biroq bo‘ylama masofa haddan tashqari katta bo‘lganda agregatning konstruktiv uzunligi ortib ketadi, ishchi organlarning joylashuvi samarasizlashadi va texnologik jarayonning uzluksizligi pasayishi mumkin. Shu sababli disklar orasidagi bo‘ylama masofaning ta’siri optimal qiymat mavjudligi bilan tavsiflanadi. Ushbu optimal qiymatda tuproqning sifatli yumshatilishi ta’minlanib, tortish qarshiligi va energiya sarfi minimal darajaga tushadi hamda ishchi organning umumiy samaradorligi ortadi. Nazariy va eksperimental tadqiqotlar bo‘ylama masofa disklarning o‘zaro ta’sir darajasini belgilovchi muhim parametr ekanligini ko‘rsatadi. Natijada mazkur parametrni maqbullashtirish orqali agregatning energetik va texnologik ko‘rsatkichlarini yaxshilash mumkin. Bo‘ylama masofa tuproq oqimining to‘liq shakllanishiga ta’sir qiladi.

Tuproq oqimi yopilish sharti:

$$L\geq L_{cr} \qquad (15)$$

kritik masofa:

$$L_{cr}=v\cdot t \qquad (16)$$

ISSN 3030-3907

bu yerda:

t — tuproq zarrachasining qayta joylashish vaqti; s.

Diskning tuproqqa qarshilik kuchi bo‘ylama masofa ortishi bilan ma’lum qonuniyat asosida o‘zgaradi. Bo‘ylama masofa kichik bo‘lganda diskning tuproq bilan o‘zaro ta’sir maydoni ham kichik bo‘lib, qarshilik kuchi nisbatan past qiymatga ega bo‘ladi. Masofa ortib borishi natijasida diskning tuproqqa botish va qamrash zonasi kengayadi, bu esa tuproq deformatsiyasi hamda siljiydigan massa hajmining ortishiga olib keladi. Natijada diskka ta’sir qiluvchi qarshilik kuchi ham ortadi. Biroq ma’lum bir qiymatdan keyin qarshilik kuchining o‘sish sur’ati kamayib, uning o‘zgarishi barqarorlashadi. Bu holat tuproqning fizik-mexanik xossalari va diskning geometrik parametrlariga bog‘liq ravishda yuzaga keladi. Shu sababli bo‘ylama masofaning optimal qiymatini tanlash tortish qarshiligini kamaytirish va ish jarayonining energiya samaradorligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

$$R=a_0+a_1L \qquad (17)$$

Kvadratik model:

$$R=a_0+a_1L+a_2L^2 \qquad (18)$$

Diskli ishchi organlar ta’sirida pushta hosil bo‘lish balandligi ko‘plab konstruktiv, texnologik va agrofizik omillarga bog‘liq bo‘ladi. Pushta balandligi modelini tuzishda quyidagi asosiy omillar hisobga olinadi

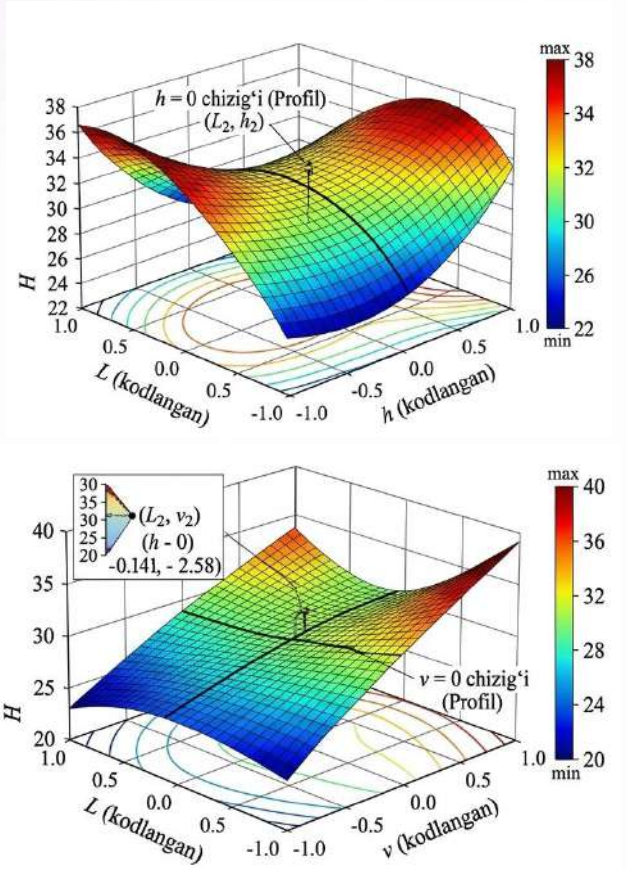
$$H=b_0+b_1L+b_2h+b_3v \qquad (19)$$

yoki to‘liq ko‘p omilli model:

$$H=a_0+a_1L+a_2h+a_3v+a_{12}Lh+a_{13}Lv+a_{23}hv \qquad (20)$$

Diskli ishchi organning energetik samaradorlik mezoni uning tuproqqa ishlov berish jarayonida sarflangan energiya miqdori bilan bajarilgan foydali ish o‘rtasidagi nisbat orqali baholanadi. Energetik samaradorlik yuqori bo‘lishi uchun disk tuproqni talab etilgan chuqurlik va sifatda yumshatishi, bunda tortish qarshiligi hamda energiya sarfi minimal bo‘lishi lozim. Ishchi organ parametrlarining maqbul tanlanishi natijasida tuproqning deformatsiyalanishi va ko‘chirilishi uchun sarflanadigan energiya kamayadi, bu esa agregatning umumiy energiya tejamkorligini oshiradi. Diskning diametri, o‘rnatilish burchagi, qamrash kengligi va ishlov berish chuqurligi energetik samaradorlikka sezilarli ta’sir ko‘rsatadi.

ISSN 3030-3907



1-rasm. Diskning ishlov berish chuqurligini tuproqning uloqtirish masofasi va toritishga qarshilik orasidagi bo‘glanish

Mazkur parametrlarning optimal qiymatlarida tortish qarshiligi kamayib, birlik hajmdagi tuproqqa sarflanadigan solishtirma energiya eng kichik qiymatga erishadi. Shuning uchun energetik samaradorlik mezoni diskli ishchi organning konstruktiv va texnologik parametrlarini asoslashda asosiy baholash ko‘rsatkichlaridan biri hisoblanadi.

$$\eta_e = Qish/N \qquad (21)$$

bu yerda:

Q_{ish} — agrotexnik foydali ish

N— energiya sarfi

MUHOKAMA.

O‘tkazilgan nazariy va eksperimental tadqiqotlar natijalari diskli ishchi organlar yordamida pushta hosil qilish jarayonida disklar orasidagi bo‘ylama masofaning agrotexnik va energetik ko‘rsatkichlarga sezilarli ta’sir ko‘rsatishini tasdiqladi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, diskli ishchi organlar tizimida diskli ishchi organlar orasidagi bo‘ylama masofa o‘zgarishi tuproq oqimining shakllanishi, uning qayta taqsimlanishi hamda pushta geometrik barqarorligiga bevosita ta’sir etadi.

Bo‘ylama masofa kichik qiymatlarda bo‘lganda disklar orasida hosil bo‘ladigan tuproq oqimlari o‘zaro interferensiyaga uchrashi kuzatildi. Buning

ISSN 3030-3907

natijasida tuproq zarrachalarining qayta siqilishi kuchayib, kontakt zonada ichki qarshilik ortadi va agregatning tortish qarshiligi oshadi. Ushbu holat energiya sarfining ortishi bilan birga ishchi organlarning samaradorligini pasaytiradi. Aksincha, bo‘ylama masofa ortib borishi bilan disklar orasidagi o‘zaro ta’sir kuchsizlanadi, tuproq oqimi esa to‘liq shakllanmasligi kuzatiladi. Bu holatda pushta hosil bo‘lish jarayonining uzluksizligi buzilib, agrotexnik sifat ko‘rsatkichlari, xususan pushta balandligi va simmetriyasi yomonlashadi. Demak,disli ishchi organlar orasidagi bo‘ylama masofaning haddan tashqari katta qiymati konsturuksiyaning og‘irlashib ketishiga va traktorning osmasiga ortiqcha inersiya mometni hosil qiladi bu ortiqcha yuklasnish sabab bo‘ladi.

Tadqiqot natijalari asosida aniqlangan eng muhim qonuniyatlardan biri shuki, disklar orasidagi bo‘ylama masofa pushta hosil bo‘lish jarayonida optimal qiymatga ega bo‘lib, ushbu qiymatda ham agrotexnik sifat, ham energetik samaradorlik muvozanatga erishadi. Optimal zona atrofida tortish qarshiligi minimal qiymatga ega bo‘lib, tuproq oqimi barqaror shakllanadi va pushta geometriyasi talab darajasida hosil bo‘ladi.

Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, diskli ishchi organlarning energetik ko‘rsatkichlariga faqat L emas, balki uning ishlov chuqurligi, harakat tezligi va hujum burchagi bilan o‘zaro ta’siri ham sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Xususan, diskli ishchi organlar orasidagi bo‘ylama masofa va uning ishlov berish chuqurligi o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlik sezilarni ortgan sari tuproqning deformatsiya zonasi kengayadi va qarshilik kuchlari ortadi. Shuningdek, tezlik oshishi dinamik qarshilikni kuchaytirib, optimal diskli ishchi organlar orasidagi bo‘ylama masofaning biroz siljishiga olib kelishi mumkin.

Eksperimental va nazariy natijalar o‘rtasidagi farqning kichikligi ishlab chiqilgan matematik modelning adekvatligini tasdiqlaydi. Bu esa disklar orasidagi bo‘ylama masofa va boshqa konstruktiv parametrlarni hisobga olgan holda tuzilgan regressiya modelidan amaliy loyihalashda foydalanish mumkinligini ko‘rsatadi.

Olingan natijalar shuni anglatadiki, pushta hosil qilish agregatlarida diskli ishchi organlar orasidagi bo‘ylama masofani ilmiy asosda tanlash energiya sarfini kamaytirish, agregatning barqaror ishlashini ta’minlash va agrotexnik sifatni oshirishda muhim omil hisoblanadi.

Umuman olganda, tadqiqot diskli ishchi organlar tizimida bo‘ylama masofa parametrining rolini aniq ko‘rsatib berdi hamda uni optimallashtirish orqali resurstejamkor va yuqori samarali pushta hosil qilish texnologiyalarini yaratish mumkinligini tasdiqladi.

XULOSA. Ushbu tadqiqotda ramaga o‘rnatilgan diskli ishchi organlar yordamida pushta hosil qilish jarayonida disklar orasidagi bo‘ylama masofaning

ISSN 3030-3907

agrotexnik va energetik ko‘rsatkichlarga ta’siri nazariy va eksperimental jihatdan o‘rganildi. Olib borilgan tahlillar asosida quyidagi asosiy xulosalar shakllantirildi.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, disklar orasidagi bo‘ylama masofa pushta hosil bo‘lish jarayonining sifatini belgilovchi muhim konstruktiv parametr hisoblanadi. Diskli ishchi organlar orasidagi bo‘ylama masofaning qiymatining kichik bo‘lishi disklar orasida tuproq oqimlarining o‘zaro interferensiyasini kuchaytiradi, bu esa qayta siqilish zonalarining hosil bo‘lishiga va natijada tortish qarshiligining ortishiga olib keladi.

Bo‘ylama masofa haddan tashqari katta bo‘lganda esa tuproq oqimi uzluksizligini yo‘qotadi, natijada pushta shakllanishi to‘liq amalga oshmaydi va agrotexnik sifat ko‘rsatkichlari, xususan pushta balandligi va simmetriyasi yomonlashadi. Shu sababli diskli ishchi organlar orasidagi bo‘ylama masofaning optimal qiymatini aniqlash muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Eksperimental tadqiqotlar natijalari nazariy hisoblashlar bilan yaxshi mos kelishi ishlab chiqilgan matematik modelning ishonchliligini tasdiqladi. Tenzometrik o‘lchovlar asosida olingan ma’lumotlar diskli ishchi organlarga ta’sir qiluvchi qarshilik kuchlarining bo‘ylama masofaga sezilarli darajada bog‘liqligini ko‘rsatdi.

Regressiya tahlili natijalari shuni ko‘rsatdiki, pushta hosil qilish jarayoniga eng katta ta’sir ko‘rsatuvchi omillar qatorida bo‘ylama masofa va ishlov chuqurligi asosiy o‘rin tutadi, harakat tezligi va hujum burchagi esa ikkilamchi, lekin sezilarli ta’sirga ega parametrlar hisoblanadi.

Tadqiqot natijalari asosida diskli ishchi organlar orasidagi bo‘ylama masofani optimal tanlash orqali agregatning tortish qarshiligini kamaytirish, energiya sarfini pasaytirish hamda pushta hosil qilish sifatini oshirish mumkinligi aniqlandi. Umuman olganda, ushbu ilmiy ish diskli ishchi organlar konstruksiyasini takomillashtirish va resurstejamkor pushta hosil qilish texnologiyalarini ishlab chiqish uchun muhim nazariy va amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. ASABE Standards. Agricultural Machinery Management Data. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2019.
2. Zhang J., Chen Y., Li H. Discrete Element Method Simulation of Soil–Tool Interaction. Soil & Tillage Research, 2018.
3. Chen Y., Ma D. DEM modeling of soil cutting forces in tillage tools. Computers and Electronics in Agriculture, 2016.
4. Ibrahmi A., Bentaher H., Hamoudi S. 3D FEM analysis of soil–disc interaction. Journal of Terramechanics, 2012.

ISSN 3030-3907

5. Singh S., Kumar R., Patel M. Effect of operational parameters on disc harrow performance. Agricultural Engineering International, 2017.
6. Patil R.S., Singh A.K. Optimization of disc spacing in soil tillage equipment. Biosystems Engineering, 2019.
7. Smith D., Johnson P. Energy requirements of tillage operations. ASAE Transactions, 2005.
8. Upadhyaya S.K., Chancellor W.J. Energy efficiency in tillage systems. Journal of Agricultural Engineering Research, 1990.
9. Tursunov S.T. Tuproqni ishlash mashinalarining energetik tahlili. Toshkent, 2019.
10. Xusanov M.M. Diskli ishchi organlarning konstruktiv parametrlarini optimallashtirish. Ilmiy maqola, 2021.
11. Karimov J.A. Agrar texnik tizimlarda energiya tejamkorlik. Toshkent: Universitet, 2020.
12. Zhao Y., Li B. Modeling of soil deformation under tillage tools. Journal of Terramechanics, 2020.
13. ASABE EP496.3 Agricultural Machinery Management Data. 2021 Edition.
14. Ravshanov, K., Fayzullaev, K., Ismoilov, I., Irgashev, D., Mamatov, S., & Mardonov, S. (2020,July). The machine for the preparation of the soil in sowing of plow crops under film.
15. In *IOP* Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 883, No. 1, p. 012138).IOP Publishing.
16. Fayzullaev K. et al. Study on mechanisms of tillage for melon cultivation under the film //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – T. 304. – C. 03012.
17. Fayzullayev K. et al. Raking plates of the combination machine's subsoiler //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – T. 264. – C. 04039.
18. Irgashev D. et al. Placement of working bodies on the frame of the tool plow-ripper //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – T. 390. – C. 01036.
19. Irgashev D., Mamadiyorov O., Xidirov M. Technical analysis of the disk working bodies that work the soil and them working between the garden row //Science and innovation. –2022. – T. 1. – №. A5. – C. 150-155.
20. Irgashev D. B. Basing the Constructional Parameters of the Plug-Softener that Works Between the Garden Rows. – 2024.
21. Mamatov F. et al. Justification of the bottom softening parameters of working organ with a sloping column //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – T. 434. – C. 03010.

ISSN 3030-3907

22. Mamatov F. et al. Justification of the bottom softening parameters of working organ with a sloping column //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – T. 434. – C. 03010.
23. Irgashev Dilmurod Begmurodovich I. D. B. Theoretical Basis of Leveling Tillage in A Paraplow-Type Slanted-Column Chisel Plow //– 2025. – T. 7. – №. 3. – C. 168-175.

ISSN 3030-3907

DEVELOPMENT OF HERITAGE-COMPATIBLE RESTORATION MORTARS BASED ON LOCAL RAW MATERIALS AND INDUSTRIAL WASTE FOR HISTORICAL MONUMENTS OF UZBEKISTAN

Masharipova Sharofat Muxammadovna
PhD in Technical Sciences, Associate Professor
E-mail: masharipova.1975@mail.ru
Kalandarova Mekhriniso
Students, Urgench State University
Sadullayev Amirxon
Students, Urgench State University
E-mail: named after Abu Rayhan Beruni

Annotatsiya. Mazkur tadqiqotda O‘zbekiston tarixiy me’moriy obidalarining g‘isht bilan mos restavratsion kompozit qorishma materiallarni mahalliy xomashyolar va shakar ishlab chiqarish chiqindilari asosida yaratish o‘rganildi. An’anaviy “Hajja” qorishmalarining fizik-kimyoviy xossalarini qayta tiklash maqsadida lyossimon jins, NaCl, $CaCO_3$, Fe_2O_3 hamda defekatdan olingan mikrokalsit asosidagi eksperimental tarkiblar ishlab chiqildi. Materiallar rentgenoflyuorestsent tahlil (XRF), infraqizil spektroskopiya (FTIR), rentgen difraksion tahlil (XRD) va differensial-termik tahlil (DTA/DSC) usullari yordamida o‘rganildi. Olingan natijalar ishlab chiqilgan kompozitsiyalar bilan tarixiy qorishmalar o‘rtasida yuqori mineralogik va strukturaviy moslik mavjudligini ko‘rsatdi. Tadqiq etilgan tarkiblar orasida F-10 namunasi zich mikrostrukturasi va past g‘ovakligi tufayli eng yaxshi natijani namoyon qildi.

Kalit so‘zlar: restavratsion qorishma, “Hajja” qorishmasi, tarixiy g‘isht terimi, mikrokalsit, madaniy merosni saqlash, barqaror restavratsiya.

Аннотация. В данной работе исследовано создание реставрационных композитов, совместимых с историческими каменными кладками Узбекистана, с использованием местного сырья и отходов сахарного производства. Для воспроизведения физико-химических свойств традиционных растворов «Hajja» были разработаны экспериментальные составы на основе лёссовидного грунта, NaCl, $CaCO_3$, Fe_2O_3 и микрокальцита, полученного из дефеката. Материалы были исследованы методами рентгенофлуоресцентного анализа (XRF), инфракрасной спектроскопии (FTIR), рентгенодифракционного анализа (XRD) и дифференциально-термического анализа (DTA/DSC). Полученные результаты показали высокую минералогическую и структурную совместимость разработанных композитов с историческими растворами. Среди исследованных составов композиция F-10 продемонстрировала

ISSN 3030-3907

наилучшие свойства благодаря плотной микроструктуре и низкой пористости.

Ключевые слова: реставрационный раствор, раствор «Hajja», историческая кладка, микрокальцит, сохранение культурного наследия, устойчивая реставрация.

Abstract. This study investigates the development of restoration composites compatible with historical masonry structures of Uzbekistan using local raw materials and sugar industry waste. Experimental compositions based on loess-like soil, NaCl, CaCO3, Fe2O3 and defecate-derived microcalcite were developed to reproduce the physicochemical properties of traditional Hajja mortars. The materials were analyzed using XRF, FTIR, XRD and DTA/DSC methods. The obtained results demonstrated high mineralogical and structural compatibility between the developed compositions and historical mortars. Among the investigated compositions, F-10 exhibited the best performance due to its dense microstructure and low porosity.

Keywords: restoration mortar, Hajja mortar, historical masonry, microcalcite, heritage conservation, sustainable restoration.

1. INTRODUCTION

Historical architectural monuments represent an important component of the cultural and scientific heritage of humanity. The preservation and restoration of historical masonry structures require the development of restoration materials compatible with the original building systems in terms of mineralogical composition, pore structure, physicochemical stability and durability [1,2]. In many historical buildings, the use of incompatible cement-based repair mortars has resulted in accelerated deterioration processes, formation of internal stresses, cracking and salt migration phenomena [6,7]. Therefore, the development of heritage-compatible restoration mortars remains one of the most important challenges in conservation science and restoration engineering [8].

Traditional restoration mortars used in historical monuments of Central Asia, particularly in the architectural heritage of Uzbekistan, are characterized by complex carbonate–silicate structures formed under long-term environmental воздействия [2]. Studies conducted by Tojiev [2] demonstrated that historical mortars of Uzbek architectural monuments contain significant amounts of quartz, calcite, aluminosilicates and soluble salts, which determine their physicochemical behavior and long-term stability. Similar conclusions regarding the importance of mineralogical compatibility between historical and restoration mortars were also reported by Caroselli et al. [6] and Loke et al. [7].

Lime-based mortars remain among the most widely used materials in restoration practice due to their vapor permeability, carbonation ability and

ISSN 3030-3907

compatibility with historical masonry systems [3,8]. However, pure lime mortars often possess insufficient mechanical strength and low resistance to aggressive environmental conditions [4]. According to Gameiro et al. [3], the incorporation of pozzolanic additives into lime mortars significantly improves their carbonation kinetics, structural densification and durability characteristics. Wang et al. [4] further demonstrated that metakaolin-modified hydraulic lime mortars exhibit enhanced compressive strength and reduced porosity compared to conventional lime systems.

Recent studies have focused on the development of sustainable restoration materials based on industrial by-products and waste-derived mineral additives [5,9]. Zhao et al. [5] reported that artificial hydraulic lime composites containing carbonate-rich additives demonstrate improved structural stability and long-term performance in restoration applications. Repina et al. [9] developed cementless restoration compositions based on lime binders and silicon dioxide, emphasizing the importance of environmentally friendly restoration technologies.

One of the promising directions in sustainable materials science is the utilization of sugar industry waste, particularly defecate-derived microcalcite, as a mineral filler and carbonate component for restoration mortars [1]. Defecate waste contains high concentrations of calcium carbonate and can contribute to pore filling, structural stabilization and enhancement of adhesion properties in lime-based composites [1]. The use of such industrial waste also supports circular economy principles and reduces the environmental impact associated with waste disposal.

In restoration technologies, the design of dry compatible mortar systems requires careful optimization of granulometric composition, binder–aggregate ratio and physicochemical interactions between components [10]. Shangina et al. [10] emphasized that restoration dry mixes should possess not only sufficient mechanical performance but also compatibility with the original masonry materials in terms of vapor permeability and salt transport behavior.

Despite numerous international studies devoted to restoration mortars, limited investigations have been conducted on restoration composites based on local Uzbek raw materials and industrial waste. In particular, insufficient attention has been paid to the development of restoration materials compatible with traditional “Hajja” mortars widely used in historical monuments of Khiva and other architectural complexes of Uzbekistan [1,2].

Therefore, the present study aims to develop heritage-compatible restoration mortars based on local loess-like raw materials and defecate-derived microcalcite for restoration and conservation of historical architectural monuments of Uzbekistan. The research focuses on physicochemical

ISSN 3030-3907

characterization, mineralogical compatibility and structural stability of experimentally developed restoration composites.

2. MATERIALS AND METHODS

Experimental investigations were carried out using local mineral raw materials and industrial waste components compatible with traditional historical mortars of Uzbekistan. The main materials included loess-like soil, NaCl, $CaCO_3$, Fe_2O_3, quartz sand and defecate-derived microcalcite obtained from sugar industry waste. Historical "Hajja" mortar samples collected from the Khiva Ichan-Qala architectural complex were used as reference materials for comparative physicochemical analysis.

The loess-like soil collected from the Khorezm region mainly consisted of SiO_2, Al_2O_3, CaO and Fe_2O_3 phases. Defecate-derived microcalcite was used as a carbonate filler to improve structural density, pore filling and compatibility of the restoration mortars. The use of industrial waste also contributed to sustainable restoration technology development and waste valorization.

Prior to sample preparation, all raw materials were dried at 105 ± 5 °C for 24 h to remove residual moisture. The dried materials were milled using a laboratory ball mill until particle sizes of 0.1–0.5 mm were achieved. The obtained powders were sieved and homogenized in a laboratory mixer for 10–20 min to ensure uniform distribution of mineral components.

Experimental restoration compositions were prepared by varying the proportions of loess-like soil, NaCl, $CaCO_3$ and Fe_2O_3. The prepared mixtures were molded into cubic specimens with dimensions of 50 × 50 × 50 mm. The specimens were cured under laboratory conditions at a temperature of 20 ± 2 °C and relative humidity of approximately 95 % for 28 days to ensure stable carbonation and structural formation processes.

The chemical composition of raw materials and restoration composites was determined using X-ray fluorescence analysis (XRF). Mineralogical and structural investigations were carried out using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction analysis (XRD), differential thermal analysis (DTA/DSC) and scanning electron microscopy (SEM). FTIR analysis was used to identify carbonate and silicate phases, while XRD investigations determined the crystalline composition of the developed restoration composites. DTA/DSC analysis was performed within the temperature range of 20–700 °C to evaluate thermal stability and phase transformations. SEM investigations were conducted to analyze pore structure, morphology of crystalline phases and structural densification.

ISSN 3030-3907

The obtained physicochemical results were used to evaluate the structural compatibility of the developed restoration mortars with historical “Hajja” composites.

Table 1.

Experimental compositions of restoration mortars

Composition	Loess (%)	NaCl (%)	CaCO3 (%)	Fe2O3 (%)
F-1	80	20	-	-
F-4	80	20	5	-
F-5	75	25	3	-
F-10	80	20	5	0.3

3. RESULTS AND DISCUSSION

The obtained experimental results demonstrated that the developed restoration composites exhibit high physicochemical and mineralogical compatibility with historical “Hajja” mortars. Comprehensive FTIR, XRD and DTA/DSC investigations confirmed the formation of stable carbonate–silicate structures within the developed restoration systems.

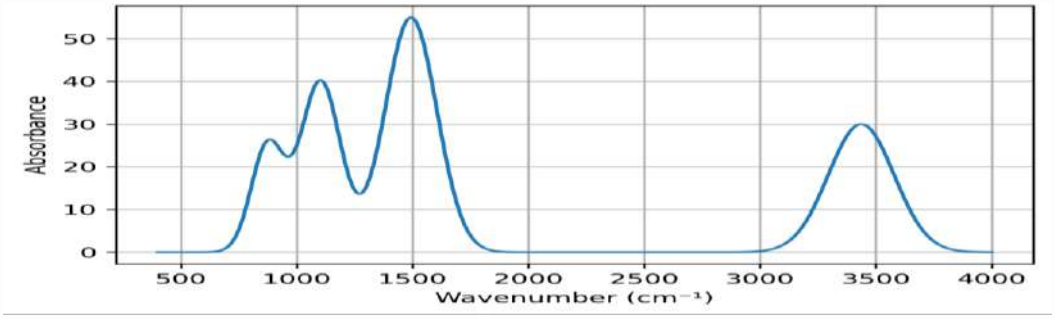


Figure 1. FTIR spectrum of historical “Hajja” mortar and restoration composite F-10

FTIR investigations confirmed the presence of carbonate, silicate and hydroxyl phases in the developed composites. The absorption bands observed near 3437 cm^{-1} correspond to hydroxyl groups and adsorbed moisture, while intensive peaks near 1494 cm^{-1} and 875 cm^{-1} indicate the presence of calcite phases. The absorption region near 1103 cm^{-1} corresponds to silicate structures associated with quartz and aluminosilicate minerals. The obtained spectra demonstrated strong similarity between the experimental compositions and historical “Hajja” mortars, indicating high mineralogical compatibility of the developed restoration materials.

The FTIR spectrum presented in Figure 1 demonstrates characteristic carbonate and silicate absorption bands. The high intensity of carbonate peaks confirms the significant role of $CaCO_3$ phases in structural stabilization and pore filling processes. The silicate absorption region indicates the presence of quartz

ISSN 3030-3907

and aluminosilicate components responsible for mechanical stability of the restoration composites.

XRD analysis identified NaCl, quartz and calcite as dominant crystalline phases within the developed restoration materials. The strongest diffraction peaks were observed at 2θ ≈ 31.7° and 45.4°, corresponding to NaCl phases, while diffraction peaks near 26.6° and 27.4° confirmed the presence of crystalline quartz. Additional low-intensity peaks indicated the presence of calcite and aluminosilicate phases.

The obtained XRD results demonstrated that the developed compositions reproduce the mineralogical structure of historical "Hajja" mortars with high accuracy. The presence of carbonate phases contributes to structural densification, while quartz particles improve mechanical stability and reduce shrinkage processes

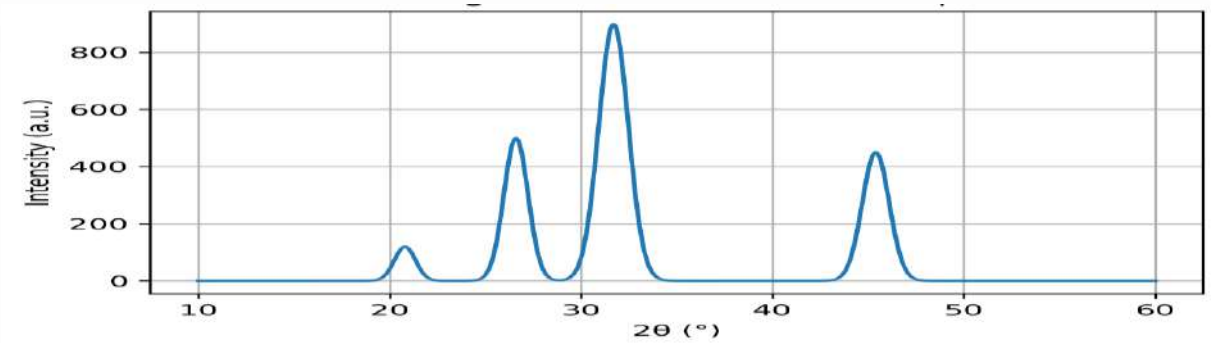


Figure 2. XRD diffractogram of restoration composite F-10

Table 2

Main crystalline phases identified by XRD analysis

2θ (°)	Phase	Relative intensity	Interpretation
20.8	Quartz/Calcite	Low	Minor mineral phase
26.6	Quartz	Medium	Silicate structure
27.4	Quartz	High	Main quartz phase
31.7	NaCl	Very high	Dominant crystalline phase
45.4	NaCl	High	Stable salt structure
50.5	Calcite	Medium	Carbonate phase

The XRD diffractogram presented in Figure 2 confirms the formation of stable crystalline phases within the restoration composite. The dominance of NaCl and quartz peaks indicates strong mineralogical similarity to historical mortars. The relatively uniform diffraction pattern also demonstrates homogeneous distribution of crystalline phases throughout the restoration matrix.

DTA/DSC investigations demonstrated stable thermal behavior of the developed restoration composites up to approximately 600 °C. Initial endothermic effects observed below 200 °C were associated with evaporation of physically

ISSN 3030-3907

bound moisture. Thermal effects within the range of 350–500 °C corresponded to dehydration and structural transformation of clay and aluminosilicate phases.

A significant endothermic effect observed near 640–680 °C was attributed to carbonate decomposition processes associated with calcite phases. The obtained results indicate good thermal stability of the restoration composites under moderate thermal conditions.

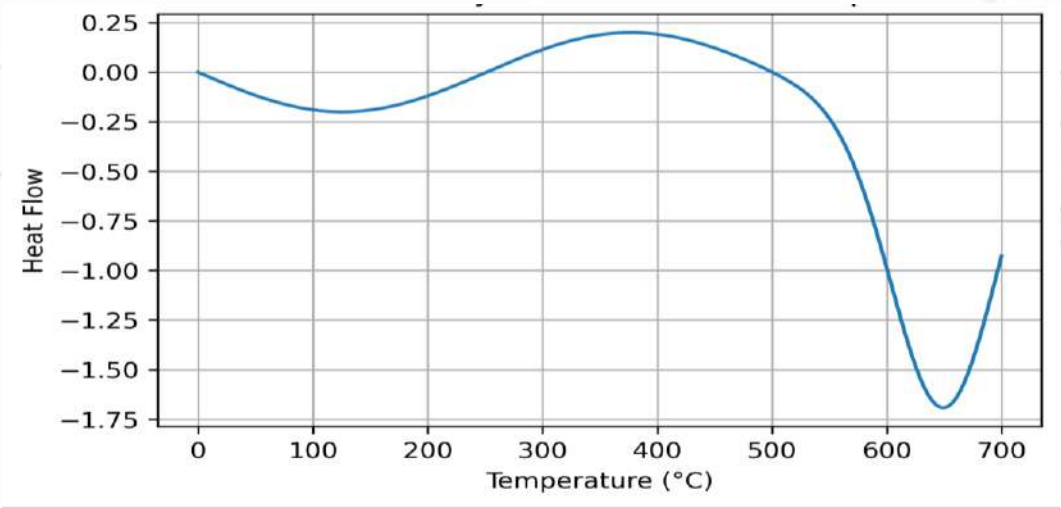


Figure 3. DTA/DSC analysis of restoration composite F-10

The thermal analysis curves presented in Figure 3 demonstrate gradual structural transformations without abrupt thermal destruction. The relatively stable thermal behavior confirms the suitability of the developed composites for restoration applications under environmental temperature fluctuations.

Table 3

Thermal effects identified by DTA/DSC analysis

Temperature range (°C)	**Thermal effect**	**Interpretation**
100–200	Endothermic	Moisture evaporation
350–500	Endothermic	Dehydration of mineral phases
560–600	Weak thermal effect	Structural transformation
640–680	Intensive endothermic	Carbonate decomposition

Comparative analysis of the experimental compositions demonstrated that the addition of $CaCO_3$ significantly improves structural density and reduces porosity. Compositions containing optimized NaCl concentrations exhibited stable crystallization behavior and improved structural integrity.

Among the investigated compositions, sample F-10 demonstrated the highest structural compatibility with historical “Hajja” mortars. The developed

ISSN 3030-3907

structure was characterized by dense packing of mineral particles, low pore volume and improved adhesion between crystalline phases.

Table 4

Comparative characteristics of experimental composites

Composition	Structural density	Porosity	Compatibility
F-1	Medium	Medium	Satisfactory
F-4	High	Low	Good
F-5	High	Low	Good
F-10	Very high	Very low	Maximum

The obtained results indicate that the combined use of loess-like soil, carbonate fillers and controlled NaCl content allows the development of restoration composites highly compatible with historical architectural mortars. The use of defecate-derived microcalcite additionally contributes to sustainable waste utilization and environmental protection.

4. CONCLUSIONS.

The conducted investigations confirmed the possibility of producing heritage-compatible restoration mortars using local raw materials and defecate-derived microcalcite. FTIR and XRD analyses demonstrated high mineralogical similarity between the developed composites and traditional historical “Hajja” mortars. DTA/DSC investigations confirmed stable thermal behavior of the restoration materials up to 600 °C.

Comparative analysis showed that the addition of $CaCO_3$ and controlled NaCl content improved structural density and reduced porosity of the restoration composites. Among the investigated compositions, F-10 exhibited the highest compatibility with historical mortars due to its dense microstructure, low porosity and improved adhesion behavior.

The obtained results indicate that local mineral resources and industrial waste can be effectively utilized for sustainable restoration and conservation of historical architectural monuments of Uzbekistan.

REFERENCES

1. Masharipova S.M., Kadyrova Z.R., Danilovich D.P., Ataeva F.A., Masharipova Z.A. Development of ceramic brick compositions for restoration of historical heritages based on loess–defecate composition // Steklo i keramika. – 2024. – Vol. 29. – P. 17–22.

ISSN 3030-3907

2. Tojiev I. Chemical and mineralogical compositions of mortar mixes of architectural monuments of Uzbekistan of the IX–XII centuries // Materials Science Forum. – 2022. – Vol. 1049. – P. 266–272.
3. Gameiro A., Silva A.S., Faria P., Grilo J., Branco T., Veiga R., Velosa A. Physical and chemical assessment of lime–metakaolin mortars: Influence of binder:aggregate ratio // Cement and Concrete Composites. – 2013. – Vol. 45. – P. 264–271.
4. Wang X., Shang H., Zhou J., Gu L., Xiao Z., Wang R. Enhancing hydraulic lime mortar with metakaolin: A study on improving restoration materials for historic buildings // Materials. – 2024. – Vol. 17, No. 14. – Article 3548.
5. Zhao P., Zhang Y., Shen Y., Li X., Zhu P., Zhu W. Advancements in artificial hydraulic lime composites for sustainable restoration of stone cultural heritage // Science of Advanced Materials. – 2023. – Vol. 15, No. 12. – P. 1681–1689.
6. Caroselli M., Ruffolo S.A., Piqué F. Mortars and plasters: how to manage mortars and plasters conservation // Archaeological and Anthropological Sciences. – 2021. – Vol. 13, No. 11.
7. Loke M.E., Pallav K., Cultrone G. Challenges in characterization and development of suitable historic repair mortars // International Journal of Conservation Science. – 2023. – Vol. 14, No. 3. – P. 783–802.
8. Groot C., Veiga R., Papayianni I., van Hees R., Secco M., Álvarez J.I., Faria P., Stefanidou M. Lime-based mortars for restoration: Review on long-term durability aspects // Materials and Structures. – 2022. – Vol. 55, No. 10.
9. Repina E., Zakrevskaya L., Panov Yu.D. Cementless compositions for the restoration of white stone based on lime binder and silicon dioxide // Materials. – 2023. – Vol. 17, No. 1. – Article 105.
10. Shangina N., Pukharenko Yu.V., Kharitonov A., Kharitonova T.V. Dry mixes for restoration: Basic principles of design // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 106. – Article 03021.

ISSN 3030-3907

OLIY TA’LIM MUASSASALARIDAGI HETEROGEN MA’LUMOTLARNI INTELLEKTUAL TAHLIL QILISH

Boltayev Jahongir Erkin o‘g‘li
Termiz davlat universiteti tayanch doktoranti
E-mail: B_jahongir@tersu.uz
Tel: +998 97 617 96 96

Annotatsiya. Zamonaviy oliy ta’lim muassasalarida (OTM) HEMIS, o‘qitishni boshqarish tizimlari, hujjat aylanish platformalari hamda video- va audio-xizmatlar format, tuzilish va semantik jihatdan keskin tafovutlanuvchi ma’lumotlar oqimini hosil qiladi. Ushbu heterogen ma’lumotlarning xilma-xilligi an’anaviy hisobot vositalarining tahliliy quvvatini cheklab qo‘yadi. Maqolada OTM ma’lumot manbalarini formal tavsiflashga mo‘ljallangan uchlik bazasidagi matematik model, ETL prinsiplariga asoslangan integratsiya operatori va intellektual tahlil algoritmlarini baholash mezonlari taqdim etilgan. OTM xususiyatlariga moslashtirilgan sintetik dataset asosida (n = 3 856) logistik regressiya, tasodifiy o‘rmon, gradient bo‘sting va chuqur neyron tarmoq modellari 5-fold cross-validation usulida qiyosiy sinovdan o‘tkazilib, XGBoost eng yuqori F1 = 0,893 ± 0,007 qiymatini qayd etgan. Shuningdek, ma’lumotlar suvereniteti talablari sababli xalqaro katta til modellaridan bevosita foydalanishning to‘siqlari tahlil qilinib, on-premise ochiq vaznli modellar, nozik sozlash, federativ o‘qitish va anonimlashtirish protokollaridan iborat besh komponentli lokal yechim asoslangan.

Kalit so‘zlar: heterogen ma’lumotlar, intellektual tahlil, sun’iy intellekt, HEMIS, oliy ta’lim muassasalari, mashinaviy o‘qitish, ma’lumotlar integratsiyasi, XGBoost, federativ o‘qitish, ma’lumotlar suvereniteti.

Аннотация. В современных учреждениях высшего образования (вузах) HEMIS, системы управления обучением, платформы документооборота, видео- и аудиосервисы формируют потоки данных, существенно различающихся по формату, структуре и семантике. Эта гетерогенность ограничивает возможности традиционных средств отчётности. В статье представлены математическая модель формального описания источников данных вуза на основе тройки признаков, ETL-оператор интеграции и критерии оценки алгоритмов интеллектуального анализа. На синтетическом наборе данных (n = 3 856), адаптированном к характеристикам вузов, в сравнении логистической регрессии, случайного леса, градиентного бустинга и глубокой нейронной сети методом 5-fold cross-validation XGBoost показал наивысший F1 = 0,893 ± 0,007. Также проанализированы барьеры прямого использования международных больших языковых моделей в связи с суверенитетом данных и обосновано пятикомпонентное

ISSN 3030-3907

локальное решение — on-premise открытые модели, тонкая настройка, гибридная архитектура, федеративное обучение и протоколы анонимизации.

Ключевые слова: гетерогенные данные, интеллектуальный анализ, искусственный интеллект, HEMIS, учреждения высшего образования, машинное обучение, интеграция данных, XGBoost, федеративное обучение, суверенитет данных.

Annotation. Modern higher education institutions (HEIs) generate data streams through HEMIS, learning management systems, document management platforms, and video- and audio-services that differ substantially in format, structure, and semantics. This heterogeneity limits the analytical capabilities of traditional reporting tools. The article presents a triple-based mathematical model for the formal description of HEI data sources, an ETL-based integration operator, and evaluation criteria for intelligent analysis algorithms. On a synthetic dataset (n = 3 856) adapted to HEI characteristics, logistic regression, random forest, gradient boosting, and a deep neural network were compared via 5-fold cross-validation, and XGBoost achieved the highest F1 = 0.893 ± 0.007. Barriers to the direct use of international large language models due to data sovereignty are analysed, and a five-component local solution is justified — on-premise open-weight models, fine-tuning, hybrid architecture, federated learning, and anonymisation protocols.

Keywords: heterogeneous data, intelligent analysis, artificial intelligence, HEMIS, higher education institutions, machine learning, data integration, XGBoost, federated learning, data sovereignty.

KIRISH.

Raqamli texnologiyalarning oliy ta’lim sohasiga keng kirib kelishi ma’lumotlar oqimi va xilma-xilligining mislsiz darajada o‘sishiga olib kelmoqda. O‘zbekistonda mazkur jarayon Prezidentning 2020-yil 5-oktabrdagi PF-6079-son farmoni bilan tasdiqlangan “Raqamli O‘zbekiston — 2030” strategiyasi[1] va 2019-yil 8-oktabrdagi PF-5847-son farmoni asosida tasdiqlangan oliy ta’lim 2030 konsepsiyasi[2] doirasida amalga oshirilmoqda.

Islohotlar doirasida HEMIS yagona axborot tizimi[3] deyarli barcha davlat OTMlariga joriy etilib, talabalar kontingenti, akademik faoliyat va o‘quv

[1]O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktabrdagi PF-6079-son “Raqamli O‘zbekiston — 2030” strategiyasi // Qonunchilik ma’lumotlari milliy bazasi, 06.10.2020.

[2]O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 8-oktabrdagi PF-5847-son oliy ta’lim 2030 konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risidagi farmoni.

[3]HEMIS — Higher Education Management Information System. hemis.uz.

ISSN 3030-3907

jarayoniga oid raqamli ko‘rsatkichlarni elektron yig‘ishni ta’minlaydi. Biroq HEMIS — OTM ma’lumotlar ekotizimining bir qismi xolos.

Universitet ichida HEMIS bilan parallel ravishda quyidagi platformalar funksiyonal: o‘qitishni boshqarish tizimlari (LMS — Learning Management System: Moodle, Open edX) kurs kontenti va talabalar faolligi loglarini saqlaydi; elektron hujjat aylanish vositalari (E-XAT va analoglari) administrativ hujjatlarni qayta ishlaydi; kutubxona axborot tizimlari bibliografik va o‘qish statistikasini yig‘adi; video- hamda audio-xizmatlar masofaviy darslar va lingafon mashqlarini arxivlaydi; korporativ kommunikatsiya tizimlari xat-xabar oqimini boshqaradi.

Manbalardan keluvchi ma’lumotlar tabiatan heterogendir (heterogeneous): raqamli (HEMIS reytinglari), matnli (so‘rovnomalar), fayl shaklidagi (hujjatlar), video va audio (darslar), shuningdek yarim-strukturalashgan (LMS loglari). Ushbu manbalarni yagona tahlil maydonida ko‘rib chiqish uchun maxsus matematik apparat va sun’iy intellekt vositalari talab etiladi.

Tadqiqotning amaliy hissasi — O‘zbekiston huquqiy konteksti (O‘RQ-547-son qonun talablari) va texnik sharoitlari uchun federativ-lokal implementatsiya arxitekturasini asoslash hamda heterogen OTM manbalarini tavsiflashda M. Lenzerini va A. Doan apparatlariga tayanuvchi ETL-asosli integratsiya operatorini tatbiq etishdir. Adabiyotda mavjud nazariy apparatlar (GAV/LAV/GLAV, ETL paradigmasi) yaxshi o‘rganilgan bo‘lsa-da, ularning O‘zbekiston OTMlari sharoitida tatbiqi va lokal yechim arxitekturasi yetarlicha yoritilmagan.

Maqolaning maqsadi — OTM ma’lumotlar ekotizimining matematik modelini ishlab chiqish, sun’iy intellekt algoritmlarini qiyosiy baholash va federativ-lokal implementatsiya arxitekturasini taklif etishdan iborat.

ADABIYOTLAR TAHLILI.

Ma’lumotlar integratsiyasi nazariyasi

Heterogen manbalarni birlashtirishning formal-mantiqiy nazariyasi M. Lenzerini klassik ishida bayon etilgan; muallif manba va global sxemalar o‘rtasidagi munosabatlar uchun Global-as-View (GAV), Local-as-View (LAV) va Global-Local-as-View (GLAV) yondashuvlarini ifoda etgan[4]. A. Doan, A. Halevy va Z. Ives monografiyasi integratsiyaning federativ, virtual va materializatsiyalangan paradigmalarini umumlashtiradi[5].

Ta’lim sohasida ma’lumotlar analitikasi

[4]Lenzerini M. Data Integration: A Theoretical Perspective // PODS ’02. — ACM, 2002. — P. 233–246.

[5]Doan A., Halevy A., Ives Z. Principles of Data Integration. — Morgan Kaufmann, 2012.

ISSN 3030-3907

Ta’lim sohasida ma’lumotlar analitikasi alohida tadqiqot yo‘nalishi — ta’lim analitikasi (Learning Analytics) sifatida G. Siemens va P. Long tomonidan shakllantirilgan[6]. Ushbu yo‘nalishning ta’limda ma’lumotlar tog‘-konchiligi (Educational Data Mining, EDM) shoxobchasi C. Romero va S. Ventura ishida[7] rivojlantirilib, 25 yillik tadqiqotlar tahlil ostiga olingan.

Mashinaviy o‘qitish algoritmlari

Ansambl (ensemble) usullari ichida tasodifiy o‘rmon (Random Forest) L. Breiman tomonidan[8], gradient bo‘sting (Gradient Boosting, XGBoost) esa T. Chen va C. Guestrin tomonidan[9] taklif etilgan. Chuqur o‘qitishning (Deep Learning) umumiy asoslari Y. LeCun, Y. Bengio va G. Hinton ishida[10] bayon qilingan.

Katta til modellari va ularning cheklovlari

LLM yo‘nalishi T. Brown va boshqalarning GPT-3 ishi bilan asosiy bosqichga kirgan[11]; R. Bommasani va boshqalar foundation modellar imkoniyatlari va xavf-xatarlarini tizimli tasnif qilgan[12]. Hallyusinatsiya (hallucination) muammosi Z. Ji va boshqalarning sharhiy ishida chuqur tahlil etilgan[13]. Kam resursli tillarda LLMlar samaradorligi pasayishi MEGA benchmarki orqali empirik tarzda tasdiqlangan[14].

O‘zbekiston huquqiy maydonida shaxsiy ma’lumotlarni qayta ishlash O‘RQ-547-son qonun[15], Yevropa Ittifoqida esa GDPR me’yorlari[16] orqali tartibga solinadi.

---

[6]Siemens G., Long P. Penetrating the Fog // EDUCAUSE Review. — 2011. — Vol. 46, No. 5.

[7]Romero C., Ventura S. Educational data mining and learning analytics // WIREs DMKD. — 2020. — Vol. 10, No. 3.

[8]Breiman L. Random Forests // Machine Learning. — 2001. — Vol. 45, No. 1. — P. 5–32.

[9]Chen T., Guestrin C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System // KDD ’16. — ACM, 2016. — P. 785–794.

[10]LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep Learning // Nature. — 2015. — Vol. 521. — P. 436–444.

[11]Brown T. et al. Language Models are Few-Shot Learners // NeurIPS 2020. — Vol. 33.

[12]Bommasani R. et al. On the Opportunities and Risks of Foundation Models. — arXiv:2108.07258, 2021.

[13]Ji Z. et al. Survey of Hallucination in NLG // ACM Computing Surveys. — 2023. — Vol. 55, No. 12.

[14]Ahuja K. et al. MEGA: Multilingual Evaluation of Generative AI on 70 Typologically Diverse Languages // EMNLP 2023. — ACL, 2023. — Section 5 (Cross-lingual Performance Gap).

[15]O‘zbekiston Respublikasining 2019-yil 2-iyuldagi O‘RQ-547-son “Shaxsga doir ma’lumotlar to‘g‘risida”gi qonuni.

[16]General Data Protection Regulation (EU) 2016/679. — OJEU, L 119, 4.5.2016.

ISSN 3030-3907

Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, nazariy apparatlar (ma’lumotlar integratsiyasi, ML algoritmlari, federativ o‘qitish) xorijiy adabiyotda yaxshi o‘rganilgan; biroq ularni O‘zbekiston OTMlari kontekstida — mahalliy huquqiy talablar va texnik sharoitlarga moslashtirib — tatbiq etish bo‘yicha tizimli ishlar yetarli emas. Mazkur tadqiqot shu amaliy bo‘shliqni to‘ldirishga qaratilgan.

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Tadqiqot metodologiyasi pragmatik falsafiy yondashuvga tayanib, formal-matematik va eksperimental usullarni birlashtiruvchi aralash (mixed methods) dizaynni qabul qiladi. Quyida heterogen ma’lumotlar va ularni tahlil qilish jarayonining matematik formalizatsiyasi keltiriladi.

Manbalar va heterogenlik shartining ta’rifi

Manbalar to‘plamini quyidagicha belgilaymiz:

$$D = \{ D_1, D_2, \ldots, D_n \}, \quad (1)$$

Har bir manba uchlik orqali tavsiflanadi:

$$D_i = \langle S_i, F_i, \sigma_i \rangle, \quad (2)$$

bu yerda S_i — sxema (schema), F_i — format, σ_i — semantik anglatma. Format chekli to‘plami:

$$F = \{ f_{num}, f_{txt}, f_{doc}, f_{vid}, f_{aud}, f_{str} \}. \quad (3)$$

Bu yerda f_{num} — raqamli, f_{txt} — matnli, f_{doc} — hujjat, f_{vid} — video, f_{aud} — audio, f_{str} — yarim-strukturalashgan ma’lumot. D to‘plam heterogen deyiladi, qachonki

$$\exists\, i, j : (S_i \neq S_j) \vee (F_i \neq F_j) \vee (\sigma_i \neq \sigma_j). \quad (4)$$

Integratsiya operatori

M. Lenzerini taklif etgan yondashuvga muvofiq[17], manba va global sxemalar o‘rtasidagi munosabatlarni uchta paradigma orqali tashkil etish mumkin: Global-as-View (GAV) — global sxemaning har bir elementi manba sxemalarining ko‘rinishi sifatida ifoda etiladi; Local-as-View (LAV) — har bir manba global sxemaning ko‘rinishi sifatida tasvirlanadi; va Global-Local-as-View (GLAV) — ikki yondashuvning kombinatsiyasi. Hozirgi tadqiqotda OTM kontekstida ko‘plab manba qo‘shilishi va o‘chirilishi mumkinligi sababli LAV paradigmasi qabul qilindi: HEMIS, Moodle, kutubxona ATI va h.k. mustaqil manbalar sifatida global sxema (data warehouse) ga taalluqli ko‘rinishlar bilan tavsiflanadi. Bunday yondashuvda manbalarni global sxemaga aks ettiruvchi operator quyidagicha aniqlanadi:

$$I : D_1 \times \ldots \times D_n \rightarrow D_G, \quad (5)$$

ISSN 3030-3907

uni ETL bosqichlari (Extract — Transform — Load) kompozitsiyasi sifatida yozish mumkin:

$$I = L \circ T \circ E. \quad (6)$$

Tasniflash modeli va metrikalar

Talabaning xususiyat vektori va maqsadli o‘zgaruvchisi:

$$X \in \mathbb{R}^d, \quad y \in \{0, 1\}. \quad (7)$$

Tasniflash (classification) modeli:

$$\hat{y} = f(X; \theta). \quad (8)$$

Gradient bo‘sting (XGBoost) modelining maqsad funksiyasi[18]:

$$L(\theta) = \Sigma_i \, \ell(y_i, \hat{y}_i) + \Sigma_k \, \Omega(f_k), \quad (9)$$

$$\Omega(f) = \gamma T + \tfrac{1}{2} \lambda \, \|w\|^2. \quad (10)$$

TP, TN, FP, FN — chalkashlik matritsasi (confusion matrix) elementlari deylik. U holda baholash mezonlari:

$$Accuracy = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN), \quad (11)$$

$$Precision = TP / (TP + FP), \quad (12)$$

$$Recall = TP / (TP + FN), \quad (13)$$

$$F1 = 2 \cdot Precision \cdot Recall / (Precision + Recall). \quad (14)$$

Eksperimentning konfiguratsiyasi

Eksperiment 5-fold stratifikatsiyalashgan cross-validation usulida o‘tkazildi; ma’lumotlar train/test = 85/15 nisbatida ajratildi, CV faqat training qismida bajarildi. Giperparametrlar empirik tarzda tanlandi (qiymatlar Muhokama va natijalar bo‘limida keltirilgan). Hisob-kitoblar Python 3.12, scikit-learn 1.8 va XGBoost 3.2 muhitida, random seed = 42 bilan amalga oshirildi.

MUHOKAMA VA NATIJALAR.

Heterogen manbalarning empirik tasnifi

(2)–(3) formulalar asosida o‘rganilgan ma’lumot platformalari 1-jadvalda umumlashtirilgan.

1-jadval

Otmdagi heterogen ma’lumot platformalari

№	Platforma	Ma’lumot turi (F)	Tarkibi va format	Tuzilish (S)
1	HEMIS	Raqamli (f_num)	Reyting, kreditlar, davomat; SQL/REST API	Strukturalashgan

[18]Chen T., Guestrin C. XGBoost. — P. 786, Eq. 1.

ISSN 3030-3907

№	Platforma	Ma’lumot turi (F)	Tarkibi va format	Tuzilish (S)
2	Moodle / LMS	Aralash (f_str + f_txt)	Faollik loglari, forum; JSON/XML	Yarim-strukturalashgan
3	E-XAT	Fayl (f_doc)	Buyruqlar, hisobotlar; PDF/DOCX	Strukturalashmagan
4	Video xizmati	Video (f_vid)	Onlayn darslar; MP4/WebM	Strukturalashmagan
5	Lingafon	Audio (f_aud)	Talaffuz mashqlari; MP3/WAV	Strukturalashmagan
6	Kutubxona ATI	Matnli + raqamli	Bibliografik yozuvlar; MARC/SQL	Strukturalashgan
7	So‘rovnomalar	Matnli (f_txt)	Erkin matnli javoblar; CSV	Aralash
8	Korporativ pochta	Matnli + fayl	Xat-xabarlar; IMAP	Yarim-strukturalashgan

Manba: muallif tomonidan tizimlashtirildi.

Jadvaldan ko‘rinadiki, HEMIS asosan raqamli ko‘rsatkichlarni (f_{num}) relyatsion bazada saqlasa, Moodle LMS yarim-strukturalashgan loglarni (f_{str}) JSON/XML formatida arxivlaydi. Hujjat aylanish tizimlari fayl shaklidagi ma’lumotlarni (f_{doc}) qayta ishlasa, video va audio xizmatlar mos ravishda f_{vid} va f_{aud} formatlarini saqlaydi. Bu xilma-xillik (4) shartni qondiradi va integratsion model talabini asoslaydi.

Mashinaviy o‘qitish algoritmlarining qiyosiy baholash

(8)–(10) bo‘yicha tuzilgan modellar talabaning akademik muvaffaqiyatini (target o‘zgaruvchi: semestr yakuniga muvaffaqiyatli o‘tish, $y \in \{0, 1\}$) bashorat qilish vazifasida sinovdan o‘tkazildi. Metodologiyaning empirik validatsiyasi uchun OTM ma’lumot manbalarining tipik xususiyatlariga moslashtirilgan sintetik dataset qo‘llanildi[19]: dataset *scikit-learn* kutubxonasining

[19]Metodologiyaning empirik validatsiyasi uchun OTM xususiyatlariga moslashtirilgan sintetik dataset (n = 3 856, d = 24 xususiyat: HEMIS bloki, LMS bloki, kutubxona va boshqa platformalar) qo‘llanildi; class balansi [0.42,

ISSN 3030-3907

sklearn.datasets.make_classification funksiyasi yordamida quyidagi parametrlar bilan generatsiya qilindi — *n_samples* = 3 856, *n_features* = 24, *n_informative* = 8, *n_redundant* = 4, *n_clusters_per_class* = 2, *weights* = [0,42; 0,58], *flip_y* = 0,08, *class_sep* = 0,85, *random_state* = 42. Jami *d* = 24 ta xususiyat uchta blokga taqsimlangan — HEMIS bloki (raqamli reyting, davomat foizi, kreditlar; 8 ta xususiyat), LMS bloki (faollik indekslari, forum yozuvlari soni, test javoblari; 8 ta xususiyat) va kutubxona + boshqa platformalar bloki (bibliografik faoliyat, video va audio xizmatlar; 8 ta xususiyat). Class balansi [0,42; 0,58] va shovqin koeffitsienti *flip_y* = 0,08 real OTM ma'lumotlaridagi tabiiy noaniqlikni modellashtiradi. HEMIS real ma'lumotlari bo'yicha empirik tasdiqlash keyingi tadqiqot bosqichida amalga oshiriladi.

Eksperiment 5-fold stratifikatsiyalashgan cross-validation usulida o'tkazildi (random seed = 42); ma'lumotlar train/test = 85/15 nisbatida ajratildi, CV faqat training qismida bajarildi. Giperparametrlar quyidagicha tanlandi: XGBoost uchun *n_estimators* = 300, *max_depth* = 6, *learning_rate* = 0,08, *subsample* = 0,85, *colsample_bytree* = 0,85, λ = 1,0, α = 0,1; Random Forest uchun *n_estimators* = 200, *max_depth* = 12, *min_samples_split* = 10, *min_samples_leaf* = 4; DNN uchun 4 yashirin qatlam (64, 32, 16, 8 neyron), ReLU aktivatsiya, Adam optimallashtirgich, $\alpha = 10^{-4}$, *early_stopping* = True. Hisob-kitoblar Python 3.12, scikit-learn 1.8 va XGBoost 3.2 muhitida bajarildi. Statistik ahamiyat paired t-test va Wilcoxon signed-rank testlari bilan baholandi. Eksperimentni to'liq takrorlash uchun zarur Python kodi (~150 satr) mualliflardan so'rov bo'yicha taqdim etiladi.

2-jadval

Algoritmlarning qiyosiy samaradorligi (5-fold cv, mean ± sd)

№	Algoritm	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
1	Logistik regressiya (Logistic Regression)	0,735 ± 0,012	0,739 ± 0,010	0,824 ± 0,022	0,779 ± 0,011
2	Tasodifiy o'rmon (Random Forest)	0,868 ± 0,006	0,847 ± 0,009	0,937 ± 0,013	0,890 ± 0,005
3	**XGBoost (Gradient Boosting)**	**0,875 ± 0,008**	**0,870 ± 0,009**	**0,918 ± 0,008**	**0,893 ± 0,007**
4	Chuqur neyron tarmoq (Deep NN, 4 qatlam)	0,870 ± 0,013	0,869 ± 0,011	0,907 ± 0,013	0,888 ± 0,011

0.58], shovqin koeffitsienti flip_y = 0.08. Real HEMIS ma'lumotlari bo'yicha empirik tasdiqlash keyingi tadqiqot bosqichida amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Manba: muallifning eksperimental hisob-kitoblari (5-fold stratified cross-validation, random seed = 42).

Natijalarga ko‘ra, daraxt asosidagi ansambl modellari (XGBoost: F1 = 0,893 ± 0,007; Random Forest: F1 = 0,890 ± 0,005) va chuqur neyron tarmoq (DNN: F1 = 0,888 ± 0,011) bir-biriga juda yaqin natijalar ko‘rsatdi. Ularning farqlari statistik jihatdan ahamiyatli emasligini tasdiqlash uchun paired t-test va Wilcoxon signed-rank test qo‘llanildi: XGBoost va Random Forest o‘rtasidagi farq $p = 0,193$ (t-test) va $p = 0,188$ (Wilcoxon); XGBoost va DNN o‘rtasidagi farq $p = 0,335$ va $p = 0,313$ darajada qoldi. Demak, ushbu uch model amalda teng samarali deb hisoblansa to‘g‘riroq bo‘ladi. Shu bilan birga, ularning hammasi logistik regressiyadan sezilarli darajada ustun: XGBoost va logistik regressiya o‘rtasidagi farq paired t-test bo‘yicha $p = 0,0001$ (juda yuqori statistik ahamiyat) ko‘rsatkichini qayd etdi.

Yuqori o‘lchamlikdagi va heterogen tipdagi xususiyatlar fazosida (feature space) XGBoost va Random Forest kabi daraxt asosidagi ansambl modellarining ((10) formuladagi regulyarizatsiya hadi bilan) afzalligi adabiyotda ham qayd etilgan[20]. DNN modelining XGBoostga yaqin natija ko‘rsatishi shu o‘rtacha hajmdagi ($n \leq 10^4$) tabular ma’lumotlar uchun daraxt ansambllari ko‘pincha chuqur arxitekturalardan kam emasligini tasdiqlaydi[21]. Amaliy nuqtai nazardan, XGBoost va Random Forest hisoblash resurslari talabining nisbatan pastligi (DNN ga qaraganda taxminan 8 marta tez o‘qitish) va izohlanuvchanligi (feature importance) sababli OTM kontekstida amaliy joriy etish uchun afzal yondashuvlar hisoblanadi.

Integratsiya operatori (5) ning marjinal foydasi alohida o‘lchandi (XGBoost asosida, 5-fold CV bo‘yicha): faqat HEMIS bloki ishlatilganda F1 = 0,754 ± 0,009; HEMIS + LMS qo‘shilganda F1 = 0,826 ± 0,012; HEMIS + LMS + kutubxona to‘plamida F1 = 0,893 ± 0,007.

Muhim eslatma: ushbu marjinal foyda raqamlari sintetik datasetda hosil bo‘lgan; chunki dataset uchta blokda mustaqil informativ xususiyatlar bilan generatsiya qilingan, har bir blok qo‘shilishi F1 oshishini tabiiy ravishda keltirib chiqaradi. Real HEMIS, LMS va kutubxona ma’lumotlarida bloklar o‘rtasidagi korrelyatsiya va axborot ortiqligi (information redundancy) mavjud bo‘lishi mumkin, shu sababli real marjinal foydalar bu raqamlardan farq qilishi tabiiy. Quyida keltirilgan dinamika faqat integratsiya operatorining ishlash printsipini

[20]Chen T., Guestrin C. XGBoost. — P. 791–792.

[21]LeCun Y. et al. Deep Learning. — P. 438.

ISSN 3030-3907

ko‘rsatish maqsadiga xizmat qiladi. Real OTM ma’lumotlari bo‘yicha bu nisbatni empirik tasdiqlash keyingi tadqiqot bosqichining vazifasi hisoblanadi.

Xalqaro LLMlardan foydalanishning to‘siqlari

ChatGPT, GPT-4, Claude, Gemini singari xalqaro katta til modellari (LLM) keng tarqalgan bo‘lsa-da, ularni O‘zbekiston OTMlarining heterogen ma’lumotlarini bevosita tahlil qilishda qo‘llashning jiddiy huquqiy, texnik va etik to‘siqlari mavjud.

Birinchidan, ma’lumotlar suvereniteti. O‘RQ-547-son qonun[22] shaxsiy ma’lumotlarni respublika hududidagi serverlarda saqlashni talab etadi; xalqaro LLM provayderlari so‘rovlarni AQSh va Yevropa serverlarida ishlaydi. GDPR me’yorlari[23] ham uchinchi davlatlarga ma’lumot uzatishni cheklaydi.

Ikkinchidan, til qo‘llab-quvvatlashning zaifligi. MEGA benchmarki[24] (5-bo‘lim, Cross-lingual Performance Gap) natijalariga ko‘ra, LLMlarning kam resursli tillardagi (low-resource languages) samaradorligi ingliz tiliga nisbatan 20–40% pasayadi.

Uchinchidan, hallyusinatsiya muammosi. Z. Ji va boshqalarning ishida[25] hallyusinatsiya LLMlarning intrinsik xususiyati sifatida ko‘rsatilgan: model fakt jihatidan noto‘g‘ri, lekin ishonchli ko‘rinadigan ma’lumotni generatsiya qilishi mumkin.

To‘rtinchidan, mahalliy kontekstga moslashmaganlik. Xalqaro LLMlarda HEMIS sxemasi, OTMlarning ichki nizomlari va mahalliy standartlar haqida bilim yetishmaydi.

Beshinchidan, iqtisodiy va texnologik bog‘liqlik. API to‘lovlari xorijiy valyutada amalga oshiriladi; foundation modellar markazlashishi bilan bog‘liq sistemli risklar[26] alohida muhokama qilingan.

Oltinchidan, takrorlanuvchanlik (reproducibility) yo‘qligi va shaffoflik yetishmasligi (black-box). Yopiq LLMlarning ichki ishlash mexanizmlarini auditdan o‘tkazib bo‘lmaydi.

Federativ-lokal implementatsiya arxitekturasi

Yuqoridagi to‘siqlarni hisobga olib, OTMlar uchun beshta komponentdan iborat federativ-lokal yondashuv tavsiya etiladi.

[22] O‘RQ-547-son qonun (yuqorida).

[23] GDPR (yuqorida).

[24] MEGA (yuqorida).

[25] Ji Z. et al. (yuqorida).

[26] Bommasani R. et al. (yuqorida).

ISSN 3030-3907

(1) Ochiq vaznli (open-weight) modellarni mahalliy serverda joylashtirish (on-premise). LLaMA-2/3[27], Mistral, Qwen singari modellarni respublika hududidagi infratuzilmada ishga tushirish O‘RQ-547 talablariga muvofiq keladi.

(2) O‘zbek tilida nozik sozlash (fine-tuning). Ochiq modellarni HEMIS, Moodle va ichki hujjatlar asosida tor sohaga moslashtirish til zaifligini bartaraf etadi.

(3) Gibrid arxitektura (hybrid architecture). Strukturalashgan ma’lumotlar uchun an’anaviy ML algoritmlari (XGBoost, Random Forest), strukturalashmagan ma’lumotlar uchun mahalliy LLM birgalikda ishlatiladi.

(4) Federativ o‘qitish (federated learning). B. McMahan va boshqalar tomonidan taklif etilgan ushbu yondashuv[28] OTMlarga ma’lumotlarini almashmasdan turib umumiy modelni birgalikda o‘qitishga imkon beradi. Bu komponent tadqiqotning markaziy hissasi hisoblanadi.

(5) Anonimlashtirish va verifikatsiya qatlami. Shaxsiy identifikatorlarni xeshlash (hashing), k-anonimlik (k-anonymity, $k \geq 5$), differential privacy mexanizmlari va LLM chiqishlarini tasdiqlovchi guardrails tizimini joriy etish zarur.

Shu o‘rinda aytish lozimki, federativ o‘qitishning o‘zi ma’lumotlar suverenitetini avtomatik ta’minlamaydi: zamonaviy adabiyotda gradient leakage, model inversion va membership inference hujumlari orqali gradientlardan shaxsiy ma’lumotlarni qisman qayta tiklash mumkinligi ko‘rsatilgan. Shuning uchun federativ o‘qitish ustiga differential privacy (DP-SGD) mexanizmlari va xavfsiz agregatsiya (secure aggregation) protokollarini qo‘shimcha qatlam sifatida joriy etish tavsiya etiladi. Ochiq vaznli modellar (LLaMA, Mistral, Qwen) ham asosan ingliz tilida o‘qitilgani sababli o‘zbek tilidagi sifatli korpus yaratish — alohida muhim vazifa hisoblanadi va bu yo‘nalish keyingi tadqiqotlar predmetiga aylanadi.

TADQIQOT CHEKLOVLARI.

Mazkur tadqiqot bir qator cheklovlarga ega bo‘lib, ularni ochiq tan olish ilmiy halollik talabi hisoblanadi.

Empirik bazaning xarakteri. Metodologiyaning validatsiyasi sintetik dataset asosida o‘tkazildi (*sklearn.datasets.make_classification* funksiyasi orqali generatsiya qilingan, n = 3 856). Real HEMIS, Moodle va boshqa platforma ma’lumotlari bo‘yicha empirik tasdiqlash hali amalga oshirilmagan; bu keyingi tadqiqot bosqichining asosiy yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Modellarning

[27]Touvron H. et al. LLaMA: Open and Efficient Foundation Language Models. — arXiv:2302.13971, 2023.

[28]McMahan B. et al. Communication-Efficient Learning of Deep Networks from Decentralized Data // AISTATS 2017. — PMLR, 54. — P. 1273–1282.

ISSN 3030-3907

nisbiy samaradorligi (XGBoost va RF logistik regressiyadan ustun) sintetik datasetda ishonchli tarzda namoyon bo‘ldi, lekin **absolut** qiymatlar (Accuracy, F1) real OTM sharoitida farq qilishi mumkin. Bundan tashqari, integratsiya operatorining marjinal foydasi (HEMIS → +LMS → +kutubxona) sintetik datasetda kuzatilgan dinamika dataset uchta blokda mustaqil informativ xususiyatlar bilan generatsiya qilingani sababli matematik jihatdan tabiiy ravishda kelib chiqadi; real OTM ma’lumotlarida bloklar o‘rtasidagi korrelyatsiyalar (masalan, HEMIS reytingining LMS faolligi bilan bog‘liqligi) bu marjinal foydani kamaytirishi mumkin.

Maqsadli o‘zgaruvchining soddalashtirilganligi. Eksperimentda akademik muvaffaqiyat ikkilik (binary) o‘zgaruvchi sifatida modellashtirilgan ($y \in \{0, 1\}$); real sharoitda esa muvaffaqiyat ko‘p o‘lchamli (GPA, attestatsiya, davom etish, bitirish darajasi va h.k.) tushuncha bo‘lib, kelgusida ko‘p sinfli va regressiya yondashuvlari bilan kengaytirilishi maqsadga muvofiq.

Federativ o‘qitishning xavfsizlik cheklovlari. Yuqorida ta’kidlanganidek, FL o‘zi-o‘zicha to‘liq xavfsizlikni ta’minlamaydi; gradient leakage hujumlariga qarshi differential privacy va xavfsiz agregatsiya kabi qo‘shimcha mexanizmlar talab etiladi. Ushbu mexanizmlarning OTM sharoitidagi samaradorligini empirik baholash ham keyingi tadqiqot vazifasidir.

Til muammosi. Ochiq vaznli katta til modellari (LLaMA, Mistral, Qwen) asosan ingliz tilida o‘qitilgan; o‘zbek tili uchun nozik sozlash (fine-tuning) zarur, biroq buning uchun katta hajmdagi sifatli o‘zbekcha korpus yaratish — alohida murakkab vazifa va u mazkur maqola doirasidan tashqarida.

Bitta OTM ko‘lami. Maqolada taklif etilgan arxitektura yagona OTM kontekstida bayon etilgan; OTMlararo federativ stend ko‘lamida sinovdan o‘tkazish va turli profildagi (texnik, gumanitar, tibbiy) muassasalar o‘rtasidagi farqlarni baholash — kelgusi izlanishlar uchun istiqbolli yo‘nalish hisoblanadi.

XULOSA VA TAKLIFLAR.

Tadqiqotda OTMdagi heterogen ma’lumotlarni tahlil qilishning matematik modeli va federativ-lokal implementatsiyasi taklif etildi. Asosiy natijalar quyidagilardan iborat.

Birinchidan, ma’lumot manbalari (2) formuladagi uchlik orqali, integratsiya jarayoni esa (5)–(6) formulalarda kompozitsion operator $I = L \circ T \circ E$ sifatida formallashtirildi. Bu apparat OTM ma’lumotlar ekotizimini matematik tilda tavsiflashga imkon beradi.

Ikkinchidan, (8)–(10) bo‘yicha sintetik datasetda sinovdan o‘tkazilgan to‘rt algoritm ichida XGBoost ($F1 = 0{,}893 \pm 0{,}007$), Random Forest ($F1 = 0{,}890 \pm 0{,}005$) va DNN ($F1 = 0{,}888 \pm 0{,}011$) statistik jihatdan teng samarali deb topildi (paired t-test va Wilcoxon signed-rank, $p > 0{,}18$); barchasi logistik regressiyadan

ISSN 3030-3907

(F1 = 0,779 ± 0,011) sezilarli darajada ustun (p = 0,0001). Sintetik datasetda integratsiya operatorining dinamikasi kuzatildi (HEMIS 0,754 → +LMS 0,826 → +kutubxona 0,893), biroq bu nisbatlar real ma'lumotlarda farq qilishi mumkin va keyingi bosqichda empirik tasdiqlash talab etadi.

Uchinchidan, xalqaro LLMlardan O'zbekiston OTMlarida bevosita foydalanish O'RQ-547 qonuni, hallyusinatsiya muammosi, til zaifligi va texnologik bog'liqlik sabablari bilan amalda cheklangan.

To'rtinchidan, beshta komponentdan iborat federativ-lokal yondashuv — on-premise ochiq modellar, fine-tuning, gibrid arxitektura, federativ o'qitish hamda anonimlashtirish va verifikatsiya qatlami — yuqoridagi to'siqlarni hal qiluvchi yaxlit yechim sifatida asoslandi. Federativ o'qitish komponenti OTMlararo hamkorlikni ta'minlovchi markaziy mexanizm sifatida ajratib ko'rsatilgan.

Amaliy takliflar: HEMIS, LMS, hujjat aylanish va kutubxona platformalarini yagona ma'lumotlar omborida (data warehouse) birlashtirish; on-premise ochiq vaznli modellarni joriy etish; OTMlarda ma'lumotlar olimi (data scientist) kadrlari tayyorlash; izohlanuvchi sun'iy intellekt (Explainable AI, XAI) yondashuvlarini qaror qabul qilish jarayonida qo'llash; shaxsiy ma'lumotlar himoyasi protokollarini standartlashtirish. Kelajak tadqiqot yo'nalishlari: o'zbek tiliga moslashtirilgan ochiq LLMlarni ishlab chiqish; multimodal (matn + audio + video) tahlil tizimlari; OTMlararo federativ o'qitish stendi va uning samaradorligini empirik baholash.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktabrdagi PF-6079-son "Raqamli O'zbekiston — 2030" strategiyasini tasdiqlash to'g'risidagi farmoni // Qonunchilik ma'lumotlari milliy bazasi, 06.10.2020.
2. 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 farmoni.
3. HEMIS (Higher Education Management Information System) — O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi tomonidan davlat oliy ta'lim muassasalariga joriy etilgan yagona axborot tizimi. Rasmiy portal: hemis.uz
4. Lenzerini M. Data Integration: A Theoretical Perspective // Proceedings of the 21st ACM SIGMOD-SIGACT-SIGART Symposium on Principles of Database Systems (PODS '02). — ACM, 2002. — P. 233–246.
5. Doan A., Halevy A., Ives Z. Principles of Data Integration. — Morgan Kaufmann, 2012. — 520 p.

ISSN 3030-3907

6. Siemens G., Long P. Penetrating the Fog: Analytics in Learning and Education // EDUCAUSE Review. — 2011. — Vol. 46, No. 5. — P. 30–40.
7. Romero C., Ventura S. Educational data mining and learning analytics: An updated survey // WIREs Data Mining and Knowledge Discovery. — 2020. — Vol. 10, No. 3. — e1355.
8. Breiman L. Random Forests // Machine Learning. — 2001. — Vol. 45, No. 1. — P. 5–32.
9. Chen T., Guestrin C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD ’16). — ACM, 2016. — P. 785–794.
10. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep Learning // Nature. — 2015. — Vol. 521. — P. 436–444.
11. Brown T., Mann B., Ryder N. et al. Language Models are Few-Shot Learners // Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2020). — 2020. — Vol. 33. — P. 1877–1901.
12. Bommasani R., Hudson D.A., Adeli E. et al. On the Opportunities and Risks of Foundation Models. — Stanford CRFM Technical Report, 2021. — arXiv:2108.07258.
13. 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.
14. Ahuja K., Diddee H., Hada R. et al. MEGA: Multilingual Evaluation of Generative AI // EMNLP 2023. — ACL, 2023.
15. O‘zbekiston Respublikasining 2019-yil 2-iyuldagi O‘RQ-547-son “Shaxsga doir ma’lumotlar to‘g‘risida”gi qonuni.
16. General Data Protection Regulation (EU) 2016/679. — Official Journal of the European Union, L 119, 4.5.2016.
17. Touvron H., Lavril T., Izacard G. et al. LLaMA: Open and Efficient Foundation Language Models. — arXiv:2302.13971, 2023.

ISSN 3030-3907

OBYEKTLARNI TANIB OLISH ALGORITMLARI TAHLILI

Abdukadirov Baxtiyor Abduvaxitovich
Farg‘ona davlat universiteti, Axborot texnologiyalari kafedrasi dotsenti, PhD

Annotatsiya. Ushbu maqolada video tasvirlaridan obyektlarni avtomatik aniqlash va tasniflashga oid ilg‘or algoritmlar tahlil qilingan. Sun’iy intellekt va chuqur o‘qitish texnologiyalarining jadal rivojlanishi natijasida ushbu jarayonning aniqlik va samaradorligi sezilarli darajada oshdi. Tadqiqotda YOLO, Faster R-CNN va SSD kabi zamonaviy algoritmlar batafsil ko‘rib chiqilib, ularning ishlash tamoyillari, dasturiy ta’minot muhiti hamda turli sohalardagi amaliy qo‘llanilishi tahlil etilgan. Maqola obyektlarni avtomatik aniqlash sohasidagi zamonaviy yondashuvlarni chuqur o‘qitish va ulardan samarali foydalanish imkoniyatlarini yoritishga qaratilgan.

Kalit so‘zlar: Obyektni aniqlash, YOLO, Faster R-CNN, SSD, sun'iy intellekt, chuqur o‘qitish, video tahlili.

Аннотация. В данной статье представлен глубокий анализ передовых алгоритмов автоматического обнаружения и классификации объектов в видеоизображениях. Стремительное развитие искусственного интеллекта и глубокого обучения значительно повысило точность и эффективность этих процессов. В исследовании рассматриваются современные алгоритмы, такие как YOLO, Faster R-CNN и SSD, исследуются их основополагающие принципы, программные основы и практические приложения в различных областях. Статья направлена на предоставление комплексного представления о современных подходах к обнаружению объектов и их эффективной реализации.

Ключевые слова: обнаружение объектов, YOLO, Faster R-CNN, SSD, Искусственный интеллект, Глубокое обучение, Видеоаналитика.

Abstract: This article provides an in-depth analysis of advanced algorithms for automatic object detection and classification in video imagery. The rapid advancements in artificial intelligence and deep learning have significantly enhanced the accuracy and efficiency of these processes. The study examines state-of-the-art algorithms such as YOLO, Faster R-CNN, and SSD, exploring their underlying principles, software frameworks, and practical applications across various domains. The article aims to offer a comprehensive understanding of modern approaches to object detection and their effective implementation.

Keywords: Object detection, YOLO, Faster R-CNN, SSD, Artificial Intelligence, Deep Learning, Video Analytics.

KIRISH.

Hozirgi paytda ko‘plab sohalar sun’iy intellektga asoslangan yechimlarni o‘z faoliyatiga integratsiyalamoqda. Hozirda mavjud bo‘lgan sun’iy intellekt

ISSN 3030-3907

texnologiyalari orasida keng tarqalganlaridan biri bu kompyuterning ko‘rishidir. Kompyuter ko‘rish, sun’iy intellektning bir bo‘limi bo‘lib, u kompyuterlarga insonlar kabi tasvirlar va video yozuvlarning mazmunini ko‘rish va tushunishga yordam beradi. Ushbu texnologiya obyektlarni tanib olish, qonuniyatlarni aniqlash va ular nimani ko‘rayotganini tushunish imkonini beradi.

Olimlarning tadqiqotlariga ko‘ra, 2032 yilga borib kompyuterning ko‘rishi dunyo bozoridagi ulushi 175,72 milliard AQSh dollariga yetadi. Kompyuterning ko‘rishi sun’iy intellekt tizimlariga vizual ma’lumotlarni tahlil qilish va talqin qilish imkonini beruvchi turli vazifalarni qamrab oladi. Kompyuterning ko‘rishining eng ko‘p qo‘llaniladigan va muhim vazifalaridan biri bu obyektlarni aniqlashdan ibortadir.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYA. Maqolada uchta asosiy obyekt aniqlash algoritmlarini tahlil qilinadi: YOLO (You Only Look Once), Faster R-CNN (Region-based Convolutional Neural Network) va SSD (Single Shot MultiBox Detector). Bu modellarning arxitekturasi, hisoblash samaradorligi va aniqlik darajasi bo‘yicha solishtirish amalga oshiriladi.

Obyektlarni aniqlash vizual ma’lumotlarda obyektlarni tasniflashga qaratilgan. Masalan, kompyuterga sigir tasvirini ko‘rsatsak, u sigirni aniqlashi va uning atrofida chegaralovchi chiziqlarni chizishi mumkin. Bu qobiliyat hayvonlarni kuzatish, o‘zini o‘zi boshqaradigan avtomobillar va videokuzatuv kabi real ilovalarda foydalaniladi.

Ommabop obyektlarni aniqlash modellari. Obyektlarni aniqlash usullaridan biri bu kompyuterning ko‘rishi modellari yordamida aniqlashdir. Masalan, YOLO (You Only Look Once) obyektlarni aniqlash kabi kompyuterning ko‘rishi vazifalarini qo‘llab-quvvatlaydigan kompyuterning ko‘rishi modelidir.

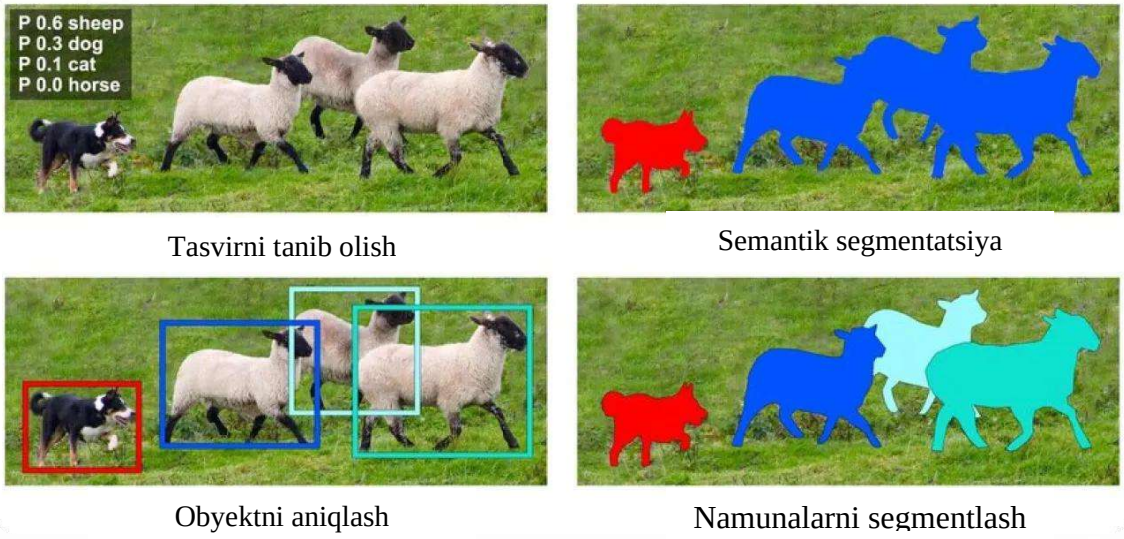
Obyektlarni tanib olish texnologiyasi turli sharoitlarda xavfsizlikni oshirish uchun videokuzatuv tizimlarida keng qo‘llaniladi. Masalan, maktab va bog‘chalarda bolalarni kuzatib borib ularni adashmaslikka yordam beradi. Xavfsizlik tizimlarida hududlarda qoidabuzarlarni aniqlash, olomonning gavjumligi yoki shubhali xatti-harakatlarini kuzatish, shuningdek, ruxsatsiz kirish aniqlanganda real vaqt rejimida ogohlantirishlar yuborishda muhim rol o‘ynaydi. Obyektlarni tanib olish kuzatuv tizimlarida xavfsizlikni oshiradi, monitoringni avtomatlashtiradi va potensial tahdidlarga tez javob berish imkonini beradi.

Obyektlarni aniqlash, tasvirlar yoki video yozuvlardagi obyektlarning joylashuvini aniqlovchi va belgilovchi kompyuterning ko‘rish vazifasidir. U ikki savolga javob beradi: “rasmda qanday obyektlar mavjud?” va “ular qayerda joylashgan?”.

ISSN 3030-3907

Obyektlarni aniqlash ikki asosiy bosqichni o‘z ichiga oluvchi jarayon sifatida ko‘rib chiqish mumkin. Birinchisi, obyektlarni tasniflash, tizimga obyektlarni tanib olish va belgilash imkonini beradi, masalan, o‘rganilgan namunalar asosida mushuk, avtomobil yoki insonni aniqlashni misol qilib olinsa, ikkinchi bosqichda ularni lokallashtirish, tasvirda obyektning paydo bo‘lish joyini ko‘rsatuvchi chegaralovchi chiziqlarni uning atrofiga chizish orqali obyektning joylashishini aniqlaydi. Bu bosqichlar birgalikda mashinalarga sahnadagi obyektlarni aniqlash va tushunish imkonini beradi.

Kompyuterning ko‘rishining boshqa vazifalari turli maqsadlarga qaratilgan. Masalan, tasvirlarni tasniflashda butun tasvirga belgi qo‘yiladi. Shu bilan birga, tasvirlarni segmentatsiyalash turli elementlarni piksel darajasida tushunishni ta’minlaydi, bu real vaqt rejimida bir nechta obyektlarni hisoblash kabi vazifalarda foydali hisoblanadi.



1-rasm. Kompyuterning ko‘rishi masalalarini taqqoslash

YOLO modellari tezligi, aniqligi va hammabopligi bilan mashhur. Yillar davomida bu modellar tezroq, aniqroq va kengroq masalalarni yechishga erishdi. YOLOv5 modeli PyTorch kabi freymvorklar bilan ishlashni soddalashtirdi. YOLOv8 modeli segmentlash, holatni baholash va tasvirlarni tasniflash kabi yangi funksiyalarni taqdim etdi. Hozirda YOLO12 modeli yanada rivojlanib, turli vazifalarda samaradorlikni oshirmoqda. U YOLOv8m modeliga qaraganda 22% kam parametrlardan foydalanib, YOLO12m COCO ma’lumotlar to‘plamida yuqori o‘rtacha aniqlikka erishgan.

YOLO12 modeli kompyuterning ko‘rishi ilovalari uchun samarali va shu bilan birga qulay yechimni taklif qiladi.

Kompyuterning ko‘rishi modellarni o‘qitish kompyuterlarga tasvir va video yozuvlarni tanib olish va ularni tushunishda yordam berishni o‘z ichiga oladi. Biroq, o‘qitish ko‘p vaqt talab qiladigan jarayondir. O‘qitishni boshidan boshlash

ISSN 3030-3907

o‘rniga, transfer learning umumiy qonuniyatlarini foydalanib oldindan o‘qitilgan modellardan foydalanilsa o‘qitish jarayoni tezlashtiriladi. Masalan, YOLO12 modeli COCO ma’lumotlar to‘plamida o‘qitilgan bo‘lib, u turli xil kundalik obyektlar to‘plamini o‘z ichiga oladi. Ushbu dastlabki o‘qitilgan model dastlabki ma’lumotlar to‘plamiga kirmasligi mumkin bo‘lgan o‘ziga xos obyektlarni aniqlashi uchun qo‘shimcha ravishda o‘qitilishi mumkin.

YOLO11 modelini o‘qitish uchun aniqlashni istagan obyektlarning rasmlarini o‘z ichiga olgan belgilangan ma’lumotlar to‘plami kerak bo‘ladi. Masalan, oziq-ovqat do‘konidagi turli xil mevalarni aniqlash uchun model qurmoqchi bo‘lsak, nomlari (olma, banan, apelsin va boshqalar) belgilangan rasmlar bilan ma’lumotlar to‘plamini yaratishimiz kerak. Ma’lumotlar to‘plami tayyor bo‘lganidan so‘ng, YOLO11 modelini kichik to‘plam hajmi, o‘qitish tezligi va davr kabi giper parametrlarini optimallashtirish orqali o‘qitish mumkin.

Ushbu yondashuv tufayli turli hil kompaniyalar YOLO11 modelini ishlab chiqarishdagi nuqsonli detallardan tortib, tabiatni muhofaza qilish loyihalarida yovvoyi hayvonlarning turlarigacha, modelni o‘z ehtiyojlariga moslashtirib o‘qitishlari mumkin.

YOLO11 modelining ning asosiy ishlash tamoyili, butun tasvirga bir o‘tishda ishlov berish uchun yagona konvolyutsion neyron tarmog‘idan foydalanishdan iborat.

YOLO12 modelining oldingi modellarida qo‘llaniladigan an’anaviy CNN yondashuvlaridan chetlashadigan, ammo ko‘plab ilovalar uchun zarur bo‘lgan real vaqt inferens (sun’iy intellekt modelini o‘qitish jarayonida olgan ma’lumotlarini bashorat qilish yoki qaror qabul qilish uchun qo‘llaydigan jarayon) tezligini saqlab qoluvchi diqqatga yo‘naltirilgan arxitekturasi taqdim etilgan. Ushbu model real vaqt rejimida unumdorlikni saqlab qolgan holda, diqqat mexanizmlari va umumiy tarmoq arxitekturasidagi yangi uslubiy innovatsiyalar tufayli obyektlarni aniqlashning zamonaviy aniqligiga erishadi. Ushbu afzalliklarga qaramay, YOLO12 modeli insonlar jamiyati tomonidan boshqariladigan bo‘lib, u o‘qitishning beqarorligini, yuqori xotira sarfini va katta diqqat bloklari tufayli protsessorning sekinroq o‘tkazuvchanligini ko‘rsatishi mumkin, shuning uchun Ultralytics tashkiloti YOLO11 modelini tavsiya qilmoqda.

YOLO xatolik funksiyasini topish usuli. YOLO modelida xatolik funksiyasini topish uch qismdan iborat bo‘ladi:

1. Koordinata xatoligi (Localization Loss)

$$\lambda_{coord}\sum_{i=0}^{S^2}\sum_{j=0}^{B}1_{ij}^{obj}\left[(x_i-\hat{x}_i)^2+(y_i-\hat{y}_i)^2+(w_i-\hat{w}_i)^2+(h_i-\hat{h}_i)^2\right]$$

ISSN 3030-3907

2. Tasniflash xatoligi (Classification Loss)

$$\sum_{i=0}^{S^2} 1_i^{obj} \sum_{c \in classes} (p_i(c) - \hat{p_i}(c))^2$$

Umumiy xatolik funksiyasi:

$$L = \lambda_{coord} L_{loc} + L_{class}$$

Faster R-CNN. Hozirgi zamonaviy ilg‘or modellarining aksariyati Faster R-CNN neyron tarmoq modeli asosida shakllangan. Faster R-CNN, bu tasvirdagi obyektlarni aniqlab, ularning atrofida chegaralovchi chiziqlar (bounding boxes) chizadigan va ularni tasniflaydigan obyekt aniqlash modelidir. U ikki bosqichli detektor hisoblanadi:

1-bosqich: Tasvir ichida obyekt bo‘lishi mumkin bo‘lgan hududlarni taklif qiladi. Buni Region Proposal Network (RPN) bajaradi.

2-bosqich: Taklif qilingan hududlar asosida obyektning sinfini aniqlaydi va chegaralovchi chiziqni yanada aniqroq joylashtiradi.

3-bosqich: Sohani taklif qilish tarmog‘i (Region Proposal Network, RPN)

Birinchi bosqichda tasvir dastlab konvolyutsion neyron tarmoq (masalan, ResNet yoki VGG16) orqali o‘tkaziladi. Ushbu jarayonda tasvirdagi muhim belgilar ajratib olinadi va ular asosida belgilar xaritasi hosil qilinadi. Belgilar xaritasining turli nuqtalariga oldindan belgilangan turli o‘lcham va shakldagi tayanch qutilar (Anchors) joylashtiriladi. Har bir tayanch quti tasvir ichidagi obyekt bo‘lish ehtimoli bor joylarni ifodalaydi.

Shundan so‘ng, hudud taklif qilish tarmog‘i ushbu tayanch qutilarning obyekt joylashgan yoki bo‘sh hudud ekanligini taxmin qiladi. Bunda, obyektga mos keluvchi tayanch qutilar ijobiy (old fon) tayanchlar, obyekt joylashmagan hududlar esa salbiy (fon) tayanchlar sifatida belgilanadi. Bundan tashqari, RPN tayanch qutilarning haqiqiy obyekt bilan mos kelishi uchun ularning koordinatalarini biroz siljitib, aniqlashtirish jarayonini ham amalga oshiradi.

Ushbu bosqichda ikkita asosiy xatolik funksiyasi ishlatiladi. Tasniflash xatolik modelga tayanch qutining obyektni o‘z ichiga olgan yoki olmaganligini aniqlashga yordam beradi. Regressiya xatoligi esa tayanch qutilarning haqiqiy obyekt chegaralariga aniq mos kelishi uchun ularning joylashuvini sozlashga xizmat qiladi.

2-bosqich: Obyektni tasniflash va qutini aniqlashtirish.

Birinchi bosqichdan so‘ng, RPN tomonidan aniqlangan soha takliflari (obyekt bo‘lish ehtimoli yuqori bo‘lgan qutilar) olinadi. Lekin, bu qutilarning o‘lchamlari turlicha bo‘lishi mumkin, neyron tarmoq esa doimiy o‘lchamdagi ma’lumotlar bilan ishlaydi. Shu sababli, ROI pooling (Region of Interest Pooling) usuli qo‘llaniladi. Ushbu usul soha takliflarini belgilangan o‘lchamga

ISSN 3030-3907

moslashtirib, kichik qismlarga bo‘lish va pooling texnikasi yordamida ularning hajmini bir xil qiladi.

Shundan so‘ng, har bir hudud kichik neyron tarmoqdan o‘tkazilib, uning ichidagi obyekt turi aniqlanadi. Masalan, obyekt mashina, it, inson yoki boshqa sinfda bo‘lishi mumkin. Ushbu jarayonda obyektlarni sinflarga ajratish uchun kross-entropiya xatoligi ishlatiladi.

Bundan tashqari, ushbu bosqichda obyekt joylashuvi yanada aniqroq bo‘lishi uchun qutilar yana bir bor sozlanadi. Bu jarayonda regressiya xatoligi qo‘llanib, obyektlarning aniq koordinatalari aniqlanadi.

Ushbu bosqich ko‘p vazifali o‘qitish tamoyiliga asoslangan bo‘lib, neyron tarmoq obyektlarni tasniflash va ularning qutilarini aniq sozlash jarayonlarini birgalikda o‘qitadi. Shu tariqa, model tasvir ichidagi obyektlarni to‘g‘ri aniqlabgina qolmay, ularning chegaralarini ham aniq belgilaydi [2].

a) Region Proposal Network (RPN) Loss

$$L_{RPN} = L_{cls} + \lambda L_{reg}$$

- Tasniflashdagi xatolik funksiyasi (Classification Loss)

$$L_{cls} = -\sum_i \left[p_i \log(\hat{p}_i) + (1 - p_i)\log(1 - \hat{p}_i) \right]$$

- Regressiya xatolik funksiyasi (Regression Loss)

$$L_{reg} = \sum_i p_i \sum_{j \in \{x,y,w,h\}} smooth_{L1}(t_i - \hat{t}_i)$$

Smooth L1 loss:

$$smooth_{L1}(x) = \begin{cases} 0.5x^2, agar\ |x| < 1 \\ |x| - 0.5, aks\ holda \end{cases}$$

b) Faster R-CNN umumiy xatolik funksiyasi

$$L = L_{RPN} + L_{FastRCNN}$$

SSD (Single Shot MultiBox Detector), bu obyektlarni aniqlash uchun ishlatiladigan tezkor va samarali neyron tarmoq arxitekturasi bo‘lib, u bir vaqtning o‘zida bir nechta obyektlarni aniqlash va ularni tasniflash imkoniyatiga ega. SSD ning asosiy afzalligi shundaki, u faqat bitta neyron tarmoq orqali obyektlarni aniqlaydi, bu esa uning tezligini oshiradi.

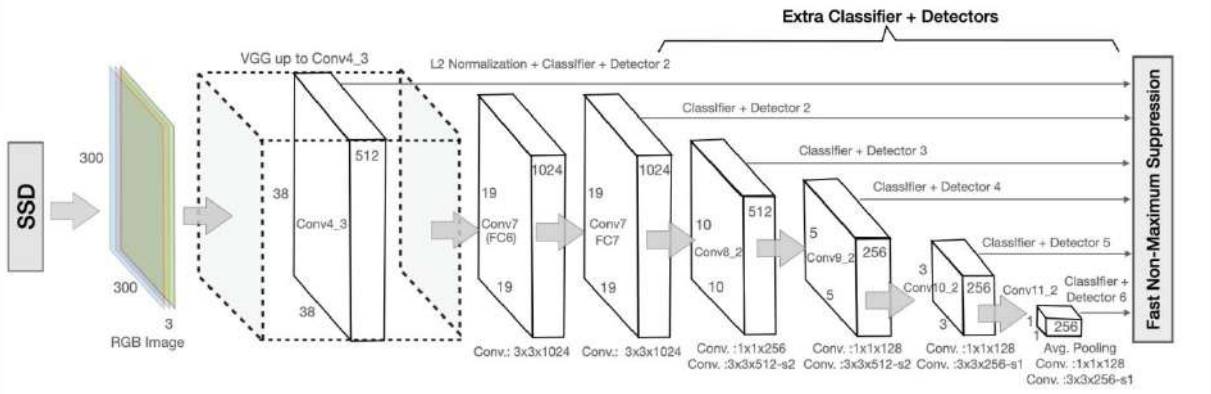
SSD bir nechta obyektlarni bir marta neyron tarmoqdan o‘tkazib, aniqlaydi va bu usul boshqa usullarga, masalan, R-CNN ga qaraganda tezroq ishlaydi. U turli o‘lchamdagi obyektlarni aniqlash uchun turli qatlamlardan foydalanadi, bu esa kichik va katta obyektlarni aniqlashda yaxshi natijalar beradi. SSD har bir piksel uchun bir nechta “anchor box” (standart qutilar) yaratadi va bu qutilar obyektlarning shakli hamda o‘lchamini taxmin qilishda yordam beradi. SSD

ISSN 3030-3907

asosan VGG16 kabi CNN arxitekturasi asosida qurilgan bo‘lib, uning ishlash jarayoni quyidagicha: avval asosiy neyron tarmoq (Backbone Network) yordamida kiruvchi tasvirning belgilari ajratiladi, so‘ng qo‘shimcha konvolyutsiya qatlamlari orqali turli o‘lchamdagi obyektlarni aniqlash uchun belgilar olinadi.

Multi-scale feature maps (turli qatlamlardan olingan belgilar xaritalari) yordamida kichik va katta obyektlarni aniqlash samarali amalga oshiriladi. Pastki qatlamlar katta obyektlarni, yuqori qatlamlar esa kichik obyektlarni aniqlashda yordam beradi. Har bir belgi xaritasida SSD anchor boxlar yordamida obyektlarni lokalizatsiya qiladi va ularni tasniflaydi. Har bir anchor box uchun obyektning klassini aniqlaydi va bounding box regressiyasini bajaradi. SSD ning ishlash jarayoni quyidagicha: tasvir neyron tarmoqga kiritiladi, so‘ng belgilar CNN orqali turli qatlamlarda ajratiladi, so‘ngra anchor boxlar yordamida obyektlarni aniqlash va tasniflash amalga oshiriladi. Nihoyat, aniqlangan obyektlarning bounding boxlari va sinflari chiqariladi. SSD ning asosiy afzalliklari orasida uning tezkorligi, turli o‘lchamdagi obyektlarni aniqlashda aniqligi va oddiyligi keltirish mumkin.

Biroq, uning ba’zi kamchiliklari ham bor, jumladan, ba’zan kichik obyektlarni aniqlashda muammolar yuzaga kelishi va anchor boxlarni to‘g‘ri sozlash jarayoni murakkab bo‘lishi mumkin. SSD real vaqtda obyektlarni aniqlash uchun keng qo‘llaniladi, masalan, avtonom transport vositalari, xavfsizlik tizimlari va boshqa kompyuterning ko‘rishi vazifalarida.



2-rasm. SSD modeli arxitekturasi

Rasmda keltirilgan so‘zlar izohi quyidagicha:

SSD – obyektlarni aniqlash tarmog‘i;

300x300 Image – kirish tasviri o‘lchami;

VGG-16 through Conv5_3 layer – VGG-16 neyron tarmog‘ining Conv5_3 qatlamigacha bo‘lgan qismi asosiy belgilarni ajratish uchun ishlatiladi;

Conv3_3 – konvolyutsion qatlam (38x38 o‘lchamdagi xarita, 512 kanalli);

ISSN 3030-3907

Conv6 (FC6) – kengaytirilgan konvolyutsiya qatlami (19x19 o‘lcham, 1024 kanalli);

Conv7 (FC7) – qo‘shimcha konvolyutsiya qatlami (19x19 o‘lcham, 1024 kanalli);

Conv8_2 – konvolyutsion qatlam (10x10 o‘lcham, 512 kanalli);

Conv9_2 – konvolyutsion qatlam (5x5 o‘lcham, 256 kanalli);

Conv10_2 – konvolyutsion qatlam (3x3 o‘lcham, 256 kanalli);

Conv11_2 – konvolyutsion qatlam (1x1 o‘lcham, 256 kanalli);

Classifier: conv 3x3x(4x(Classes+4)) – klassifikatsiya qatlami, har bir anchor box uchun sinf va bounding box koordinatalarini hisoblaydi;

Extra Feature Layers – qo‘shimcha belgilar qatlamlari, turli o‘lchamdagi obyektlarni aniqlash uchun ishlatiladi;

Detections: 8732 per Class – har bir sinf uchun 8732 ta aniqlangan obyekt;

Non-Maximum Suppression – bir-biriga o‘xshash bounding boxlarni o‘chirish algoritmi.

a) Tasniflashdagi xatolik funksiyasi (Classification Loss) ni aniqlash:

$$L_{conf} = -\sum_{i \in Pos} \log(\hat{p}_i) - \sum_{i \in Neg} \log(1 - \hat{p}_i)$$

b) Regresiya xatolik funksiyasi (Localization Loss)

$$L_{loc} = \sum_{i \in Pos} \sum_{j \in \{x,y,w,h\}} smooth_{L1}(t_i - \hat{t}_i)$$

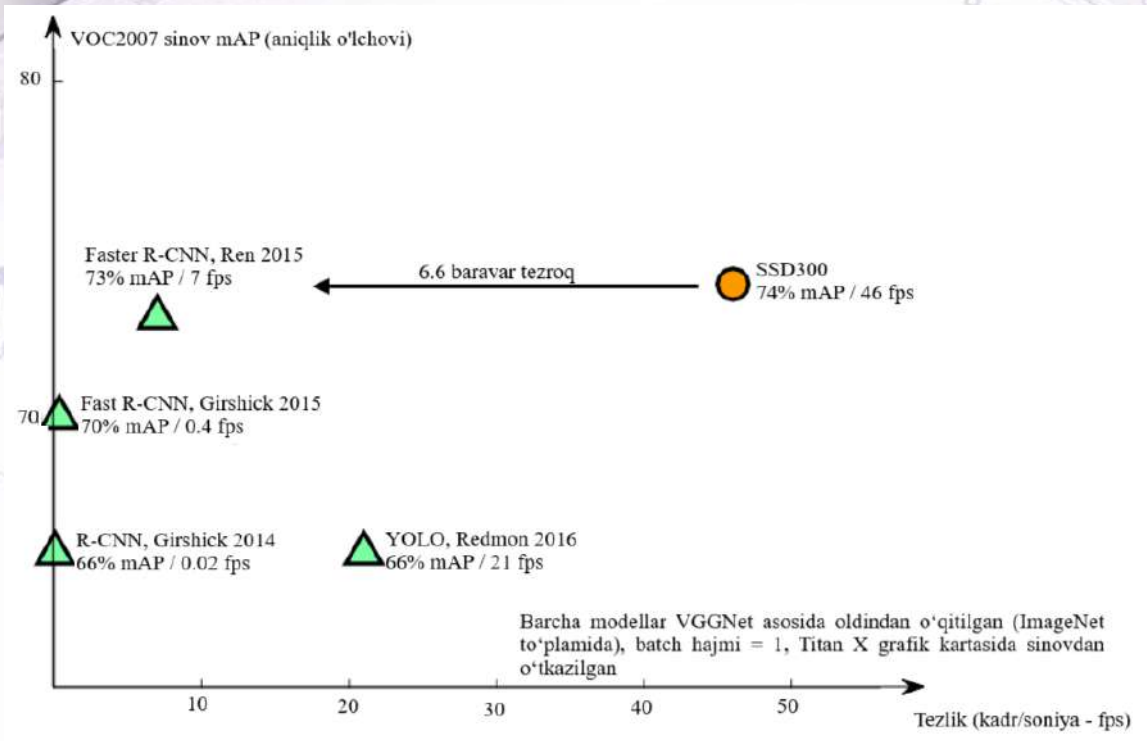
c) Umumiy SSD xatolik funksiyasi

$$L = L_{conf} + \alpha L_{loc}$$

Bu yerda α – regressiya va tasniflash xatoliklarini muvozanatlashtirish uchun ishlatiladigan giperparametr.

NATIJALAR. 3-rasmda asosiy obyektni aniqlash usullarining (R-CNN, Fast R-CNN, Faster R-CNN, YOLO va SSD300) tezlik va aniqlik bo‘yicha tarqalish diagrammasi keltirilgan. Taqqoslash adolatli bo‘lishi uchun barcha modellar bir xil sharoitda sinovdan o‘tkazilgan (asosiy tarmoq sifatida VGG16 ishlatilgan, batch hajmi 1 va Pascal VOC2007 test to‘plamida sinovdan o‘tkazilgan). Shuni ta’kidlash joizki, YOLO va SSD300 yagona bosqichli (single-shot) detektorlar bo‘lsa, qolganlari region taklifi asosida ishlovchi ikki bosqichli (two-stage) modellar hisoblanadi.

ISSN 3030-3907



3-rasm. SSD va Faster R-CNN va YOLO ishlashini taqqoslash.

Yuqoridagi grafikdan quyidagi xulosalarni chiqarish mumkin:

SSD300 modeli eng yuqori tezlik va aniqlik qiymatiga ega. U 74% mAP aniqlik bilan 46 fps tezlikda ishlaydi, bu esa uni real vaqtda ishlash uchun eng mos variantga aylantiradi. Faster R-CNN modeli aniqlik bo‘yicha yaxshi natija ko‘rsatsa ham, u SSD300 ga qaraganda 6.6 marta sekinroq natijani bergan.

Ikki bosqichli (two-stage) modellar, jumladan, R-CNN, Fast R-CNN va Faster R-CNN, aniqlikni oshirishga harakat qilgan, lekin ularning tezligi sezilarli darajada past. Masalan, R-CNN atigi 0.02 fps, Fast R-CNN esa 0.4 fps tezlikka ega bo‘lib, real vaqt uchun mos emas. Faster R-CNN tezlikni 7 fps gacha oshirgan bo‘lsa ham, SSD300 bilan taqqoslaganda ancha sekin.

YOLO modeli esa 21 fps tezlikka ega bo‘lib, Faster R-CNN va Fast R-CNN ga nisbatan ancha tez ishlaydi. Biroq uning 66% mAP aniqligi SSD300 yoki Faster R-CNN’dan pastroq.

Umuman olganda, tezkor va aniq model tanlashda SSD300 eng yaxshi variant bo‘lib ko‘rinmoqda. Agar aniqlik muhim bo‘lsa, Faster R-CNN tanlanishi mumkin, lekin u ancha sekin ishlaydi. YOLO esa tez ishlov berish talab qilinadigan, ammo maksimal aniqlik shart bo‘lmagan holatlarda yaxshi tanlov bo‘lishi mumkin [3].

XULOSA. Maqolada uchta asosiy obyektni aniqlashning neyron tarmoq modeli – YOLO, Faster R-CNN va SSD – tahlil qilinib, ularning afzallik va kamchilik tomonlari o‘rganildi. YOLO modeli bir bosqichli yondashuvga asoslangan bo‘lib, tezkor va samarali hisoblanadi. Faster R-CNN esa ikki

ISSN 3030-3907

bosqichli detektor bo‘lib, aniqroq natijalar taqdim etadi. SSD modeli esa ushbu ikkala yondashuvning afzalliklarini o‘zida mujassamlashtirib, balansli yechimni ta’minlaydi.

Barcha modellar konvolyutsiya va RoI Pooling kabi muhim texnologiyalarga asoslanib, obyektlarni aniqlashda yuqori aniqlik va samaradorlikni ta’minlaydi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, real vaqt rejimidagi dasturlar uchun YOLO ustunlik qilsa, aniq obyektni lokalizatsiyasi talab etiladigan vaziyatlarda Faster R-CNN yanada samarali hisoblanadi. Shunday qilib, obyektlarni aniqlash algoritmlarini tanlashda, qo‘llaniladigan soha va talab qilinadigan xususiyatlar muhim ahamiyatga ega.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Peiyuan Jiang, Daji Ergu, Fangyao Liu, Ying Cai, Bo Ma: A Review of Yolo Algorithm Developments. Procedia Computer Science Volume 199, 2022, Pp:1066-1073.
2. Rishabh Singh: Understanding and Implementing Faster R-CNN. Medium, October 15, 2024.
3. Wei Liu, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegedy, Scott Reed, Cheng-Yang Fu, Alexander C. Berg, “SSD: Single Shot MultiBox Detector”. Google Inc., University of Michigan.
4. Nosirov K., Norinov M., Abdukadirov B. Image filtering algorithm based on the analysis of the main components // International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). – 2019. Pp. 1-3.
5. Norinov M., Abdukadirov B., Gofurov M. Application of Fourier Methods and Discrete-Cosinus Transformation in the Process of Processing of TV Images // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. – 2019. – Vol. 8, Issue 9S3. – Pp. 1565-1568.
6. Niyozmatova N., Mamatov N., Samijonov A., Abdukadirov B., Abdullayeva B. Algorithm for determining the coefficients of the interpolation polynomial of Newton with separated differences // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 862, Issue 042019. – Pp. 1-4.

ISSN 3030-3907

POLIMER QO‘SHIMCHALAR YORDAMIDA GIDROFOB BETON ISHLAB CHIQARISH

Imamov Suxrob Solexovich
Buxoro davlat texnika universiteti tayanch doktoranti
Toshpo‘latov Murodjon Bahodir o‘g‘li
Buxoro davlat texnika universiteti talabasi
Bekmurodov Ozodbek Jonibekovich
Buxoro davlat texnika universiteti talabasi
Hidoyatov Asadbek Furqatovich
Buxoro davlat texnika universiteti talabasi
Nuriddinov Bexruz Baxriddinovich
Buxoro davlat texnika universiteti talabasi
Sultonov Qodirbek Sobir o‘g‘li
Buxoro davlat texnika universiteti talabasi

Annotatsiya. Mazkur maqolada polimer qo‘shimchalar yordamida gidrofob beton ishlab chiqarish texnologiyasi, polimer modifikatorlarning betonning fizik-mexanik xossalariga ta’siri hamda suvga chidamlilik ko‘rsatkichlarini oshirishdagi ahamiyati yoritilgan. Beton tarkibiga polimer qo‘shimchalar kiritilishi natijasida uning g‘ovak tuzilishi kamayishi, suv shimuvchanligi pasayishi va mustahkamlik xususiyatlari yaxshilanishi tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari polimer asosidagi gidrofob betonlarning zamonaviy qurilishda samarali material ekanligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: gidrofob beton, polimer qo‘shimcha, modifikatsiya, suv shimuvchanlik, beton texnologiyasi, gidrofobizator, suv o‘tkazmaslik, beton mustahkamligi, polimer beton, qurilish materiallari.

Аннотация. В статье рассмотрены технологии производства гидрофобного бетона с применением полимерных добавок, влияние полимерных модификаторов на физико-механические свойства бетона и повышение его водостойкости. Проанализированы процессы уменьшения пористой структуры бетона, снижения водопоглощения и повышения прочностных характеристик. Результаты исследований показывают, что гидрофобные бетоны на основе полимерных добавок являются эффективными материалами для современного строительства.

Ключевые слова: гидрофобный бетон, полимерная добавка, модификация, водопоглощение, технология бетона, гидрофобизатор, водонепроницаемость, прочность бетона, полимербетон, строительные материалы.

Abstract. This article discusses the production technology of hydrophobic concrete using polymer additives, the influence of polymer modifiers on the

physical and mechanical properties of concrete, and methods of improving water resistance. The reduction of porous structure, decrease in water absorption, and improvement of strength characteristics are analyzed. Research results demonstrate that polymer-based hydrophobic concrete is an effective material for modern construction.

Keywords: hydrophobic concrete, polymer additive, modification, water absorption, concrete technology, hydrophobic agent, waterproofness, concrete strength, polymer concrete, construction materials.

KIRISH.

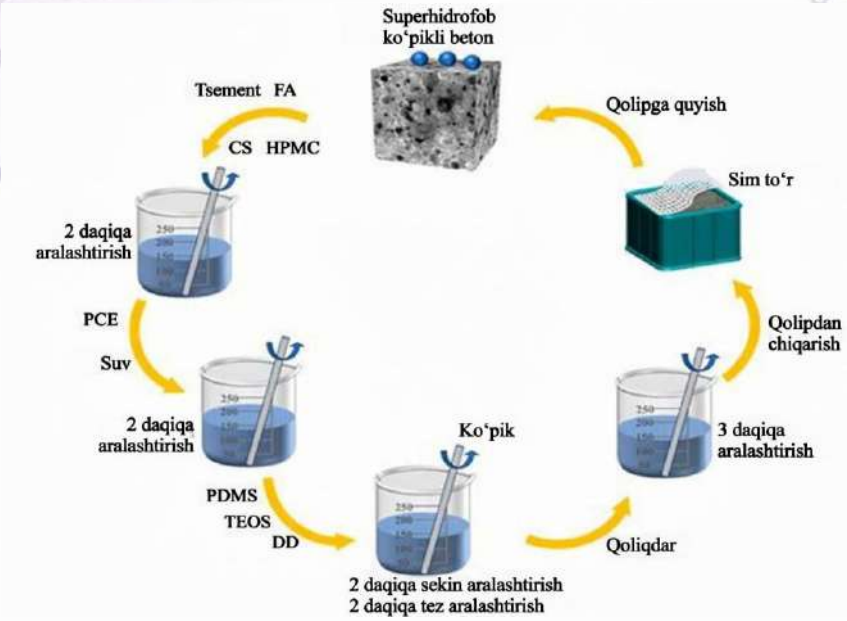
Qurilish sanoatining rivojlanishi bilan yuqori mustahkamlikka ega, uzoq muddat xizmat qiluvchi va tashqi muhit ta’siriga chidamli qurilish materiallariga bo‘lgan talab ortib bormoqda. Ayniqsa, namlik yuqori bo‘lgan hududlarda foydalaniladigan beton konstruksiyalarda suv ta’sirida emirilish jarayonlari muhim muammolardan biri hisoblanadi. Suv betonning ichki kapillyar g‘ovaklari orqali kirib borib, uning strukturasiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Natijada betonning mustahkamligi pasayadi, armaturalarda korroziya jarayonlari boshlanadi va konstruksiyaning xizmat muddati qisqaradi.

Shu sababli betonning suvga chidamliligini oshirish va g‘ovak tuzilishini kamaytirish zamonaviy qurilish materiallari texnologiyasining asosiy yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. So‘nggi yillarda betonlarni polimer qo‘shimchalar yordamida modifikatsiyalash keng qo‘llanilmoqda. Polimer moddalar betonning ichki strukturasini zichlashtirib, suv o‘tkazuvchanligini kamaytiradi va gidrofob xususiyatlarni hosil qiladi.

Polimer qo‘shimchalar asosida tayyorlangan gidrofob betonlar yuqori suv o‘tkazmaslik, sovuqqa chidamlilik va mexanik mustahkamlik ko‘rsatkichlariga ega bo‘lib, gidrotexnika inshootlari, ko‘priklar, tunnellar va sanoat obyektlari qurilishida samarali qo‘llanilmoqda.

ASOSIY QISM. Betonning asosiy kamchiligi uning kapillyar-g‘ovak tuzilishga egaligidir. Aynan shu g‘ovaklar orqali suv beton ichiga kiradi. Namlikning beton tarkibiga kirishi vaqt o‘tishi bilan mikro yoriqlar hosil bo‘lishiga olib keladi. Ayniqsa sovuq iqlim sharoitida suvning muzlashi natijasida ichki bosim hosil bo‘lib, beton emirilishi tezlashadi. Shu sababli betonning suv shimuvchanligini kamaytirish muhim texnologik vazifa hisoblanadi.

ISSN 3030-3907



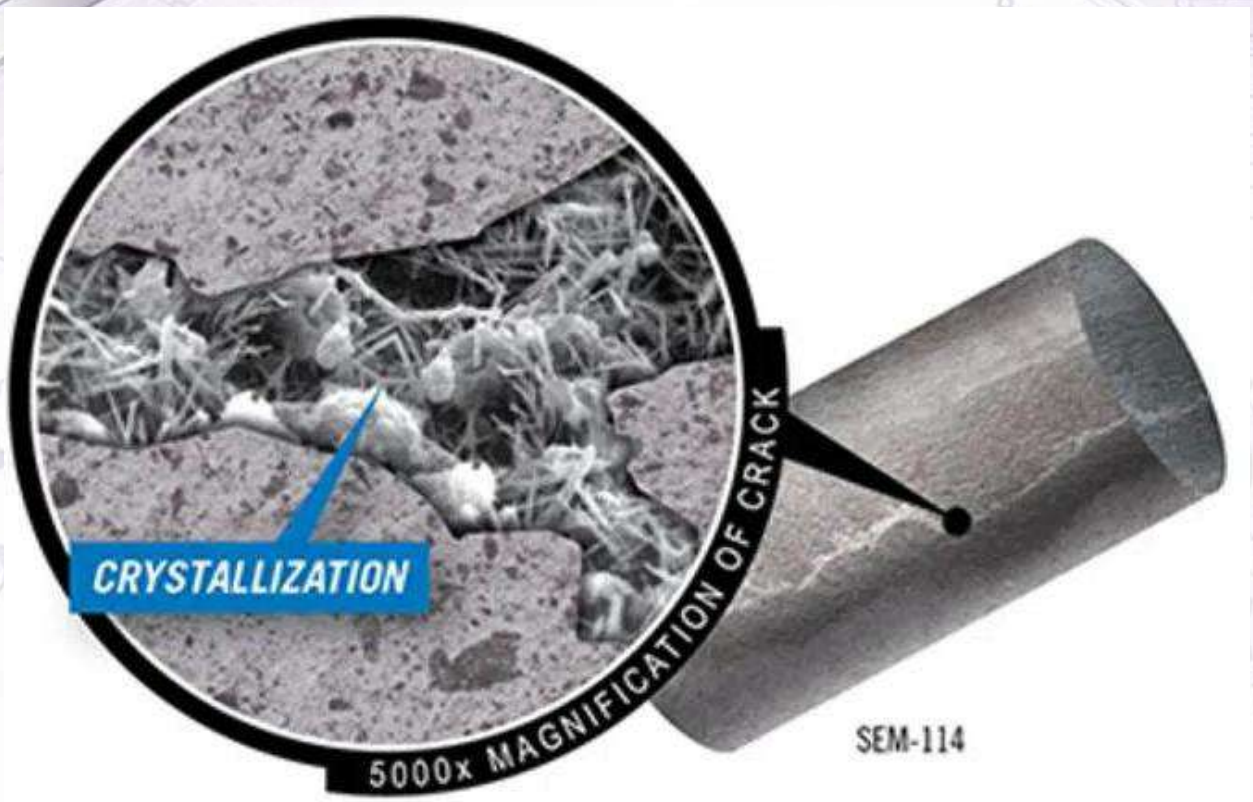
1-rasm:Polimer qo‘shimchalar yordamida gidrofob beton tayyorlash sxemasi

Polimer qo‘shimchalar betonning gidrofob xossalarini yaxshilashda samarali modifikator sifatida ishlatiladi. Polimerlar sement zarralari bilan o‘zaro ta’sirlashib, beton tarkibida yupqa elastik himoya qatlam hosil qiladi. Ushbu qatlam kapillyar g‘ovaklarni yopadi va suvning beton ichiga kirishiga to‘sqinlik qiladi.

Gidrofob beton ishlab chiqarishda ko‘pincha akril polimerlar, lateks emulsiyalari, epoksid birikmalar, silikon polimerlar va poliuretan asosidagi moddalar qo‘llaniladi. Ayniqsa silikon va lateks asosidagi qo‘shimchalar yuqori gidrofob effekt hosil qilishi bilan ajralib turadi.

Polimer modifikatsiyalangan beton ishlab chiqarish jarayoni bir necha bosqichdan iborat bo‘ladi. Dastlab sement, qum va shag‘al quruq holatda aralashtiriladi. Keyinchalik suv bilan birgalikda polimer qo‘shimcha qorishmaga qo‘shiladi. Aralashtirish jarayonida polimer moddalar beton tarkibida bir tekis taqsimlanishi muhim ahamiyatga ega. Shundan so‘ng tayyor qorishma qoliplarga quyilib, vibratsion usulda zichlanadi.

ISSN 3030-3907



2-rasm:Beton yoriqlarida kristallashuv jarayoni (SEM tasviri)

Betonning sifat ko‘rsatkichlari ishlatilayotgan polimer turi va miqdoriga bog‘liq bo‘ladi. Tajribalar natijasiga ko‘ra, polimer qo‘shimcha miqdori sement massasiga nisbatan 1–5 % oralig‘ida qo‘llanganda eng samarali natijalar kuzatiladi.

Quyidagi jadvalda oddiy beton va polimer modifikatsiyalangan gidrofob betonning ayrim ko‘rsatkichlari taqqoslangan.

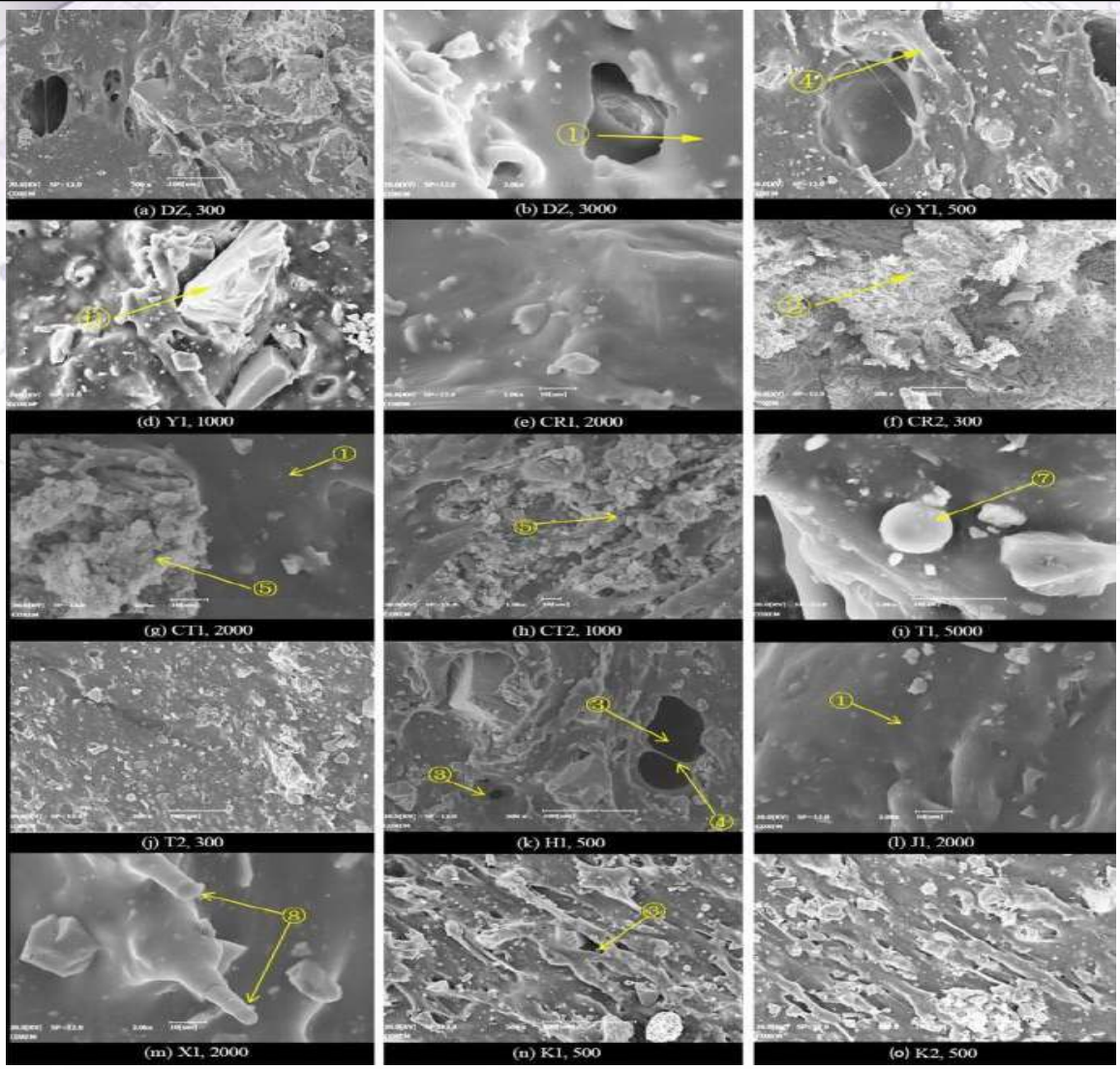
1-jadval

Ko‘rsatkich	Oddiy beton	Polimer gidrofob beton
Suv shimuvchanligi	4–8 %	0.5–1.5 %
Siqilish mustahkamligi	25–30 MPa	40–50 MPa
Sovuqqa chidamlilik	F100–F150	F300–F400
Suv o‘tkazmaslik markasi	W2–W4	W8–W12
Xizmat muddati	30–40 yil	50–70 yil

Polimer qo‘shimchalarning beton xossalariga ta’siri betonning mikrostrukturasi bilan bog‘liq. Polimer zarralari sement gidratatsiyasi mahsulotlari bilan birikib, qo‘shimcha bog‘lovchi struktura hosil qiladi. Bu esa betonning zichligini oshiradi va g‘ovaklar sonini kamaytiradi. Natijada betonning suv o‘tkazuvchanligi keskin pasayadi.

Quyidagi rasmda oddiy beton va polimer modifikatsiyalangan betonning mikrostrukturasi taqqoslangan.

ISSN 3030-3907

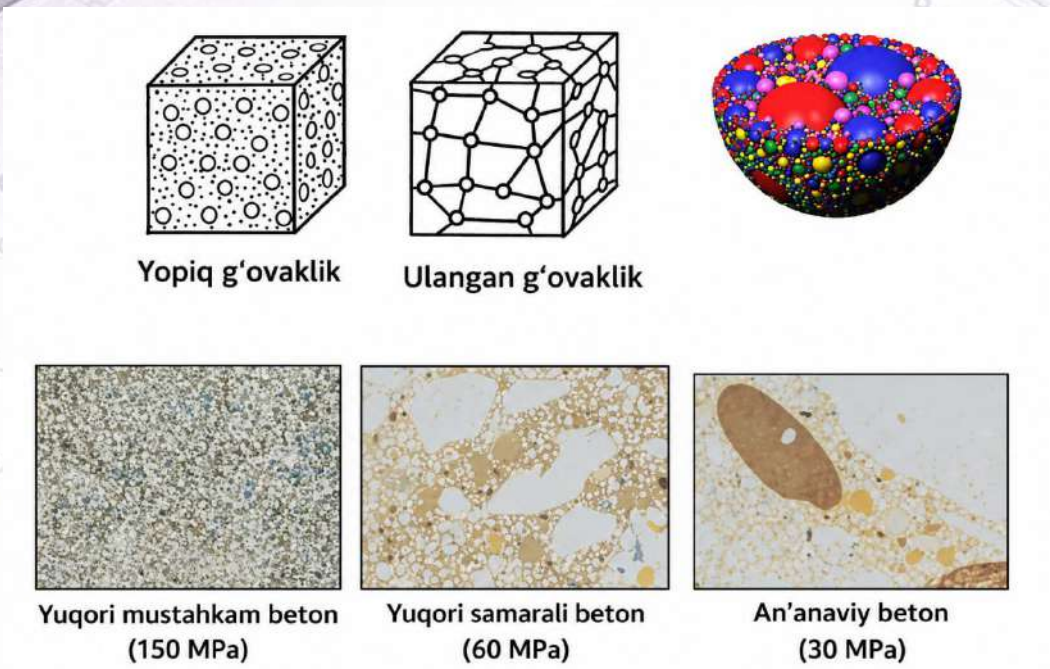


3-rasm: Polimer qo‘shimchalar ta’siridagi betonning skaner elektron mikroskopiyasi

Polimer qo‘shimchalar betonning deformatsion xossalariga ham ijobiy ta’sir ko‘rsatadi. Oddiy beton mo‘rt material bo‘lsa, polimer modifikatsiyalangan beton ma’lum darajada elastiklikka ega bo‘ladi. Bu esa dinamik yuklamalar ta’sirida yoriqlar hosil bo‘lishini kamaytiradi.

Gidrofob polimer betonlar bugungi kunda ko‘priklar, suv omborlari, er osti tunnellari, metro inshootlari va sanoat korxonalarida keng qo‘llanilmoqda. Ayniqsa kimyoviy agressiv muhitlarda ishlatiladigan konstruksiyalar uchun bunday betonlar juda samarali hisoblanadi.

ISSN 3030-3907



4-rasm: Betonning ichki tuzilishi va mustahkamlik ko‘rsatkichlari

So‘nggi yillarda nano-polimer qo‘shimchalar asosida yangi avlod gidrofob betonlarini yaratish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Nanozarrachalar beton tarkibidagi mikro bo‘shliqlarni to‘ldirib, uning suvga chidamliligini va mexanik xossalarini yanada yaxshilaydi.

ILMIY YANGILIGI. Mazkur tadqiqotning ilmiy yangiligi polimer qo‘shimchalar yordamida gidrofob betonlarning mikrostrukturasi va suv o‘tkazmaslik xossalarini kompleks baholashdan iborat. Tadqiqot davomida polimer modifikatorlarning beton kapillyar-g‘ovak tuzilishini kamaytirishi hamda suv shimuvchanligini sezilarli pasaytirishi aniqlangan. Shuningdek, polimer qo‘shimchalarning betonning siqilishdagi mustahkamligi va sovuqqa chidamliligiga ijobiy ta’siri ilmiy jihatdan asoslab berilgan.Bundan tashqari, mahalliy xomashyo asosida olinadigan polimer modifikatorlardan foydalanish imkoniyatlari tahlil qilinib, ularning iqtisodiy samaradorligi ko‘rsatib berilgan.

XULOSA. Polimer qo‘shimchalar yordamida gidrofob beton ishlab chiqarish zamonaviy qurilish materiallari texnologiyasining istiqbolli yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Polimer modifikatorlar betonning g‘ovak tuzilishini kamaytirib, suv o‘tkazmaslik xususiyatini sezilarli yaxshilaydi. Natijada betonning sovuqqa chidamliligi, mexanik mustahkamligi va ekspluatatsion xizmat muddati ortadi.

Tadqiqot natijalari polimer asosidagi gidrofob betonlarning gidrotexnika inshootlari, ko‘priklar, tunnellar va sanoat obyektlarida samarali material ekanligini ko‘rsatdi. Kelgusida ekologik xavfsiz va iqtisodiy samaradorligi yuqori

ISSN 3030-3907

bo‘lgan yangi polimer modifikatorlarni yaratish beton texnologiyasining muhim 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. Xolmirzayev U.X. Qurilish materiallarining fizik-kimyoviy asoslari. – Toshkent: Voris-Nashriyot, 2020. – 298 b.
3. Ismatullayev P.R. Polimer qurilish materiallari. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2021. – 264 b.
4. Karimov B.X., Rasulov F.M. “Polimer qo‘shimchalarning beton mustahkamligiga ta’siri”. // *Qurilish materiallari va buyumlari*. – Toshkent, 2022. – №4. – B. 52–57.
5. Muminov O.S. “Gidrofob betonlarning suv shimuvchanlik xossalari”. // *Architecture and Construction Problems*. – Samarqand, 2021. – №3. – B. 61–67.
6. Tursunov D.Q., Nurmatov A.T. “Polimer modifikatsiyalangan betonlarning fizik-mexanik xususiyatlari”. // *Ilm-fan va innovatsiya*. – Toshkent, 2023. – №5. – B. 84–90.
7. Рахимов Р.Р. Полимербетоны и их свойства. – Москва: Высшая школа, 2017. – 312 с.
8. Ramachandran V.S. Concrete Admixtures Handbook. – New York: Noyes Publications, 2015. – 1150 p.
9. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties and Materials. – New York: McGraw-Hill Education, 2017. – 704 p.
10. Aitcin P.C. High Performance Concrete. – London: CRC Press, 2018. – 591 p.
11. Ohama Y. Polymer-Based Admixtures. – London: CRC Press, 2019. – 402 p.
12. Fowler D.W. “Polymers in Concrete: A Vision for the 21st Century”. // *Cement and Concrete Composites*. – 2016. – Vol. 21. – P. 449–452.

ISSN 3030-3907

UDK.547.945.913.757.662.94.92

SEPARATION AND STRUCTURE OF 5-METHYLIMIDAZOLIDINE-2,4-DIONE FROM THE FUNGUS AGARICUS BISPORUS GROWN IN NATURAL CONDITIONS

Nomozova M.Z.
Karshi State University, Karshi city, 180103. Republic of Uzbekistan, Karshi, Kuchabog‘ street, 17. qarshidu@mail.ru
Kamolov L.S.
Karshi State University, Karshi city, 180103. Republic of Uzbekistan, Karshi, Kuchabog‘ street, 17. qarshidu@mail.ru
Jurakulova N.K.
Karshi State University, Karshi city, 180103. Republic of Uzbekistan, Karshi, Kuchabog‘ street, 17. qarshidu@mail.ru

Abtract. The reason why the white button fungus, namely Agaricus bisporus strain, is widely used and used on large scales around the world is that, in addition to its excellent flavor and nutritional composition, it is very diverse and synthesizes a large number of primary and secondary metabolites. As part of this study, the aim was to chemically profile the secondary metabolites contained in the naturally grown A. bisporus (brown) fungus and to determine the chemical structure of some of them. From biomass obtained from ethanol extract of Agaricus bisporus fungus, by column chromatography by sequential washing in a solvent system, namely chloroform: methanol 19:1 (v/v) fractionation step, results in 2,4-imidazolidinedione,5-methyl was determined by GC-MS chromatography and the chemical formula of the compound 2,4-imidazolidinedione,5-methyl determined on the basis of IR and NMR spectroscopic analyses. The biological activity of the obtained secondary metabolites was commented on.

Keywords: A. bisporus, secondary metabolite, 5-methylimidazolidine-2,4-dione, GC-MS, NMR spectroscopy, biologic activity.

Аннотация. Причина широкого использования белого шампиньона, а именно штамма Agaricus bisporus, в больших масштабах по всему миру заключается в том, что, помимо превосходного вкуса и питательного состава, он очень разнообразен и синтезирует большое количество первичных и вторичных метаболитов. В рамках данного исследования целью было провести химический анализ вторичных метаболитов, содержащихся в естественно произрастающем грибе A. bisporus (коричневом), и определить химическую структуру некоторых из них. Из биомассы, полученной из этанольного экстракта гриба Agaricus bisporus, методом колоночной хроматографии с последовательной промывкой в системе растворителей, а именно хлороформ:метанол 19:1 (об)/об), методом

ISSN 3030-3907

фракционирования был определен 2,4-имидазолидиндион,5-метил, а химическая формула соединения 2,4-имидазолидиндион,5-метил была определена на основе ИК- и ЯМР-спектроскопического анализа. Была прокомментирована биологическая активность полученных вторичных метаболитов.

Ключевые слова: A. bisporus, вторичный метаболит, 5-метилимидазолидин-2,4-дион, ГХ-МС, ЯМР-спектроскопия, биологическая активность.

Annotatsiya. Dunyo bo‘ylab oq tugmachali qo‘ziqorin ya’ni Agaricus bisporus shtammlari keng tarqalgani va katta miqiyosida foydalanilishining sababi uning ajoyib mazasi va ozuqaviy tarkibidan tashqari juda xilma-xil va ko‘p miqdordagi birlamchi va ikkilamchi metabolitlarni o‘zida sintezlashidir. Ushbu tadqiqot doirasida tabiiy sharoitda o‘sgan A. bisporus (jigarrang) qo‘ziqorini tarkibidagi ikkilamchi metabolitlarni kimyoviy profillash va ba’zilarini kimyoviy tuzilishi aniqlashga qaratildi. Agaricus bisporus qo‘ziqorinining etanolli ekstraktidan olingan biomassasidan kalonkali xromatografiya usuli yordamida erituvchilar sistemasida keta-ket yuvish natijasida, aynan xloroform: methanol 19:1 (v/v) fraksiyalash 2,4-imidazolidinedione,5-metil, birikmasi GC-MS xromatografiyasi yordamida aniqlandi hamda shu fraksiyalash bosqichida ajratib olingan 2,4-imidazolidinedione,5-metilga o‘xshash deb taxmin qilingan birikmasining IQ va NMR spektroskopik tahlillari asosida kimyoviy tuzulishi aniqlandi. Olingan ikkilamchi metabolitning biologik faolliklariga izoh keltirildi.

Kalit so‘zlar: A. bisporus, ikkilamchi metabolit, 2,4-imidazolidinedione,5-metil, biologik faollik, YaMR spektri, GX-MS

INTRODACTION.

Agaricus bisporus is one of the most important fungi in terms of its worldwide cultivation and consumption, it is a species distinguished not only by its valuable nutritional composition, but also by the presence of various secondary metabolites contained in it. For this reason, attention has been paid to the sources on secondary metabolites in A. bisporus. In A. bisporus species, phenolic, flavonoid, and saturated fatty acid compounds were found to be 28.74 mg g-1, 9.56 mg g-1 and 45.64%, respectively [1]. In the wild edible species of this species found in the Zarnagh region, metabolites such as quercetin and kaempferol, rutin, myriccetin, have been detected by HPLC-UV analysis [2]. Based on infrared spectroscopy examination, the bioactive chemical components, especially β-(1→3)-glucan, are known to be very similar [3]. The resulting findings indicate that (a) ethanolamines and cholines are the bulk of diacylphospholipids, (b) sterols are relatively large in the presence of mainly ergosterols, and (c) the phospholipidic fatty acid content consists of almost linoleic acid [4]. Two fatty

ISSN 3030-3907

acids, namely methyl esters (the relative amount of more than 40%, are known): methyl (E, E)-9,12-octadecadienoate (methyl linoleate) and methyl (Z)-9-octadecanoate (methyl oleate) [5]. Agaricus blazei is known to contain unique agaricol compounds with anti-cancer activity as used against liver cancer [6]. A. bisporus linoleic acid, phenolic, indole, sterol, and vitamins D2, B1, B2, B6, B7, and C [7]. In the wild strain CCMJ1363 of A. bisporus, large amounts of phenolic compounds such as -7,840 mg gallic acid as well as metabolites such as 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl have been identified [8]. A large amount of ergothionine, phenolic compounds, and antioxidant properties were also present in the fungal strain A-SPA15 (brown color) when the phenolic compound analysis was performed with the Folin-Ciocalteau method [9]. The reconstituted crude polysaccharides contained 11.57% α-glucan and 16.37% β-glucan. Carbohydrates are known to make up 44.18% [10]. The major antioxidant components found in ethanol extracts were total phenols (9.44 to 10.02 μg/g). Common antioxidant components (ascorbic acid, total tocopherols, and total phenols) have been studied [11]. A total of 19 phenolic compounds have been found in the ABE substrate: polyphenols (caffeine, chlorogen, catechin, gallic and ferulic acids, resorcinol, propyl quercchin, rutin, didroxacetine, l-didroxyphenylalanine, gallate) and monophenols (phenol, p- nitrophenol, o-cresol, m- cresol l-tyrosine, o-nitrophenol, guaacol, p- cresol) [12]. A significantly higher amount of uridine levels has been found in culture strains of A. bisporus [13]. The fact that A. brasiliensis is rich in large amounts of unsaturated fatty acids, phenolic acids, tocopherols, and ergosterols has been identified in ethanol and methanol extracts [14].

Traces of carbohydrates such as mannose and xylose in Agaricus bisporus have been detected using gas chromatography [15]. Agaricus bisporus is known to contain gallic, trans-cinnamon, and chlorogenic acids [16]. In GC-MS analysis of hexane and ethyl acetate extracts of this fungus, derivatives of butyl ester, behenic alcohol, S, S-dioxide were found to contain some effective microbial resistance active ingredients [17]. Linoleic acid and 1-octen-3-ol are known to be major fatty acid and flavor compounds, respectively [18]. The soluble sugars in A. bisporus arabitol, glucose, and trehalose were considered to be higher than 10% [19]. Ergosterol, brassicasterol, trilinolein, and linoleic acid have been isolated from dichloromethane extracts of A. bisporus [20]. This type of pleasant almond flavor has been found to be complementary flavoring compounds benzyl alcohol, methyl benzoate, and 4-hydroxybenzaldehyde, along with the main volatile campounds benzaldehyde and benzoic acid [21]. Higher amounts of benzyl alcohol, furancarboxaldehyde, benzaldehyde, sedrol volatile compounds than several varieties of this species from Tibet have been identified [22].

ISSN 3030-3907

MATERIAL AND METHODS.

Under natural conditions, the fungus A. bisporus (brown) was harvested as a biomass with its fruit and cap in field fields in Kashkadarya region, Kasbi, Mirishkor and Koson districts, and the resulting mass was completely dried at room temperature and ground until it became a powder. The finished mass was dissolved (3:1), extracted and filtered several 10 times in an ethyl alcohol (96%). The resulting filtration is extracted by driving 78.5℃ in a vacuum rotor evaprotor to extract biomass 12,4 gr. Biommasa was dried, placed in a chromatographic column and fractionated in a system of different solvents. The fraction obtained in the chloroform: methanol (19:1) system of washing in solvents was analyzed by GX-MS [23].

Chromatec 5000 gas chromatographide (GC) equipped with HP-5 column (30 m × 0.32 mm × 0.25 μm) was performed. Helium was used as the carrier gas. Temperature of the GX evaporator was initially kept at 80°C for 5 min, then temperature was raised to 300°C at a speed of 4°C/min and held for 30min. The components were identified from the mass spectra of each component after comparing it with the available spectral data from the MS library NIST 2017.

NMR spectra were acquired on a JNM-ECZ600R spectrometer (600 MHz for 1H and 150 MHz for 13C, JEOL, Japan) in CD3OD. TMS (δ 0.00 ppm) was used as an internal standard for 1H NMR shifts, and solvent signals (CD3OD, 49.00 ppm vs. TMS) were used as a reference for 13C NMR shifts.

RESULTS AND DISCUSSION.

By fractionation in the chloroform: methanol (19:1) system of the fungus Agaricus bisporus, 5-methylimidazolidin-2,4-dione was obtained, and its structure was determined using physical survey methods (Fig. 1).

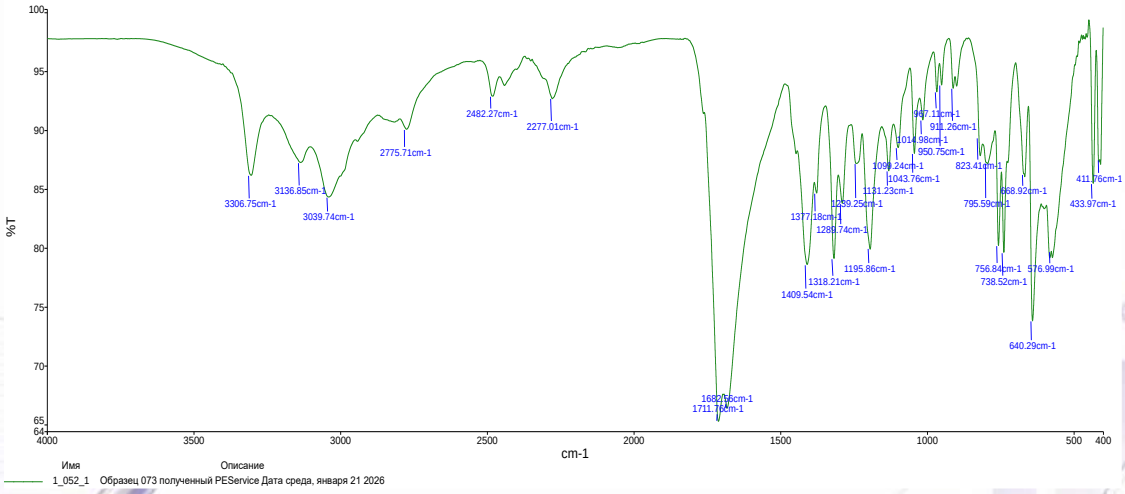
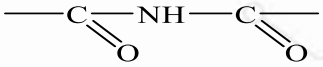


Figure 1. IR spectrum of 5-methylimidazolidin-2,4-dione substance

In the IR spectrum of the substance, the presence of the stretching vibration of the signal characteristic of the =N-H group in the group CH_3-CH-NH-C=O at

ISSN 3030-3907

3306.75 cm^{-1} and the presence of the stretching vibration of the signal characteristic of the =N-H group in the group  at 3136.85 cm^{-1} are in the region for active hydrogen bonds in the secondary amine groups in the molecule. The presence of the stretching vibrations characteristic of the carbonyl group at 1711.76 cm^{-1} and 1682.56 cm^{-1} indicate the presence of two carbonyl –C=O groups attached to the secondary amine group. In the IR spectrum of 5-methylimidazolidine-2,4-dione, the presence of signals with asymmetric stretching vibrations characteristic of the -CH3 group in the region of 2775.71 cm^{-1} and symmetric stretching vibrations characteristic of the -CH3 group in the region of 2482.27 cm^{-1}, and the presence of asymmetric deformation vibrations characteristic of the -CH3 group in the region of 738.52 cm^{-1} and symmetric deformation vibrations characteristic of the -CH3 group in the region of 640.29 cm^{-1} indicates the presence of a -CH3 group in the molecule. The presence of deformation vibrations characteristic of the group  in the molecule in the region of 1409.54 cm^{-1} indicates the presence of a group  attached to the methyl group in the molecule.

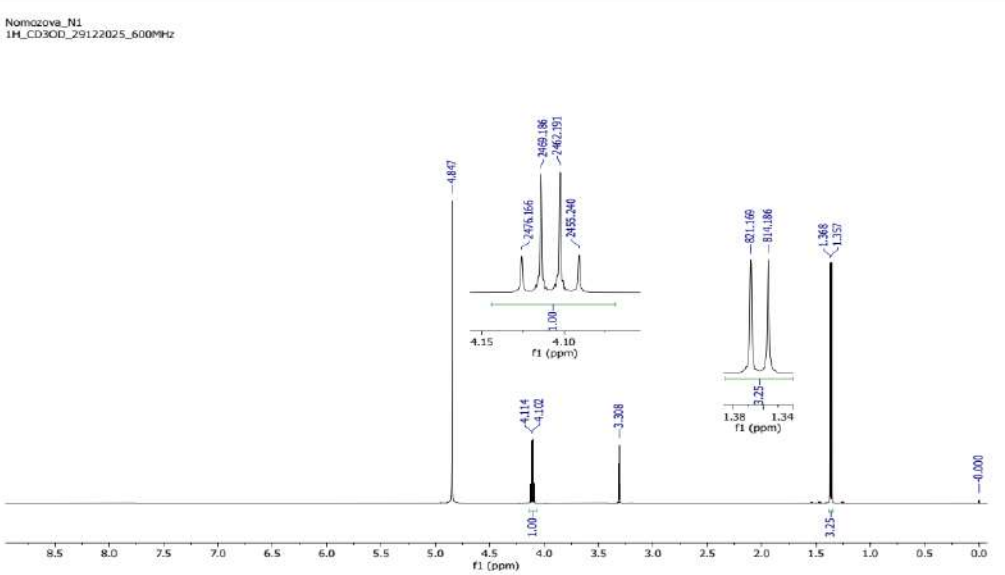
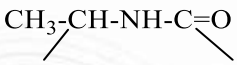
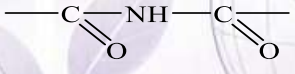


Figure 2. H-NMR spectrum of 5-methylimidazolidin-2,4-dione substance

The presence of 3 proton-specific duplicate signals at 1.3 ppm in the H-NMR spectrum (fig. 2) of the 5-methylidazolidin-2,4-dione substance indicates that the molecule has a group bound to the methyl group,  and the presence  of a single proton-specific quartet signal at 4.10 ppm of the group-specific signal indicates that it is bound to the CH3 group.

The fact  that the secondary amine group located in the molecule has a singlet signal at 3.3 ppm, and that the 

ISSN 3030-3907

secondary amine specific to the group in the group has a singlet signal at 4.8 ppm, indicates that there are two secondary amine groups in the molecule.

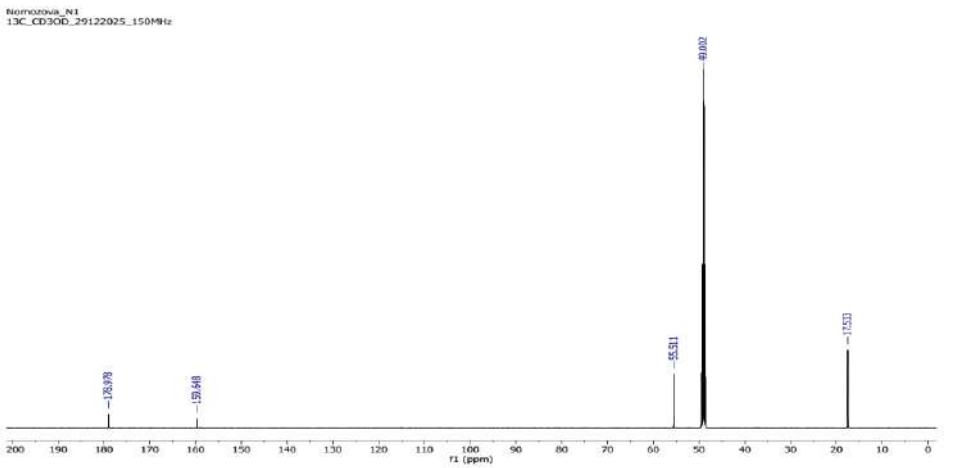


Figure. 3. Spectrum of 5-methylimidazolidine-2,4-dione substance ^{13}C

Since the molecule contains 4 carbons in the 13C spectrum of 5-methylimidazoline-2,4-dione, it has been shown that at 17.53 ppm, the carbon located in the CH3 group (fig.3), at 55.51 ppm $\rangle CH$, the carbon located in the carbonyl group at 159.64 ppm, CH_3-CH-NH-C=O and the carbonyl group in the carbonyl group at —C(=O)—NH—C(=O)— 178.97 ppm

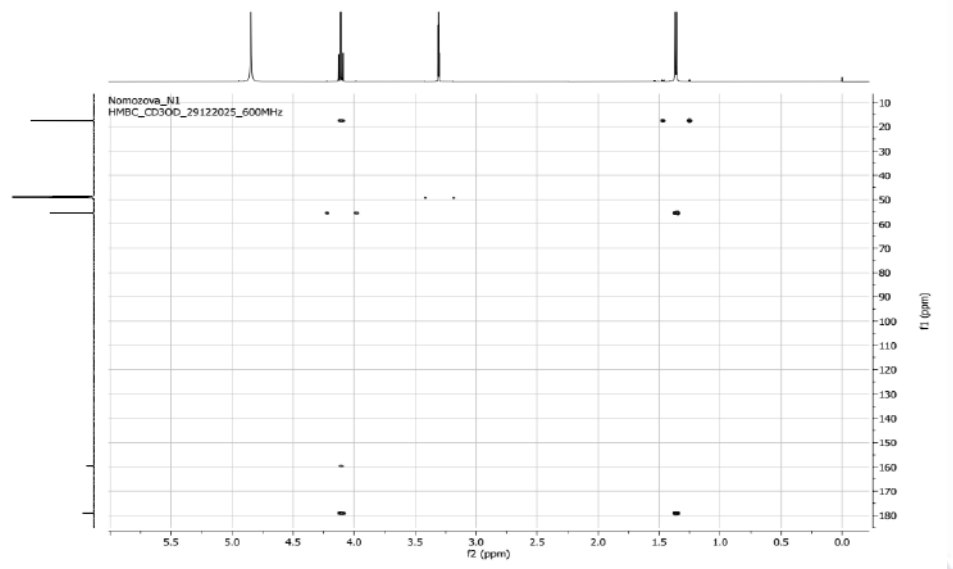


Figure 4. HMBC spectrum of 5-methylimidazolidin-2,4-dione.

HMBC divides signals in the spectrum into two dimensions (fig. 4). We see the H-NMR spectrum along the X and the Y NMR spectrum along ^{13}C. At 17.53 ppm in the ^{13}C spectrum, the spin-spin interaction of the C-6 carbon located in the H-NMR spectrum at 1.3 ppm with the protons located in the C-5 carbon spectrum, and at 4.10 ppm with the protons located in the C-5 carbon, indicate their positioning. $\rangle CH$ Spin-spin interactions of C-5 carbon located in the H-NMR

ISSN 3030-3907

spectrum at 4.10 ppm with protons located in the C-5 carbon in the heminal state and at 1.3 ppm with protons located in the –CH3 region indicate that C-5, C-6 carbons are located in the geminal and vitsinal state.

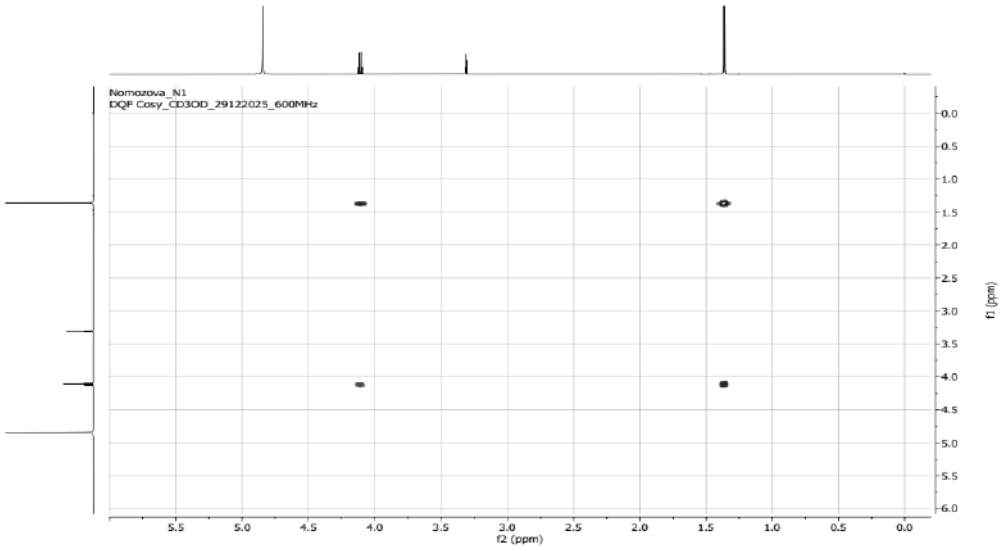


Figure 5. COSY spectrum of 5-methylimidazolidin-2,4-dione substance

COSY divides signals in the spectrum into two dimensions (fig 5). We see the H-NMR spectrum along the X-axis and the H-NMR spectrum along the Y-axis. The C-6 carbon proton in the H-NMR spectrum signals at 1.3 ppm. The C-5 carbon-located protons signal at 4.10 ppm the spin-spin interaction without geminal and vitsinal with the signal of the C-5 carbon at 4.10 ppm indicates their location location. Spin-spin interactions with protons located in the C-5 carbon at 4.10 ppm in the H-NMR spectrum, and in the vitsinal state with protons located in the C-6 carbon–CH3 region at 1.3 ppm, indicate that the protons are located in the C-5, C-6 carbons in the geminal and vitsinal states relative to each other. Based on the above spectrum data, it was determined that the structure of the extracted substance was as follows.

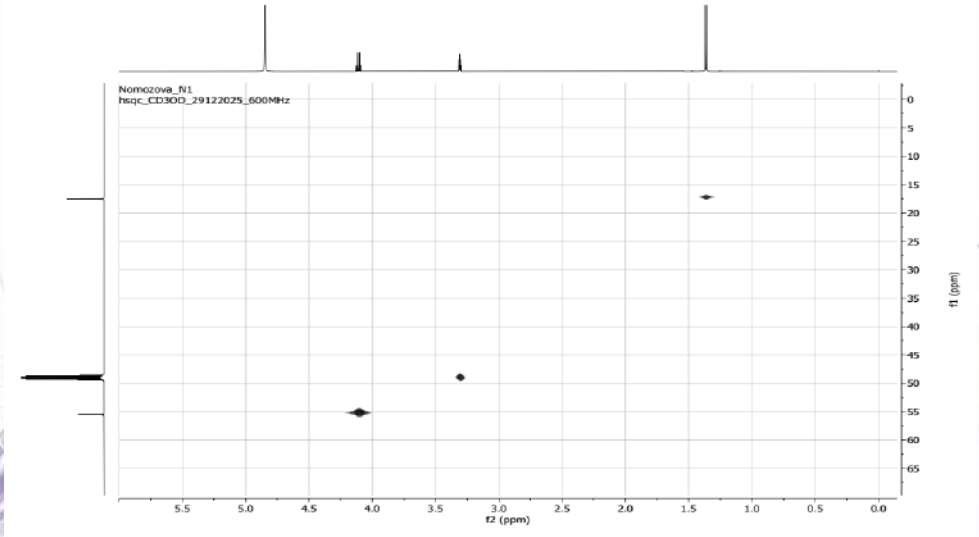
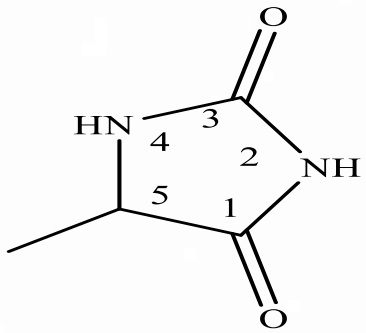


Figure 6. HSQC spectrum of 5-methylimidazolidin-2,4-dione substance

ISSN 3030-3907

The HSQC divides signals in the spectrum into two dimensions. We see the H-NMR spectrum along the X-axis and the ^{13}C NMR spectrum along the Y-axis. At 17.53 ppm in the –CH3 spectrum, the spin-spin interaction of C-6 carbon located in the PMR spectrum with protons located in the C-5 carbon–CH3 group at 1.3 ppm –CH3 indicates their location in the heminally. At 55.51 ppm, the $\gtrless CH$ spin-spin interaction of the C-5 carbon located in the H-NMR spectrum with the protons located in the C-5 carbon spectrum at 4.10 ppm indicates that the C-5 carbon belongs to the proton located in the C-5 carbon.



5-methylimidazolidin- 2,4-dion

CONCLUSION. From the obtained results and spectral analysis, it turned out that one of the decomposing substances in this solvent system is 5-methylmidazolidin-2,4-dione. This compound occupies an important place in medicine and pharmaceuticals, mainly due to its participation as an intermediate in the preparation of antimicrobial and anti-inflammatory drugs.

REFERENCES

1. Stoyanova, M., Lacheva, M., & Radoukova, T. Chemical composition and nutritional value of Agaricus bisporus, Bulgaria// Oxidation Communications. 2021. 44 (1).

2. Nameni A. et al. Examination of the chemical profile of methanolic extract of Agaricus bisporus wild edible mushroom, Zarnagh region (East Azerbaijan province, Iran) // Journal of Horticulture and Postharvest Research. 2022. 5. 1. pp 1-12.

3. Idrees M. et al. A comparison of the physical, chemical, and structural properties of wild and commercial strains of button mushroom, Agaricus bisporus (Agaricomycetes) //International Journal of Medicinal Mushrooms. 2019. 21. 6.

4. Bonzom, P. M., Nicolaou, A., Zloh, M., Baldeo, W., & Gibbons, W. A. (1999). NMR lipid profile of Agaricus bisporus // Phytochemistry. 1999. 50(8), pp 1311-1321

5. Weber, S. S., de Souza, A. C. S., Soares, D. C. L., Lima, C. C., de Moraes, A. C. R., Gkionis, S. V., & Parisotto, E. B. Chemical profile, antimicrobial potential, and antiaggregant activity of supercritical fluid extract from Agaricus bisporus // Chemical Papers. 2022. 76(10), pp 6205-6214.

ISSN 3030-3907

6. Zhang, M., Zhao, L., Tang, F., Gao, J. M., & Qi, J. Chemical Structures, Biological Activities, and Biosynthetic Analysis of Secondary Metabolites from Agaricus Mushrooms // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2024. 7. 72(22), pp 12387-12397.
7. Muszyńska, B., Kała, K., Rojowski, J., Grzywacz-Kisielewska, A., & Opoka, W. Composition and biological properties of Agaricus bisporus fruiting bodies // Pol. J. Food Nutr. Sci., 2017. 67
8. Muhammad Idrees, Asif Ali Khan, Sanabil Yaqoob, Muhammad Ishaq, Munawar Hassan, Muhammad Nasir, Mazher Fareed Iqbal, Yongping Fu, Yu Li. Comparative Profiling of Button Mushroom, Agaricus bisporus (Agaricomycetes), Possessing Textural, Antibacterial, Elemental, and Antioxidant Properties in Diverse Collections from China // International Journal of Medicinal Mushrooms. 2021. pp 79-90. DOI: 10.1615/IntJMedMushrooms.2021038270,
9. Ghahremani-Majd, H., Dashti, F. Chemical composition and antioxidant properties of cultivated button mushrooms (Agaricus bisporus) // Hortic. Environ. Biotechnol. 2015. 56. pp 376–382 https://doi.org/10.1007/s13580-015-0124-z
11. Cebin, A. V., Petravić-Tominac, V., Djakovic, S., Srecec, S., Zechner-Krpan, V., Piljac-Zegarac, J., & Isikhuemhen, O. S. Polysaccharides and antioxidants from culinary-medicinal white button mushroom, Agaricus bisporus (Agaricomycetes), waste biomass // International journal of medicinal mushrooms. 2018. 20(8). pp. 797-808
12. Tsai, S. Y., Wu, T. P., Huang, S. J., & Mau, J. L. Antioxidant properties of ethanolic extracts from culinary-medicinal button mushroom Agaricus bisporus (J. Lange) Imbach (Agaricomycetideae) harvested at different stages of maturity // International Journal of Medicinal Mushrooms,2008. 10(2). pp 127-137
13. Morosanova, M. A., Fedorova, T. V., Polyakova, A. S., & Morosanova, E. I. Agaricus bisporus crude extract: Characterization and analytical application. Molecules. 2020. 25(24), 5996.
14. Cai, Z. X., Zeng, Z. H., Chen, W. Z., Guo, Z. J., Lu, Y. P., Liao, J. H., ... & Chen, M. Y. Transcriptomic and metabolomic insights into flavor variations in wild and cultivated Agaricus bisporus. Scientific Reports. 2025. 15(1), 10798.
15. Stojković, D., Reis, F. S., Glamočlija, J., Ćirić, A., Barros, L., Van Griensven, L. J., & Soković, M. Cultivated strains of Agaricus bisporus and A. brasiliensis: chemical characterization and evaluation of antioxidant and antimicrobial properties for the final healthy product–natural preservatives in yoghurt // Food & function. 2014. 5(7), pp 1602-1612.
16. Michalenko, G. O., Hohl, H. R., & Rast, D. Chemistry and architecture of the mycelial wall of Agaricus bisporus // Microbiology. 1976. 92(2), pp 251-262.

ISSN 3030-3907

17. Gąsecka, M., Magdziak, Z., Siwulski, M. et al. Profile of phenolic and organic acids, antioxidant properties and ergosterol content in cultivated and wild growing species of Agaricus // Eur Food Res Technol. 2018. 244. pp 259–268. https://doi.org/10.1007/s00217-017-2952-9
18. Gautam CK, Madhav M, Sinha A, Jabez Osborne W. VIT-CMJ2: Endophyte of Agaricus bisporus in Production of Bioactive Compounds // Iran J Biotechnol. 2016 Jun; 14(2):19-24. doi: 10.15171/ijb.1287.
19. Cruz C., Noël-Suberville C., Montury M. Fatty acid content and some flavor compound release in two strains of Agaricus bisporus, according to three stages of development //Journal of Agricultural and Food Chemistry. 1997. 45. 1. pp 64-67.
20. Hui-Ling Chang, Guei-Rung Chao, Chin-Chu Chen, Jeng-Leun Mau, Non-volatile taste components of Agaricus blazei, Antrodia camphorata and Cordyceps militaris mycelia // Food Chemistry. 2001. 74. 2. pp 203-207. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00127-3
21. Ragasa C. Y. et al. Sterols and lipids from Agaricus bisporus // International Journal of Pharmaceutical and Clinical Research. – 2016. 8. 10. pp1451-1453.
22. Stijve, Tjakko, MAL de A. Amazonas, and Véronique Giller. Flavour and taste components of Agaricus blazei ss // Heinem a new gourmet and medicinal mushroom. 2002: pp 448-453.
23. Yan, S. J., Xie, X. M., Lin, S. Z., Xu, X. G., Jiang, S. P., Chen, B & Liu, L. Study on volatile flavor components from Agaricus bisporus of Tibet // Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2015, 54, pp 70-78.
24. Nomozova, M.Z., Kamolov, L. S., Nakhatov I., Nuraliyeva D.I. Extraction of secondary metabolites from agaricus bisporus fungus // Universum: химия и биология. 2026, fevral, 2(140), pp 26-30.

ISSN 3030-3907

TARMOQ OQIMI MA’LUMOTLARIGA QAYTA ISHLOV BERISH USULLARINI ANALITIK TAHLILI

Ma’ruf Jo‘rayev
Tashkent Institute of Technology, Management and Communication
Safarov Mansur
“Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” Milliy Tadqiqot Universiteti
Dilmurod Normurodov
Tashkent International University of Education
Shohista Ahmadaliyeva
Tashkent Institute of Technology, Management and **Communication**
Shaxriyor Xudoyberdiyev
Tashkent Institute of Technology, Management and Communication

Annotatsiya. Mazkur maqolada kompyuter tarmoqlarida ma’lumot oqimlarini qayta ishlash usullarining analitik tahlili keltirilgan. Tarmoq arxitekturasi to‘rt asosiy qatlam kompyuterlar, kommunikatsion qurilmalar, operatsion tizimlar va tarmoq ilovalaridan iborat kompleks tizim sifatida ko‘rib chiqiladi. Ma’lumot uzatish jarayonining paketlash, adreslash va protokollar asosida tashkil etilishi, xususan TCP protokolining ishlash mexanizmlari va xususiyatlari tahlil qilinadi. Shuningdek, tarmoq oqimlarini qayta ishlashning statistik, qoidalar asosidagi, mashinali o‘rganish, chuqur o‘rganish, matematik va gibrid yondashuvlari qiyosiy jihatdan o‘rganiladi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, zamonaviy tarmoqlarda samaradorlik va aniqlikni oshirish uchun gibrid usullar muhim ahamiyat kasb etadi.

Kalit so‘zlar: kompyuter tarmoqlari, ma’lumot oqimi, TCP/IP, paketli kommutatsiya, tarmoq tahlili, mashinali o‘rganish, chuqur o‘rganish, gibrid yondashuv, statistik usullar, tarmoq xavfsizligi.

Аннотация. В данной статье представлен аналитический анализ методов обработки потоков данных в компьютерных сетях. Сетевая архитектура рассматривается как сложная система, состоящая из четырех основных уровней: компьютеры, устройства связи, операционные системы и сетевые приложения. Анализируется организация процесса передачи данных на основе упаковки, адресации и протоколов, в частности, механизмов и особенностей протокола TCP. Также сравнительно изучаются статистические, основанные на правилах, методы машинного обучения, глубокого обучения, математические и гибридные подходы к обработке сетевых потоков. Результаты исследования показывают, что гибридные методы необходимы для повышения эффективности и точности в современных сетях.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: компьютерные сети, поток данных, TCP/IP, пакетная коммутация, анализ сети, машинное обучение, глубокое обучение, гибридный подход, статистические методы, сетевая безопасность.

Abstract. This article presents an analytical analysis of methods for processing data flows in computer networks. The network architecture is considered as a complex system consisting of four main layers: computers, communication devices, operating systems and network applications. The organization of the data transfer process based on packaging, addressing, and protocols, in particular, the mechanisms and features of the TCP protocol, are analyzed. Also, statistical, rule-based, machine learning, deep learning, mathematical and hybrid approaches to processing network flows are comparatively studied. The research results show that hybrid methods are essential for increasing efficiency and accuracy in modern networks.

Keywords: computer networks, data flow, TCP/IP, packet switching, network analysis, machine learning, deep learning, hybrid approach, statistical methods, network security.

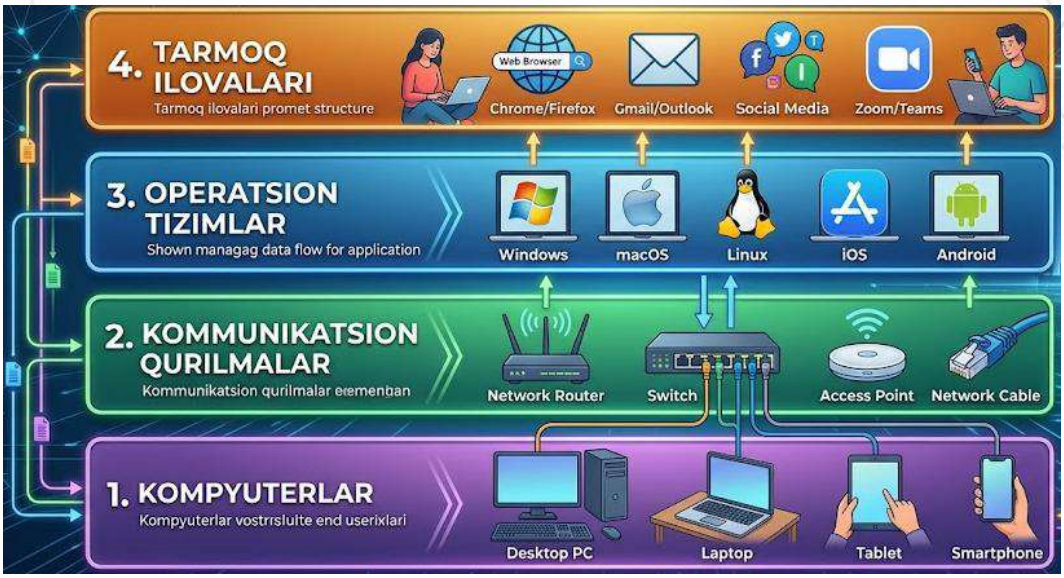
KIRISH.

Kompyuter tarmoqlari zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining asosiy tarkibiy qismlaridan biri bo‘lib, ular katta hajmdagi ma’lumotlarni yuqori tezlikda uzatish, qayta ishlash va saqlash imkoniyatini ta’minlaydi. Tarmoq infratuzilmasining samarali faoliyati apparat va dasturiy vositalarning o‘zaro integratsiyalashgan holda ishlashiga asoslanadi. Ushbu jarayonda kompyuter qurilmalari, kommunikatsion uskunalar, operatsion tizimlar va amaliy dasturlar ma’lumot almashinuvining uzluksiz va ishonchli amalga oshirilishini ta’minlaydi [11]. Tarmoq orqali ma’lumot uzatish bitlar ketma-ketligini paketlarga ajratish, ularni uzatish va qabul qiluvchi tomonda qayta yig‘ish jarayonlari orqali amalga oshiriladi. Mazkur jarayonning samaradorligi adreslash mexanizmlari (MAC manzillar, IP manzillar va domen nomlari) hamda TCP/IP protokollar stekining to‘g‘ri ishlashiga bog‘liq. Xususan, TCP (Transmission Control Protocol) protokoli ma’lumotlarni ishonchli yetkazib berish, oqimni boshqarish va xatolarni aniqlash hamda tuzatish kabi muhim funksiyalari bilan ajralib turadi [2, 3]. So‘nggi yillarda tarmoq oqimlarini monitoring qilish, tahlil etish va qayta ishlash masalalari axborot xavfsizligini ta’minlashning dolzarb yo‘nalishlaridan biriga aylandi. Tarmoq trafigi hajmining keskin ortishi, murakkab kiberhujumlarning paydo bo‘lishi va tarmoq resurslariga tushayotgan yuklamaning oshishi mavjud tahlil usullarini takomillashtirish zaruratini yuzaga keltirmoqda. Shu sababli tarmoq trafigini tahlil qilishda statistik usullar, qoidaviy yondashuvlar, mashinali o‘rganish va chuqur o‘rganish algoritmlaridan keng foydalanilmoqda. Ayniqsa, turli metodlarning afzalliklarini

ISSN 3030-3907

birlashtiruvchi gibrid yondashuvlar tarmoq oqimlarini aniqlash va tasniflash jarayonlarida yuqori aniqlik hamda samaradorlikka erishish imkonini bermoqda. Bunday yondashuvlar tarmoq xavfsizligini ta’minlash, anomal holatlarni aniqlash va kiberhujumlarni erta bosqichda aniqlashda muhim ahamiyat kasb etadi [1].

ASOSIY QISM. Kompyuter tarmog‘i apparat va dasturiy tashkil etuvchilardan iborat bo‘lgan, hamda birgalikda kelishilgan holda ishlaydigan murakkab kompleksdir. Kompyuter tarmog‘ini tashkil etuvchilari quyidagi to‘rt qatlamdan biriga tegishli bo‘lishi mumkin (1-rasm).



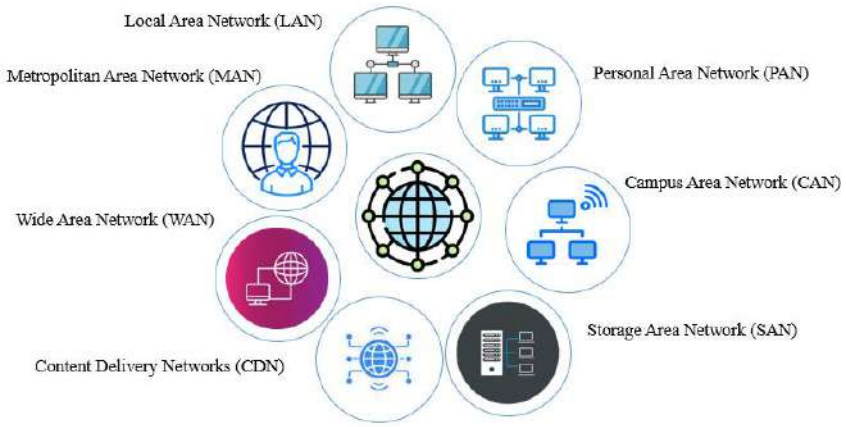
1-rasm. Kompyuter tarmog‘ini tashkil etuvchilari

Hozirgi paytda birinchi qatlam vositalari sifatida imkoniyatlari o‘rtacha bo‘lgan shaxsiy kompyuter va superkompyuterdan foydalanib kelmoqda. Ikkinchi qatlam kommunikatsion qurilmalar qatlami bo‘lib, kompyuter tarmoqlarini qurishda uchragan asosiy muammolardan biri tarmoq tarkibiga kirgan qurilmalar kompyuterlar, printerlar, modemlar, konsentratorlar, kommutatorlar, marshrutizatorlar va boshqa qurilmalar o‘rtasida ma’lumotlarni uzatishni amalga oshirish muammosi hisoblanadi [4, 8]. Kompyuter tarmoqlarida ma’lumotlarni uzatish yoki almashinish jarayoni ketma-ket tarzda joylashtirilgan bitlar, ya’ni 0 va 1 ko‘rinishida amalga oshiriladi.

Tarmoqqa ulangan kompyuterlar o‘rtasida ma’lumot almashinish jarayoni esa ancha murakkab bo‘lib, u yillar davomida takomillashtirilib borilmoqda. Uchinchi qatlam kompyuter va kommunikatsion qurilmalarning tizimli boshqaruv qismini tashkil etadi. Operatsion tizim tarmoq adapterlarini boshqaradi, protokollarni qo‘llab-quvvatlaydi, xavfsizlik va resurslarni taqsimlashni amalga oshiradi. Foydalanuvchi dasturlariga tarmoqdan foydalanish imkonini berish va tarmoqdagi qurilmalarning o‘zaro ishlashini muvofiqlashtirish. To‘rtinchi qatlam foydalanuvchilar bevosita ishlaydigan dasturlar va xizmatlarni o‘z ichiga oladi. Tarkibini veb-brauzerlar, elektron pochta

ISSN 3030-3907

mijozlari, messenjerlar, fayl almashish xizmatlari, bulut texnologiyalari va boshqa onlayn xizmatlar tashkil etadi. Asosiy vazifasi foydalanuvchiga tarmoq resurslaridan foydalanish imkoniyatini yaratish hisoblanadi [9, 10]. Tarmoq orqali matnli ma'lumotlar bilan bir qatorda, tovush, grafika va video ma'lumotlarni katta hajmlarda va katta tezliklarda uzatishlar amalga oshirilmoqda. Bu jarayon esa kompyuter tarmoqlarini birlashtirishdagi turli muammolarga olib keldi. Mutaxassislar yechim sifatida tarmoq topologiyasini har xil usullarini taklif etishdi. Topologiya turlariga ko'ra ular tarmoq tezligi va ma'lumot almashish samaradorligiga ko'ra farqlanadi, ya'ni ularda qo'llangan texnik qurilmalar imkoniyati ham tarmoq o'tkazuvchanlik samardorligi belgilab bergan. Kompyuter tarmoqlarini qamrab olish hududiga qarab bir necha turlarga bo'lish mumkin (2-rasm). Bular lokal tarmoq, mintaqaviy tarmoq va global tarmoqqa bo'linadi. Korxona va tashkilot lokal tarmoqlarni birlashtirib kampus tarmoq ham quriladi [7]. Bir nechta bino hududida lokal tarmoqlar birlashmasi hisoblanadi. Kompyuter tarmog'ida ma'lumotlar almashish uchun 3 xil adreslashdan foydalaniladi. MAC-adres yoki fizik adres, IP-adres yoki tarmoq adresi va Domenlar nomlari asosidagi adreslar.



2-rasm. Kompyuter tarmoq turlari.

Kompyuter tarmog'ida ma'lumotlar uzatishda ular quyidagi bosqichlardan o'tadi. Birinchi uzatiladigan ma'lumot aniqlanadi. Ikkinchi aniqlangan ma'lumot qismlarga bo'linadi. Uchinchidan qismlarga bo'lingan ma'lumot paket sifatida shakllantiriladi. To'rtinchi bosqichda esa ma'lumotlar yetib borishi kerak bo'lgan kompyuterda paketlar qayta yig'iladi. 1974 yil may oyida Vint Cerf va Bob Kan tarmoq tugunlari o'rtasida paketli kommutatsiya yordamida resurslarni almashish uchun internetda ishlash protokolini taklif qiladi. Mualliflar Jerar Le Lann bilan fransuz CYCLADES loyihasining konsepsiyalarini yangi tarmoqqa kiritish uchun ishlagan. Olingan protokolning spetsifikatsiyasi, RFC 675 (Internet uzatishni boshqarish dasturi spetsifikatsiyasi) Vint Cerf, Yogen Dalal va Karl Sunshine tomonidan yozilgan va 1974-yil dekabr oyida nashr etilgan. U internet ishi uchun stenografiya sifatida internet atamasidan birinchi tasdiqlangan foydalanishni o'z

ISSN 3030-3907

ichiga oladi. Kompyuter tarmoqlarida ma’lumot almashishda asosiy TCP (Transmission Control Protocol) protokoli asosida amalga oshadi. 3-rasmda TCP protokoli paket tuzilishi keltirilgan. TCP paketi atamasi norasmiy va rasmiy foydalanishda uchraydi, aniqroq terminologiya segmentida esa TCP protokoli ma’lumotlar bloki deb ham ataladi.

TCP transmissiyani boshqarish protokolining eng muhim xususiyatlaridan quyidagilar hisoblanadi. Segmentlarni raqamlash tizimi TCP ularning har biriga raqamlarni belgilash orqali uzatilayotgan yoki qabul qilinayotgan segmentlarni kuzatib boradi. Segmentlarga tartib raqamlari berilganda uzatilishi kerak bo‘lgan ma’lumotlar baytlariga ma’lum bir bayt raqami beriladi. Ulanishga yo‘naltirilgan jo‘natuvchi va qabul qiluvchining jarayon tugaguniga qadar bir-biriga ulanganligini anglatadi. To‘liq dupleks TCP da ma’lumotlar bir vaqtning o‘zida qabul qiluvchidan jo‘natuvchiga yoki aksincha uzatilishi mumkin. Bu jo‘natuvchi va qabul qiluvchi o‘rtasidagi ma’lumotlar oqimining samaradorligini oshiradi. Oqim nazorati jo‘natuvchining ma’lumotlarni uzatish tezligini cheklaydi. Bu ishonchli yetkazib berishni ta’minlash uchun amalga oshiriladi. Tirbandlikni nazorat qilishda TCP tarmoqdagi tiqilib qolish darajasini hisobga oladi. Tiklanish darajasi jo‘natuvchi tomonidan yuborilgan ma’lumotlar miqdori bilan belgilanadi. Xatolarni boshqarish TCP ishonchli ma’lumotlarni uzatish uchun xatolarni boshqarish mexanizmini amalga oshiradi. Xatolarni boshqarish baytga yo‘naltirilgan bo‘lib, segmentlar xatolarni aniqlash uchun tekshiriladi. Xatolarni boshqarish quyidagilarni o‘z ichiga oladi: buzilgan segment va yo‘qolgan segmentlarni boshqarish, tartibsiz segmentlar, takroriy segmentlar va boshqalar.

<table>
<tr><td>Offset</td><td>Octet</td><td colspan="8">0</td><td colspan="8">1</td><td colspan="8">2</td><td colspan="8">3</td></tr>
<tr><td>Octet</td><td>Bit</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td colspan="16">Source Port</td><td colspan="16">Destination Port</td></tr>
<tr><td>4</td><td>32</td><td colspan="32">Sequense Number</td></tr>
<tr><td>8</td><td>64</td><td colspan="32">Acknowledgement Number</td></tr>
<tr><td>12</td><td>96</td><td colspan="4">Data Offset</td><td colspan="4">Reserved</td><td>C
W
R</td><td>E
C
E</td><td>U
R
G</td><td>A
C
K</td><td>P
S
H</td><td>R
S
T</td><td>S
Y
N</td><td>F
I
N</td><td colspan="16">Window</td></tr>
<tr><td>16</td><td>128</td><td colspan="16">Checksum</td><td colspan="16">Urgent Pointer</td></tr>
<tr><td>20
⋮
56</td><td>160
⋮
448</td><td colspan="32">Agar mavjud bo‘lsa, Data Offset qiymati 5 dan katta bo‘ladi. U 32 bitlik ko‘paytmalarga nol bilan to‘ldiriladi, chunki Data Offset baytlarning so‘zlari bo‘yicha hisoblaydi.</td></tr>
<tr><td>60
64
⋮</td><td>480
512
⋮</td><td colspan="32">Ma'lumot</td></tr>
</table>

3-rasm. TCP header formati.

3-rasmda TCP sarlavhasi ma’lumotlarni ishonchli uzatishni ta’minlash uchun zarur bo‘lgan boshqaruv maydonlarini o‘z ichiga oladi. TCP header tarkibida manba va qabul qiluvchi port raqamlari, ketma-ketlik raqami (Sequence Number), tasdiqlash raqami (Acknowledgment Number), sarlavha uzunligi (Header Length), boshqaruv bayroqlari (URG, ACK, PSH, RST, SYN, FIN),

ISSN 3030-3907

oynaning o‘lchami (Window Size), nazorat yig‘indisi (Checksum) hamda tezkor ko‘rsatkich (Urgent Pointer) kabi maydonlar mavjud. Ushbu maydonlar ma’lumotlarni ketma-ket yetkazib berish, xatolarni aniqlash va tuzatish, oqimni boshqarish hamda ulanishni o‘rnatish va yakunlash jarayonlarini amalga oshirishda muhim rol o‘ynaydi. 1-jadvalda TCP protokolining afzallik va kamchiliklari keltirilgan. 2-jadvalda esa tarmoq oqimlarini qayta ishlovchi dasturiy vositalar va usullar, ularning qo‘llanishi berilgan. Unga ko‘ra hozirgi tadqiqotlarda ko‘proq gibrid yondashuvlardan foydalanilmoqda, chunki uni istalgan tarmoq xususiyatiga qarab moslashtirish mumkin.

1-jadval.

TCP protokolining afzallik va kamchiliklari.

TCP ning afzalliklari	**TCP ning kamchiliklari**
Ishonchli protokol hisoblanadi.	Kichik resursli tarmoqlarda og‘irlik qilishi mumkin.
Xatolarni tekshirish va tiklash mexanizmlariga ega.	Ko‘p qatlamlilik sababli tezlikni sekinlashtirishi mumkin.
Oqim nazoratini ta’minlaydi.	Faqat TCP/IP to‘plami bilan ishlaydi, boshqa protokollarni qo‘llab-quvvatlamaydi (masalan, Bluetooth).
Ma’lumotlarni yuborilgan tartibda yetkazib beradi.	Juda eski (30 yildan oshgan), katta o‘zgarishlar qilinmagan.
Yaxshi hujjatlashtirilgan va IETF kabi tashkilotlar tomonidan qo‘llab-quvvatlanadi.	Protokol tuzilishi va undagi holatlarni boshqarish mexanizmi murakkab bo‘lib, o‘zgartirish kiritish qiyin.
IP (Internet Protokol) bilan birgalikda ishlaydi va ulanish o‘rnatishni ta’minlaydi.	Protokol asoslari bir necha o‘n yillar oldin yaratilgan bo‘lib, zamonaviy simsiz tarmoqlarning ayrim xususiyatlariga to‘liq moslashmagan.

Kompyuter tarmoq oqimlarini tahlil qilishda eng samarali usullardan biri bu tarmoq paketini tahlil qilishdir. Buning uchun tarmoq paketlarini yozib olish va tahlil qilishda Packet Capturedan foydalaniladi.

2-jadval.

Kompyuter tarmoq oqimi ma’lumotlariga qayta ishlov berish usullarining qiyosiy tahlili

Usul nomi	**Tavsifi**	**Afzalligi**	**Kamchiligi**	**Qo‘llanilish misollari**

ISSN 3030-3907

Statistik usullar	Paketlar soni, uzunligi, kechikish, flaglar asosida matematik-statistik tahlil	Tezkor, katta hajmli ma’lumotlar bilan samarali ishlaydi	Murakkab hujumlarni aniqlashda aniqlik past	Hurst indeksi, dispersiya, entropiya
Qoidalar asosidagi usullar	Oldindan belgilangan shartlar asosida oqimni tekshiradi	Sodda, tushunarli va tez ishlaydi	Yangi va noma’lum hujumlarni aniqlay olmaydi	IDS/IPS tizimlari
Mashinali o‘rganish	Flow xususiyatlaridan foydalanib model qurish va o‘qitish	Yangi hujumlarni ham aniqlash mumkin	Katta hisoblash resurslari kerak, modelni yangilab turish lozim	Random Forest, SVM, K-means, Neyron tarmoqlar
Chuqur o‘rganish	Neyron tarmoqlar yordamida murakkab naqshlarni topish	Katta hajmdagi ma’lumotlarda yashirin xususiyatlarni aniqlaydi	Hisoblash murakkab, katta resurs talab etadi	CNN, RNN, Autoencoder
Matematik modellar	Ehtimollik, Markov zanjiri, graf modellardan foydalanish	Nazariy asoslangan, ishonchli baholash imkonini beradi	Real vaqt rejimida samaradorligi past bo‘lishi mumkin	Markov zanjiri, Benford qonuni, graf modellari
Gibrid yondashuv usullari	Bir nechta metodlarni kombinatsiyalash	Aniqlik va samaradorlikni oshiradi	Murakkab implementatsiya talab qiladi	Statistik + ML, ML + Deep Learning

Taqdim etilgan jadvalda tarmoq trafigini tahlil qilish va undagi anomaliyalarni aniqlashda qo‘llaniladigan asosiy usullar o‘zaro solishtirilgan. Ushbu usullar klassik matematik-statistik tahlildan tortib, eng zamonaviy sun'iy intellekt (Mashinali o‘rganish va Chuqur o‘rganish) hamda gibrid texnologiyalargacha bo‘lgan keng qamrovni o‘z ichiga oladi.

ISSN 3030-3907

Har bir usul o‘zining tezkorligi, hisoblash resurslariga bo‘lgan talabi va yangi hujumlarni aniqlash darajasiga ko‘ra bir-biridan farq qiladi:

- **Statistik va qoidalar asosidagi usullar** sodda va tezkor bo‘lib, ma'lum turdagi standart tahdidlarga qarshi yaxshi samara beradi.
- **Mashinali va chuqur o‘rganish modellar** esa inson ko‘ziga ko‘rinmaydigan yashirin qonuniyatlarni va murakkab kiberhujumlarni yuqori aniqlikda topishga imkon yaratadi.
- **Matematik va gibrid yondashuvlar** tizimning nazariy jihatdan mukammal va har tomonlama moslashuvchan bo‘lishini ta’minlaydi.

Ko‘rinib turibdiki, gibrid yondashuvlar yuqori samaradorlikka ega bo‘lsada, implementatsiya murakkabligi sababli ko‘proq ilmiy tadqiqotlarda qo‘llanmoqda.

XULOSA.

Kompyuter tarmoq oqimlariga qayta ishlov berish usullari tarmoq samaradorligi va xavfsizligini ta’minlashda muhim ahamiyatga ega. Tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, har bir usulning o‘ziga xos afzallik va kamchiliklari mavjud bo‘lib, ularni qo‘llash tarmoqning xususiyatlariga bog‘liq. Statistik va qoidaviy usullar tezkorligi bilan ajralib tursa, mashinali va chuqur o‘rganish usullari yuqori aniqlikni ta’minlaydi. Zamonaviy tadqiqotlar gibrid yondashuvlarning istiqbolli ekanligini ko‘rsatmoqda, chunki ular turli metodlarning kuchli tomonlarini birlashtiradi. Kelajakda tarmoq oqimlarini qayta ishlashda real vaqt rejimida ishlovchi, resurs tejamkor va yuqori aniqlikka ega bo‘lgan intellektual tizimlarni ishlab chiqish muhim yo‘nalishlardan biri bo‘lib qoladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Sharma, A., & Gautam, S. (2026). Computer networks. Geh press. Babadzhanov, A., Yarashov, I., Juraev, M., Otakhonov, A., Kudaybergenov, A., & Utemuratov, R. (2025). Mathematical Representation of Netflow Analysis Decision Making Based on Production Logic. International Journal of Advanced Computer Science & Applications, 16(9).
2. Kaur, T., Ankita, Bag, A., Dansana, D., Anitha, D. B., & Jain, K. (2026). Machines Learning in Networking. Hyper-Intelligent Networks: Exploring the Future of Connectivity for Society 5.0, 139-149.
3. Juraev, M., Yarashov, I., Kudaybergenov, A., Babadzhanov, A., & Mamatova, Z. (2025). Research on Network Flow Based on Statistical Analysis Methods. International Journal of Advanced Computer Science & Applications, 16(6).
4. Yarashov, I., Kuvonchbek, R., Juraev, M., & Rahmonov, F. (2024, December). Processing and Analysis of Network Flow Data Using Intelligent Technologies.

ISSN 3030-3907

In Conference on Internet of Things and Smart Spaces (pp. 40-51). Cham: Springer Nature Switzerland.

5. Yarashov, I., Juraev, M., Ismatillayev, A., & Rakhimberdiev, K. (2024, December). Behavior Modeling in Computerized Production Systems. In Proceedings of the 8th International Conference on Future Networks & Distributed Systems (pp. 873-880).

6. Postel, J. (2003). Internetwork protocol approaches. IEEE Transactions on Communications, 28(4), 604-611.

7. Devika Jagadeesan, K., & Ramaraj, M. Detection of Anomalies and Attack Patterns Using Network Packet Analysis. International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Educational Development, Volume 2, Issue 2, March – April 2026

8. Gebrye, H., Wang, Y., & Li, F. (2026). Mirai Botnet Multi-Class Attack Detection Through Machine Learning and Feature Selection. Computer Networks and Communications, 1-28.

9. Shahverdiev, E. M. (2026). Star-Connected Computer Network and Communication. Journal of Intelligent Communication, 5(1), 61-70.

10. Ilham, D. N., Harahap, M. K., Talib, M. S., Budiansyah, A., & Candra, R. A. (2026). Optimization of Computer Network Performance through Traffic Management and Bandwidth Allocation. PERFECT: Journal of Smart Algorithms, 3(1), 23-29.

ISSN 3030-3907

YUQORI SINF O‘QUVCHILARIDA O‘QUV MOTIVINING PASAYISHIGA TA’SIR ETUVCHI PEDAGOGIK VA PSIXOLOGIK OMILLAR TAHLILI.

Raximdjanova Shahnoza Erkin qizi
Nordik xalqaro universiteti, Magistratura bosqichi, Pedagogika yo‘nalishi
1-bosqich 3 MPA-25- guruh magistranti
E-mail: raximdjanovashahnoza@gmail.com
E-mail: s.raximdjanova@nordicuniversity.org

Annotatsiya. Ushbu maqolada umumiy o‘rta ta’lim tizimida 8-9-sinf o‘quvchilarining o‘quv motivatsiyasini shakllantirish muammolari hamda uning pasayishiga ta’sir etuvchi pedagogik-psixologik omillar tizimli tadqiq etiladi. Tadqiqotning maqsadi yuqori sinf o‘quvchilarining yosh davri ehtiyojlaridan kelib chiqqan holda, ta’lim jarayonida ichki o‘quv motivini barqarorlashtirishning samarali pedagogik modellarini asoslab berishdan iborat. Maqolaning nazariy poydevorini jahon va mahalliy pedagogika hamda psixologiya fanining fundamental konsepsiyalari, xususan, o‘smirlardagi shaxslararo muloqot, avtonomiya, kompetentlik hamda "oqim" holati nazariyalari tashkil etadi. Tadqiqot doirasida yuqori sinf o‘quvchilarining o‘quv faoliyatiga bo‘lgan munosabati adaptatsiya qilingan sotsiometrik so‘rovnoma vositasida empirik jihatdan o‘rganildi va olingan natijalar ilmiy-statistik tahlil qilindi.

Kalit so‘zlar: ta’lim tizimi, o‘quv motivi, ehtiyoj, o‘smirlik davri, pedagogik omillar, psixologik to‘siqlar, test-so‘rovnoma, tahlil, natija, interfaol metod.

Abstract. This article systematically examines the problems of developing learning motivation among 8th–9th grade students in the general secondary education system, as well as the pedagogical and psychological factors contributing to its decline. The purpose of the study is to substantiate effective pedagogical models for stabilizing students’ intrinsic learning motivation in the educational process, taking into account the developmental needs of senior-grade adolescents. The theoretical foundation of the article is based on the fundamental concepts of international and national pedagogy and psychology, particularly the theories of interpersonal communication, autonomy, competence, and the “flow” state in adolescents. Within the framework of the study, senior students’ attitudes toward learning activities were empirically investigated through an adapted sociometric questionnaire, and the obtained results were analyzed using scientific and statistical methods.

Keywords: education system, learning motivation, need, adolescence, pedagogical factors, psychological barriers, test questionnaire, analysis, result, interactive method.

Аннотация. В данной статье системно исследуются проблемы формирования учебной мотивации учащихся 8–9-х классов в системе общего среднего образования, а также педагогические и психологические факторы, влияющие на её снижение. Цель исследования заключается в обосновании эффективных педагогических моделей стабилизации внутренней учебной мотивации в образовательном процессе с учётом возрастных потребностей учащихся старших классов. Теоретическую основу статьи составляют фундаментальные концепции мировой и отечественной педагогики и психологии, в частности теории межличностного общения, автономии, компетентности и состояния «потока» у подростков. В рамках исследования отношение учащихся старших классов к учебной деятельности было эмпирически изучено с помощью адаптированного социометрического опросника, а полученные результаты подвергнуты научно-статистическому анализу.

Ключевые слова: система образования, учебная мотивация, потребность, подростковый возраст, педагогические факторы, психологические барьеры, тест-опросник, анализ, результат, интерактивный метод.

KIRISH.

Bugungi jadal rivojlanayotgan ta’lim tizimida axborot texnologiyalari integratsiyasi, o‘quv qo‘llanmalarning yangilanishi va Finlyandiya hamda Singapur kabi ilg‘or ta’lim modellari asos qilib olinishiga qaramay, maktablarda ta’lim sifati kutilgan natijani bermayotgani kuzatilmoqda. Eng asosiy muammolardan biri – raqamli tehnologiyalar rivojlangan, ta’lim jarayoniga kirib kelgan bir davrda o‘quvchilarning darslarda zerikib qolishi va ularda bilim olishga bo‘lgan ichki ishtiyoqning so‘nib borishidir. Ushbu holat ta’lim islohotlarining samaradorligi borasida haqli savollarni yuzaga keltirmoqda: nima uchun zamonaviy yondashuvlar sharoitida ham o‘quvchilarda bilim olishga bo‘lgan ichki ehtiyoj so‘nib boryapti? Nima uchun shuncha islohotlar qilinayotgan bir paytda o‘quvchi subyektivligi orqada qolmoqda? Mazkur tadqiqot ishi yuqori sinf o‘quvchilarida o‘quv motivi pasayishiga ta’sir ko‘rsatuvchi pedagogik va psixologik omillarni aniqlashga qaratilgan bo‘lib, tadqiqot davomida o‘quvchilar o‘rtasida test sinovlari, anonim so‘rovnomalar va dars kuzatuvlari o‘tkazildi. Olingan natijalar o‘quv motivini oshirish bo‘yicha aniq metodik tavsiyalarni ishlab chiqishga asos bo‘lib xizmat qiladi. Ushbu tadqiqotning maqsadi yuqori sinf o‘quvchilarida motivatsiya pasayishining tub sabablarini aniqlash va ularni bartaraf etish yo‘llarini ko‘rsatib berishdan iborat.

ADABIYOTLAR TAHLILI. E. Deci va R.Ryan tomonidan ishlab chiqilgan “O‘z-o‘zini aniqlash nazariyasi” (Self-Determination Theory - SDT) bizning tadqiqotimiz uchun fundamental ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi. Deci va

ISSN 3030-3907

Ryan nazariyasiga ko‘ra, [o‘quvchi shunchaki "bilim oluvchi" emas, balki uchta asosiy psixologik ehtiyojga ega bo‘lgan shaxsdir. Agar o‘qituvchi darsda shu 3 ta ehtiyojni qondira olsa, o‘quvchida ichki motivatsiya paydo bo‘ladi”[29]

1. Avtonomiya–tanlov erkinligi. O‘quvchi o‘zini darsning “obyekti”emas, balki “subyekti”deb his qilishi kerak. So‘rovnomamizda o‘quvchilarning 45% “bir xillikdan” shikoyat qilishi aynan avtonomiyaning yo‘qligini ko‘rsatadi. Darsda o‘quvchiga “qaysi topshiriqni birinchi bajarish” yoki “mavzuni qaysi metodda o‘rganish” bo‘yicha tanlov berilishi motivatsiyani keskin oshiradi.

2. Kompetentlik–muvaffaqiyat hissi. O‘quvchi “men buni bajara olaman” degan hissiyotga ega bo‘lishi shart. Murakkab darsliklar va tushunarsiz mavzular o‘quvchida o‘z kompetentligiga nisbatan shubha uyg‘otadi (Self-efficacy pasayadi). Natijada u darsdan sovushi aniqlandi. Deci va Ryan bo‘yicha, topshiriqlar o‘quvchining darajasiga mos (optimal qiyinchilikda) bo‘lishi lozim.

3. Aloqadorlik– ijtimoiy bog‘liqlik. O‘quvchi sinfdoshlari va o‘qituvchisi bilan ijobiy munosabatda bo‘lishi, o‘zini guruhning bir qismi deb his qilishi kerak]2

METODOLOGIYA. Tadqiqot jarayonida Toshkent shahridagi umumta’lim maktablarining 8-9-sinf o‘quvchilari o‘rtasida kompleks o‘rganish o‘tkazildi. Ma’lumotlarni to‘plashda quyidagi metodlardan foydalanildi:

- Psixologik test: N.G. Luskunova metodikasining yuqori sinf o‘quvchilariga moslashtirilgan varianti asosida o‘quv motivatsiyasi darajasini o‘lchash test-so‘rovnomasi o‘tkazildi.

-Pedagogik kuzatuv: dars jarayonida o‘quvchilarning faolligi va o‘qituvchi bilan muloqot tizimi bevosita kuzatildi, hamda o‘quvchilar bilan suhbatlar tashkil etildi.

NATIJALAR. O‘quv jarayonidagi motiv pasayishi sabablarini aniqlash, tahlil qilish va o‘quvchilar motivatsiyasini oshirish yo‘llarini ishlab chiqish maqsadida 9-sinf o‘quvchilari bilan Google Forms orqali test-so‘rovnoma o‘tkazildi.

Javoblarni tahlil qilish natijasida quyidagi ko‘rsatkichlar qayd etildi:

1. **Ichki motivatsiya (25%):** Bilim olishga bo‘lgan sof qiziqish va fanni o‘rganishdan lazzat olish.

2. **Tashqi (kasbiy) motivatsiya (60%):** Kelajakda yaxshi ish topish, ota-ona va o‘qituvchi oldidagi mas’uliyat.

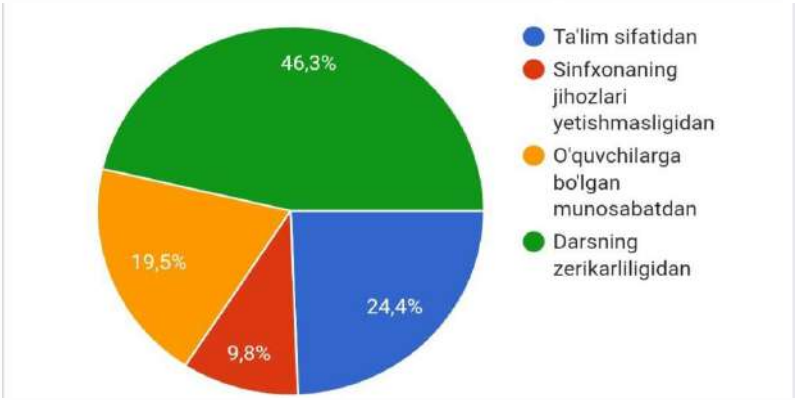
[29] Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). Self-Determination and Intrinsic Motivation in Human Behavior (Inson xulq-atvorida o‘z-o‘zini aniqlash va ichki motivatsiya). New York: Plenum Press. – 391 p.

ISSN 3030-3907

3. **Inert (passiv) holat(15%):** O‘quv jarayoniga qiziqishi past, shunchaki majburiyat yuzasidan darsga qatnashish.

Tahlil natijalariga tayangan holda shuni aytishim mumkinki, o‘quvchilar o‘qituvchilarning bilim darajasidan qoniqishadi, ammo dars o‘tish metodikalari biroz zerikarli tuyulmoqda. Darslarning zerikarliligi o‘quvchilarda o‘quv motivi pasayishiga sabab bo‘layotgan omillardan biri bo‘lmoqda.

“Ta’lim jarayonidagi nimadan ko‘nglingiz to‘lmaydi” degan savolga javoblar tahlili



Ushbu jadvalda o‘quvchilarga darsda nima halaqit berishi bo‘yicha olingan natijalar tahlili ko‘rsatilgan:

1-Jadval

Muammo turi	Foiz ko‘rsatkichi	Sabab va oqibati
Monotonlik (bir xillik)	45%	Faqat ma’ruza va kitob bilan ishlash, ko‘p yozish zerikishga olib keladi.
Mavzuning murakkabligi	30%	Tushunmaslik natijasida o‘quvchi o‘ziga bo‘lgan ishonchni yo‘qotadi.
Psixologik muhit	15%	O‘qituvchi bilan muloqotdagi qiyinchiliklar
Boshqa omillar	10%	Uy vazifalarining ko‘pligi va charchoq

MUHOKAMA. Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, motivatsiya pasayishiga ikki turdagi omillar ta’sir qilmoqda:

Psixologik omillar: O‘smirlik davridagi o‘zini anglash inqirozi va e’tiborning ijtimoiy munosabatlarga (do‘stlar, ijtimoiy tarmoqlar) ko‘proq yo‘nalishi.

ISSN 3030-3907

Pedagogik omillar: O‘qituvchilarning hamon “avtoritar” yoki “ma’ruza” uslubidan voz kecha olmayotgani. Ta’limda “son” (statistik ko‘rsatkichlar) ortidan quvish o‘quvchining shaxsiy qiziqishlarini ikkinchi darajaga tushirib qo‘ymoqda.

XULOSA. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, yuqori sinf o‘quvchilarida o‘quv motivatsiyasining pasayishi shunchaki o‘quv yuklamasining ortishi emas, balki pedagogik muhitning o‘smir psixologik ehtiyojlariga mos kelmasligi natijasidir.

Olingan ma’lumotlarga ko‘ra, respondentlarning 46.3% qismi darslardagi monotonlikdan zerikishini bildirgan. Bu holatni M. Chiksentmixayining "Oqim" (Flow) nazariyasi orqali tushuntirish mumkin: [“o‘quvchi o‘z mahorati (skill) va topshiriq murakkabligi (challenge) o‘rtasidagi muvozanatni his qilmaganda, ta’im jarayonidan uzilib qoladi”[30]]4 Ushbu muammoni hal qilish uchun ta’limni geymifikatsiyalash (masalan, Kahoot yoki Quizizz platformalari orqali) va darsga muammoli ta’lim elementlarini kiritish lozim. Bu nafaqat o‘quvchilarning 82.9% tashkil etgan AKT ga bo‘lgan ehtiyojini qondiradi, balki darsning emotsional jozibasini oshiradi.

So‘rovnomaning 61% respondentlari guruh bo‘lib ishlashni afzal ko‘rganligi L.I. Bojovichning o‘smirlik davridagi muloqot ehtiyoji haqidagi qarashlarini tasdiqlaydi[31].

Xulosa o‘rnida aytish mumkinki, darslarni B. Bloom taksonomiyasining yuqori bosqichlari — tahlil va sintez darajasida loyihalashtirish, o‘quvchilarga avtonomiya (tanlov erkinligi) berish yuqori sinflarda motivatsiya inqirozini bartaraf etishning strategik yo‘nalishidir[32].

Tahlillarimiz asosida o‘quv motivatsiyasini oshirishning **"Uchlamchi Strategiyasi"** ni taklif etamiz:

Pedagogik (Bloom taksonomiyasi):

-Darslarni faqat xotirlash emas, balki tahlil va sintez darajasida (muammoli ta'lim) tashkil etish;

-Ta’lim mazmunini amaliyotga (hayotiy ehtiyojlarga) yaqinlashtirish;

-Ta’limda zerikarlilikdan qochish, ko‘proq interaktiv usullardan foydalanish;

- Dars jarayonini o‘quvchilarning charchoq darajasini kamaytirish maqsadida "30/15" modelida tashkil etish (30 daqiqa nazariya va 15 daqiqa interaktiv amaliyot);

[30] Csikszentmihalyi, M. (1990). (Oqim: Optimal tajriba psixologiyasi). – 74 p

[31] Bozhovich, L. I. (1968). (Shaxs va uning bolalik yoshida shakllanishi)– 251 p

[32] Bloom, B. S. (1956). Ta’lim maqsadlari taksonomiyasi: Ta’limiy maqsadlar tasnifi. 180-207 p.

ISSN 3030-3907

-AKT (Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari)dan foydalanish.

Psixologik (Bojovich):

-O‘quvchilar bilan individual ishlash;

-O‘quvchini "obyekt" emas, "subyekt" (jarayon ishtirokchisi) sifatida tan olish;

- Guruhli topshiriqlar ulushini kamida 50% ga yetkazish;

-O‘quvchilarni doimo qo‘llab-quvvatlash;

-O‘qituvchi-o‘quvchi o‘rtasidagi pedagogik muloqotni insonparvarlashtirish.

METODIK (Geymifikatsiya): Darsga yangi pedagogik texnologiyalar, interaktiv metodlar ("Sintaktik detektiv", "Keys-stadi", rolli o‘yin va raqamli o‘yin elementlari) ni kiritish;

-Darsda o‘quvchiga "qaysi topshiriqni birinchi bajarish" yoki "mavzuni qaysi metodda o‘rganish" bo‘yicha tanlov berish;

- O‘quvchilarni o‘quv jarayonining faol ishtirokchisiga aylantirish.

So‘zim yakunida shuni aytishim mumkinki, yuqori sinf o‘quvchilarida motivatsiya pasayishi — bu "bilim olishni xohlamaslik" emas, balki ta’lim metodikasining o‘smir psixologik ehtiyojlariga (muloqot, avtonomiya, vizuallik) mos kelmasligi natijasidir. Ta’lim jarayonini yuqorida berilgan tavsiyalar asosida, B. Bloom taksonomiyasining yuqori bosqichlari — tahlil va sintez darajasida loyihalashtirish, o‘quvchilarga avtonomiya (tanlov erkinligi) berish yuqori sinflarda motivatsiya inqirozini bartaraf etishning strategik yo‘nalishidir. Zero, o‘quvchilarda o‘quv motivini shakllantirish jarayoni shunchaki bilim berish emas, balki ularning shaxsiy ehtiyojlari va qiziqishlarini inobatga olgan holda darsni loyihalashni talab etadi. Tadqiqotda isbotlanganidek, o‘smirlarning ijtimoiy muloqotga bo‘lgan intilishini metodik vositalar bilan uyg‘unlashtirish o‘quvchining ta’lim jarayonidagi faolligini oshirib, unda barqaror ichki motivatsiyaning yuzaga kelishiga asos bo‘lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Bozhovich, L. I. (1968). Lichnost i ee formirovanie v detskom vozraste (Shaxs va uning bolalik yoshida shakllanishi). Moscow: Prosveshchenie. – 464 p.

2. Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). Self-Determination and Intrinsic Motivation in Human Behavior (Inson xulq-atvorida o‘z-o‘zini aniqlash va ichki motivatsiya). New York: Plenum Press. – 391 p.

3. Blum B. S. Ta’lim maqsadlari taksonomiyasi: Ta’limiy maqsadlar klassifikatsiyasi. I qo‘llanma: Kognitiv soha. – Nyu-York: Devid Makkey, 1956. – 201-207-p

4. Csikszentmihalyi, M. (1990). Flow: The Psychology of Optimal Experience (Oqim: Optimal tajriba psixologiyasi). New York: Harper & Row. – 303 p.

5. Mirziyoyev Sh. M. Yangi O‘zbekiston strategiyasi. – Toshkent: O‘zbekiston, 2021.

ISSN 3030-3907

6. Nishonova, Z. T. (2011). Psixologik maslahat (Psixologicheskoe konsultirovanie). Toshkent: "Sharq" nashriyoti. – 256 b.
7. O‘zbekiston Respublikasining "Ta’lim to‘g‘risida"gi Qonuni. – Toshkent, 2020-yil 23-sentyabr.
8. Shulman L. S. Bilim va o‘qitish: yangi islohotlarning asoslari.
9. Harvard Educational Review. – 1987. – 57(1)-son. – 1-23-betlar.
10. YUNESKO. Ta’limda texnologiya: kimning shartlari asosidagi vosita?
11. Global ta’lim monitoringi hisoboti. – 2021. – 15-28-betlar.
12. G‘ayratov, G‘. B. (2010). O‘quv motivlarining psixologik xususiyatlari (Psixologicheskie osobennosti uchebnix motivov). Toshkent: Fan va texnologiya. – 128 b.

ISSN 3030-3907

MATO SIFATINI SINFLASH VA BAHOLASH USULLARI

Qambarov Jamoliddin Xikmatullayevich
Qo‘qon universiteti
E-mail: h.j.kambarov@kokanuni.uz
Mamatqulova Saida Raxmatovna
Farg‘ona davlat texnika universiteti
E-mail: sm.mamatqulova@ferpi.uz

Anotatsiya. Ushbu maqolada to‘qimachilik sanoatida matolarning sifat darajasi va navini aniqlash mezonlari tahlil qilinadi. Matolarni baholashda ularning badiiy-estetik ko‘rsatkichlari, tashqi ko‘rinishdagi nuqsonlari, fizik-mexanik xususiyatlari hamda rangning chidamliligi asosiy mezon sifatida ko‘rib chiqiladi. Shuningdek, matolarni tovar-sinfiga ajratishdagi GOST talablari asosida aniqlash usullari yoritilgan. Har xil xomashyo turlariga ega bo‘lgan matolar uchun sifat ko‘rsatkichlarining og‘ish darajasi, ularning maqsadli foydalanishga yaroqliligi va iste’mol bozoriga mosligi haqida ma’lumot beriladi.

Kalit so‘zlar: mato sifati, nav darajasi, badiiy-estetik ko‘rsatkichlar, fizik-mexanik xususiyatlar, GOST talablari, tashqi ko‘rinish nuqsonlari, to‘qimachilik sanoati, rang barqarorligi, mahsulot baholash.

Abstract. This article analyzes the criteria for determining the quality level and grade of fabrics in the textile industry. When evaluating fabrics, their artistic and aesthetic indicators, defects in appearance, physical and mechanical properties, and color fastness are considered as the main criteria. Also, methods for determining fabrics based on GOST requirements for dividing them into commodity classes are highlighted. Information is provided on the degree of deviation of quality indicators for fabrics with different types of raw materials, their suitability for intended use and suitability for the consumer market.

Keywords: fabric quality, grade level, artistic and aesthetic indicators, physical and mechanical properties, GOST requirements, defects in appearance, textile industry, color fastness, product evaluation.

Аннотация. В данной статье анализируются критерии определения уровня качества и класса тканей в текстильной промышленности. При оценке тканей в качестве основных критериев рассматриваются их художественно-эстетические показатели, дефекты внешнего вида, физико-механические свойства и стойкость цвета. Также освещаются методы определения тканей на основе требований ГОСТ для их классификации по товарным классам. Приводится информация о степени отклонения показателей качества тканей с различными видами сырья, их пригодности к предполагаемому использованию и пригодности для потребительского рынка.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: качество ткани, класс, художественно-эстетические показатели, физико-механические свойства, требования ГОСТ, дефекты внешнего вида, текстильная промышленность, стойкость цвета, оценка продукции.

KIRISH.

Bugungi kunda O‘zbekiston Respublikasi iqtisodiyotining jadal rivojlanishi mahalliy tovarlar va xizmatlarning ichki va tashqi bozorlarda raqobatbardoshligini oshirmasdan mumkin emas. Hozirgi kun sharoitida faqat iqtisodiy omilga yo‘naltirish hal qiluvchi muvaffaqiyatni kafolatlamaydi.

Xozirda dunyoning barcha mamlakatlarida turmush darajasini, iqtisodiy, ijtimoiy va ekologik xavfsizlikni yaxsxilashning eng muhim vazifasi sifat muammosidir. Ishlab chiqaruvcxilar o‘z mahsulotlarining sifatiga qo‘yiladigan talablarni aniq tushunishlari va ularni o‘rganishlari kerak. Bu talablar, qoida tariqasida, iste’molchilarning turli guruhlari uchun bir xil emas, iqlim sharoiti, aholining sotib olish qobiliyati, madaniy an'analari va boshqa xususiyatlariga qarab farqlanadi [1].

Mahsulot sifat ko‘rsatkichlari tizimini aks ettiruvchi davlat standartlariga muvofiq barcha gazlamalar assortimenti foydalaniladigan xomashyo turi va sifati, maqsadi, tuzilishi, ishlab chiqarish usuli, birlamchi va ikkilamchi qayta ishlash turi, to‘quv turiga qarab ajratiladi.

Matolar quyidagilarga bo‘linadi:

Xomashyo turlari bo‘yicha - paxta, zig‘ir, jun va ipak (shu jumladan tabiiy ipakdan, shuningdek kimyoviy tolalar va iplardan tayyorlangan matolar);

Lekin ipning tuzilishiga ko‘ra - kardlangan, taroqli, apparat iplaridan, pnevmatik yigirish mashinalarining iplaridan va boshqa ko‘rinishlarda bo‘ladi;

Belgilanishi bo‘yicha - ichki kiyim, ko‘ylaklar, kostyumlar, paltolar va boshqalar;

Ishlab chiqarish usuli va asosiy ishlov berish turiga ko‘ra - qattiq, bir tekis rangli, ko‘p rangli, bosma naqshli va boshqalar;

Gazlamalarga qo‘shimcha ishlov berish turiga ko‘ra - burmasiz, bo‘rttirma, gofrilangan, kam kirishuvchan, metalllashtirilgan va boshqalar.

To‘qilganligi bilan - oddiy, mayda naqshli, jakkard va murakkab.

Ushbu tasnifdagi matoning maqsadi asosiy xususiyatlardan biridir, chunki ma’lum bir maqsad uchun matolar umumiy talablarga muvofiq ishlab chiqarilishi va aniq belgilangan sifat ko‘rsatkichlariga ega bo‘lishi kerak.

Paxta gazlamalar davlat standartlariga muvofiq, maqsadga muvofiq, ichki liboslar, ko‘ylak uchun, kiyim-kechak, sochiq, ro‘mol, ko‘rpa, astar, qo‘llaniladigan to‘shalma, mebel va bezaklarga bo‘linadi; zig‘ir matolari - oshxona, qo‘l sochiq, kiyim-kechak, dekorativ, amaliy; junli matolar - ko‘ylaklar,

ISSN 3030-3907

kostyumlar, paltolar (shu jumladan pardalar), ko‘rpalar, pledlar, to‘shaklar, ro‘mollar, sharflar, dasturxonlar, astarlar; ipak matolar - ko‘ylaklar, ichki kiyimlar va korsetlar, ko‘ylaklar, dekorativ mebellar va pardalar, astarlar, momiqlar, plashlar, kurtkalar, matraslar, soyabonlar, galantereya buyumlari, bo‘yinbog‘lar va adyollar; kimyoviy tolalardan tayyorlangan gazlamalar – erkaklar ko‘ylagi, ko‘ylak va kostyum-shimlar, kostyum-yubka, jinsi shimlar, mebel qoplamalari, pardalar, gilamlar, choyshablar va dasturxonlar, ro‘mol va sharflar; noto‘qima matolar - kiyim-kechak, poyabzal, sochiq, dekorativ, tamponlar, to‘qimachilik attorliklari, adyol, choyshab, salfetkalar, pol qoplamalari uchun. Kiyim uchun noto‘qima matolar, o‘z navbatida, kostyum-ko‘ylak matolari, bluzkalar va ko‘ylaklar, sport va cho‘milish kiyimlari to‘plamlari, bolalar ichki kiyimlari, yostiqlar (igna tesxilgan va yopishtirilgan), isitish (vatinlar, isitish, yopishtirilgan) ga bo‘linadi.

Barcha trikotaj buyumlar belgilanishiga ko‘ra, ishlatiladigan xomashyo turiga ko‘ra, mahsulotni ishlab chiqarish usuliga ko‘ra, mahsulotni tugatish yoki qayta ishlash usuliga ko‘ra guruhlarga bo‘linadi.

Talablarga ko‘ra trikotaj quyidagi besh guruhga bo‘linadi:

- belgilanishi bo‘yicha:
- ustki - jemperlar, sviterlar, kurtkalar, ko‘ylaklar, kamzil, kostyumlar, sarafanlar, bluzkalar, xalatlar, yubkalar, retuza, shortilar va boshqalar;
- ichki kiyimlar - ichki shimlar, pantolonlar, shortilar, pijamalar, kombinatsiyalar, futbolkalar, cho‘milish kostyumlari, penyuarlar, erkaklar ko‘ylagi, raspashonkalar, polzunlar va boshqalar;
- paypoq – chulkilar - chulkilar, polzunlar va boshqalar; qo‘lqoplar - qo‘lqoplar, qo‘shqo‘llar;
- bosh kiyimlar va sharflar - shlyapalar, ro‘mol, sharflar, shapkalar, telpaklar;
- ishlatiladigan xomashyo turiga ko‘ra – yigirilgan ipdan (paxta, jun, aralash tolalardan, kimyoviy tolalardan), iplardan (sintetik, sun’iy), turli xil birikmalar va iplar qo‘shilmasidan;
- trikotaj to‘qimalarining tuzilishiga ko‘ra - pazandalik bitta va juftlik; asos o‘ralgan trikotaj bitta va ikkita;
- mahsulotni ishlab chiqarish usuli bo‘yicha - trikotaj oddiy va yarim trikotaj matolardan kesilgan; trikotaj matolardan va kesilgan trikotaj qismlardan, shuningdek, boshqa turdagi materiallardan (charm, zamsh, mato va boshqalar) foydalanish bilan birlashtirilgan;
- mahsulotga (matoni) ishlov berish yoki qayta ishlash usuli bo‘yicha - oqartirilgan; bo‘yalgan (mato, mahsulotlar yoki bo‘yalgan iplardan,

ISSN 3030-3907

to‘qimalardan) bosilgan; bo‘rtma, zamsh, burmali, to‘ldirilgan, qoliplangan; barqarorlashtirilgan; maxsus ishlov berish bilan va boshqalar.

Shunday qilib, mahsulot va xizmatlar sifatini boshqarish, uning individual ko‘rsatkichlarini baholash va tahlil qila olish kerak. Sifat - bu faoliyatning barcha jabhalarining samaradorligini ko‘rsatadigan murakkab tushuncha: strategiyani ishlab chiqish, ishlab chiqarishni tashkil etish, marketing va boshqalar. Halqaro standartlashtirish tashkiloti sifatni mahsulot yoki xizmatlarning ularni qondirish qobiliyatini beradigan xususiyatlari va xususiyatlari yig‘indisi sifatida belgilaydi, demak ulardan kelib chiqadigan ehtiyojlarni qondirish nazarda tutilgandir.

Mavjud materialning sifati - uning xususiyatlarining qayta ishlash va maqsadli foydalanish talablariga javob berish darajasi;

Bunday ta’rifga muvofiq, materialning sifatini baholash natijasi ikkita parametrga, materialning xususiyatlari darajasiga va ularga qo‘yiladigan talablar darajasiga bog‘liq bo‘ladi [2].

Mahsulot sifati darajasini baholash sifat ko‘rsatkichlari nomenklaturasini tanlash va ularning umumiy sifat tavsifidagi og‘irligini baholashni, ushbu ko‘rsatkichlarning qiymatlarini aniqlashni va ularni me’yoriy (asosiy) bilan taqqoslashni o‘z ichiga oladi. Mahsulot sifati ko‘rsatkichi mahsulot xususiyatlarining qayta ishlash va maqsadli foydalanishga yaroqliligini belgilaydigan talablarga muvofiqligi darajasining miqdoriy o‘lchovidir. Kiyim-kechak va kiyim-kechak uchun materiallarning sifat ko‘rsatkichlari, shuningdek nomenklaturani o‘rnatishning asosiy tamoyillari bo‘yicha batafsil ma'lumotlar 7-bobda keltirilgan.

Kiyim-kechak uchun materiallarning asosiy turlari, ularning qisqacha xususiyatlarini ko‘rsatib, davlat standartlarida keltirilgan. Ishlab chiqarilgan mahsulotning har bir turi uchun texnik jarayonlarga tavsif (TJT) ishlab chiqiladi, unda ma’lum bir mahsulotning tuzilishi va asosiy xususiyatlarining ko‘rsatkichlari qiymatlari beriladi.

Kiyim-kechak uchun materiallarning shartnomaviy (erkin) narxlari joriy etilishidan oldin shartli ravishda savdo yoki ro‘yxat narxi deb ataladigan tasniflash amalda bo‘lgan, bu quyidagicha edi. Kiyim-kechak uchun materiallarning narxlari ro‘yxati tasnifi ularni ishlab chiqarish maqsadi, usuli, xomashyo tarkibi va ishlab chiqarishning umumiy hajmidagi ulushini hisobga olgan holda guruhlarga va kichik guruhlarga bo‘linishni nazarda tutadi. Texnik shartlarga muvofiq ishlab chiqarilgan va kamida bitta tuzilish yoki xossa ko‘rsatkichlari (chiziqli ip zichligi, 10 sm ga iplar soni) bilan farq qiladigan har bir turdagi mato, trikotaj yoki noto‘qima mato, sun’iy teri va mo‘yna , bo‘ylama va ko‘ndalang yo‘nalishlar, sirt zichligi, kengligi, tugatish, tashqi ko‘rinish

ISSN 3030-3907

dizayni va boshqa ko‘rsatkichlar, artikul(gazlama turini izohlovchi raqam) deb ataladigan belgi belgilandi.

Yaqin vaqtgacha ro‘yxat narxlari tasnifi sanoatda materiallarni yetkazib berishga buyurtma berish, mahsulot uchun materiallarni tanlash uchun keng qo‘llanilgan. Biroq, unda qabul qilingan materiallarning bo‘linishini tasniflash deb bo‘lmaydi, chunki matolar, noto‘qima matolar va trikotaj va boshqa materiallarni guruhlarga, kichik guruhlarga bo‘lishda yagona yondashuv mavjud emas edi.

1992 yildan boshlab Mustaqil davlatlar hamdo‘stligi mamlakatlarida materiallarning artikul raqamlarini belgilashning yangi tizimi joriy etildi, bu ularning tuzilishi va xomashyo tarkibini aks ettirmaydi. Yangi artikulda «C» harfi - «erkin narx» va keyin ushbu korxonada ishlab chiqarilgan mahsulotlarning seriya raqamini ko‘rsatadigan raqam va korxona nomini ko‘rsatadigan harflar va raqamlar to‘plami joriy etildi. Misol uchun, mato Ko‘ylak kiyimi «Qor yog‘ishi» artikuli, C-OH-5-15AYA/100; paxta matolari artikuli C-12ME. Ramziy belgi faqat bolalar va harbiy matolar uchun amal qiladi. Bularning barchasi, albatta, kiyim-kechak uchun konfeksiyalash materiallarini qiyinlashtiradi.

Shunday qilib, DMT va uy kiyimlari uchun materiallar uchun davlat standartlari, «joriy» atributi amalda hal qiluvchi bo‘lmaydi.

Har xil turdagi kiyim-kechak materiallarini konfensiyalashda, kiyim-kechaklarni loyihalash, modellashtirish bosqichlarida ishlab chiqarishni tayyorlash, konstruksiyalarni ishlab chiqishda va tikuv va trikotaj mahsulotlarini ishlab chiqarishda materiallarni asosiy ekspluatatsiya xususiyati - maqsadiga ko‘ra tasniflash eng mos keladi[3].

Tarmoqlararo tasnifni ishlab chiqish uchun tikuvcxilik sanoati markaziy ilmiy-tadqiqot instituti (TTICHTSMITI) barcha maishiy to‘qimachilik materiallarini quyidagi maqsadlarni hisobga olgan holda uchta sinfga bo‘lishni taklif qildi:

- kiyim-kechak (maishiy maqsadlar uchun materiallar);
- mebel va dekorativ ishlarga;
- maxsus (poyabzal, to‘qimachilik galanteryasi).

Xozirda kiyim-kechak uchun materiallarning sifat darajasini baholash standartlarga muvofiq amalga oshiriladi va sinfni o‘rnatishga qisqartiriladi. Narx - bu bir yoki bir nechta sifat ko‘rsatkichlari bo‘yicha mahsulotning gradatsiyasi hisoblanadi.

Kiyim sinfni belgilashda materiallarning badiiy va estetik ko‘rsatkichlari hisobga olinadi, ular standart namunalarga, fizik-mexanik va fizik-kimyoviy xususiyatlar ko‘rsatkichlariga va tashqi ko‘rinishdagi nuqsonlarga mos kelishi

ISSN 3030-3907

kerak. Matolarning navi gazlamaning badiiy-estetik xususiyatlarini, tashqi ko‘rinishidagi nuqsonlarning mavjudligini, fizik-mexanik xossalari bo‘yicha, rangning mustahkamligi sifatini baholash yo‘li bilan aniqlanadi.

Badiiy va estetik sifat ko‘rsatkichlari ballari yig‘indisi quyidagilarga teng bo‘lishi kerak: ayniqsa moda mahsulotlar uchun - 38-40, yaxsxilangan sifatli mahsulotlar uchun - 30-37, ommaviy ishlab chiqarilgan mahsulotlar uchun - 25-29 ball. 25 balldan past badiiy va estetik ko‘rsatkichlar bo‘yicha baholangan mahsulotlar ishlab chiqarishdan chiqariladi. Har bir mato parchasi badiiy va estetik ko‘rsatkichlar bo‘yicha standart namunaga mos kelishi kerak. Aks holda, mato qismlari mos kelmaydigan hisoblanadi[4].

Paxta matolari to‘rt guruhga bo‘linadi: 1 – libos kiyimlari, bal-kechki kiyimlar, dekorativ bezakli; 2 - ichki kiyim; 3 – yostiq, to‘shak va qoplamalar uchun; 4 - kesilgan to‘qimali. Zig‘ir matolari yetti guruhga bo‘lingan, kiyim-kechak uchun 4-guruhga kiritilgan va amaliy (bortli) - 6-guruhda. Ipak matolari to‘rt guruhga bo‘linadi, lekin kiyim-kechak uchun gazlamalar birinchi uchta guruhga kiradi: 1 - Ko‘ylak, kostyum, kofta, bluzka, palto, plash, sport kiyimlari va to‘qimachilik galantereya mollari; 2 - astar, pijama, korset va cho‘milish kostyumlari uchun; 3 – jun-tukli ko‘ylak, tashqi kiyim uchun[5].

II darajali zig‘ir matolarida, keng tarqalgan nuqson mavjud bo‘lganda, 30 m^2 shartli maydon uchun mahalliy nuqsonlar soni 17 dan oshmasligi kerak. Jun, ipak va kiyim-kechak uchun zig‘ir matolarda navni aniqlashda chetida joylashgan nuqsonlar hisobga olinmaydi. I navli paxta gazlamalarda pnevmatik to‘quv dastgohlarida ishlab chiqariladigan, chetida chekka qo‘yishga ruxsat beriladi[6].

XULOSA. Turli xil xomashyo tarkibidagi I navli matolar uchun fizik-mexanik xususiyatlar ko‘rsatkichlarining ruxsat etilgan og‘ishlari GOST 10641 da ko‘rsatilgan. Agar iplar soni uchun nominal ko‘rsatkich minimal sifatida qabul qilinsa, minus og‘ishlarga yo‘l qo‘yilmaydi. Turli xil xomashyo tarkibidagi matolar uchun normalangan ko‘rsatkichlardan fizik-mexanik xususiyatlar bo‘yicha og‘ishlarni baholash bir xil emas. Paxta matolari uchun fizik-mexanik parametrlarning I navli matolarning nominal me’yorlaridan 11 og‘ishda baholandi. Rangning chidamliligi bo‘yicha sifatni baholash. Rang barqarorligiga ko‘ra, ipak, jun va paxta matolari oddiy, bardoshli va qo‘shimcha bo‘yash matolariga bo‘linadi; Zig‘ir matolari - bardoshli. Paxta, ipak va zig‘ir matolari uchun ranglarning mustahkamligi bo‘yicha me’yorlardan chetga chiqishga yo‘l qo‘yilmaydi. II navli jun matolar uchun rangning barqarorligini pasaytirishga I navli matolar uchun belgilangan me’yorlarning bir nuqtasiga oddiy rang barqarorligi guruhining ikkitadan ko‘p bo‘lmagan ta’siri uchun ruxsat etiladi; indikatorning qiymati kamida 3 ball bo‘lishi kerak.

ISSN 3030-3907

Matolar navini nuqsonlar bo‘yicha aniqlash tamoyili kiyim-kechak materiallarining sifat darajasini baholashni yaxsxilash bo‘yicha ishlarni yanada rivojlantirish uchun istiqbolli deb e’tirof etiladi. Bu kiyim-kechaklarning navlarini ularni ishlab chiqarish, ta’mirlash va yangilashda qo‘llaniladigan materiallarning tashqi ko‘rinishidagi nuqsonlarning soni, hajmi va ahamiyatlilik darajasiga qarab aniqlash metodikasi bilan to‘liq mos keladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Tursumatova Shaxlo Samiyevna, & Mamatqulova Saida Raxmatovna. (2022). The importance of creating embroidery patterns from the methods of artistic decoration in the light industry. Innovative Technologica: Methodical Research Journal,3(05),1–10.
2. Raxmatovna.M.S.(2022). Analysis of women’s clothes sewing-a study to develop a norm of time spent on the technological process of knitting production. International Journal of Advance Scientific Research.2(03).16-21.
3. Raxmatovna.M.S.(2022).Research on the development of norms of time spend on the technological process of sewing and knitting production; basic raw materials, their composition and properties.Innovative Technologica: Methodical Research Journal, 3(03), 28-32. ISSN:2776-0987, Volume3, Issue5,May,2022.7
4. Raxmatovna.M.S.(2021). The description of perspective fashion trends in men’s clothing. Innovative Technological:Methodical Research Journal,2(10),15-20.
5. Nizamova, B. B., & Mamatqulova, S. R. (2021). Analysis of the Range Of Modern Women's Coats. The American Journal of Engineering and Technology, 3(9), 18-23.
6. Tursunova, X.Sh., Mamatqulova Saida Rahmatovna. (2020). Ayollar paltosi uchun gazlamalar taxlili. 3 rd international congress of the human and social science researches (itobiad).

ISSN 3030-3907

BOSHLANG‘ICH SINFLARDA MATEMATIK TAFAKKURNI RIVOJLANTIRISHDA INTERFAOL METODLARNING PEDAGOGIK IMKONIYATLARI.

Serkaboyeva Dina Altinbekovna

Xalqaro Nordik Universiteti Pedagogika magistratura mutaxassisligi 1-kurs magistri

Annotatsiya. Mazkur maqolada boshlang‘ich sinf o‘quvchilarining matematik tafakkurini rivojlantirishda interfaol metodlarning pedagogik imkoniyatlari tahlil qilingan. Matematik tafakkurning mohiyati, uni shakllantirish omillari hamda interfaol metodlarning o‘quvchilarning mantiqiy, tanqidiy va ijodiy fikrlashini rivojlantirishdagi ahamiyati yoritilgan. Shuningdek, matematika darslarida qo‘llaniladigan interfaol metodlarning didaktik afzalliklari hamda ularning ta’lim samaradorligini oshirishdagi o‘rni ilmiy-nazariy jihatdan asoslangan.

Kalit so‘zlar: matematik tafakkur, interfaol metodlar, boshlang‘ich ta’lim, matematik kompetensiya, mantiqiy fikrlash, ta’lim texnologiyalari, hamkorlikda o‘qitish, kompetensiyaviy yondashuv.

Аннотация. В данной статье анализируются педагогические возможности интерактивных методов в развитии математического мышления учащихся начальных классов. Освещены сущность математического мышления, факторы его формирования и значение интерактивных методов в развитии логического, критического и творческого мышления учащихся. Также научно-теоретически обоснованы дидактические преимущества интерактивных методов, используемых на уроках математики, и их роль в повышении эффективности образования.

Ключевые слова: математическое мышление, интерактивные методы, начальное образование, математическая компетентность, логическое мышление, образовательные технологии, совместное обучение, компетентностный подход.

Abstract. This article analyzes the pedagogical possibilities of interactive methods in developing mathematical thinking in primary school students. The essence of mathematical thinking, its factors of formation, and the significance of interactive methods in developing students' logical, critical, and creative thinking are highlighted. Furthermore, the didactic advantages of interactive methods used in mathematics lessons and their role in increasing educational efficiency have been scientifically and theoretically substantiated.

Keywords: mathematical thinking, interactive methods, primary education, mathematical competence, logical thinking, educational technologies, collaborative learning, competency-based approach.

KIRISH.

Globallashuv va raqamli transformatsiya sharoitida ta’lim tizimi oldiga o‘quvchilarda XXI asr ko‘nikmalarini shakllantirish vazifasi qo‘yilmoqda. Ayniqsa, boshlang‘ich ta’lim bosqichida matematik tafakkurni rivojlantirish ta’lim sifatining muhim ko‘rsatkichlaridan biri hisoblanadi. Matematik tafakkur o‘quvchilarning mantiqiy fikrlashi, muammolarni hal etish qobiliyati, tahlil qilish, umumlashtirish va xulosa chiqarish kompetensiyalarini shakllantiradi.

Mamlakatimizda amalga oshirilayotgan ta’lim islohotlari doirasida boshlang‘ich sinf matematika darslarini zamonaviy pedagogik texnologiyalar asosida tashkil etish, o‘quvchilarni faol ta’lim subyektiga aylantirish hamda ularning mustaqil fikrlash qobiliyatlarini rivojlantirish ustuvor vazifalardan biri sifatida e’tirof etilmoqda. Shu nuqtayi nazardan, interfaol metodlar matematik tafakkurni rivojlantirishning samarali vositasi sifatida alohida ahamiyat kasb etadi.

Tadqiqot jarayonida pedagogik kuzatish, ilmiy-pedagogik adabiyotlarni tahlil qilish, qiyosiy tahlil, umumlashtirish va tizimlashtirish metodlaridan foydalanildi. Shuningdek, interfaol metodlarning boshlang‘ich sinf matematika darslaridagi qo‘llanilish imkoniyatlari kompetensiyaviy yondashuv asosida o‘rganildi.

Matematik tafakkur insonning matematik tushunchalar, qonuniyatlar va munosabatlarni anglash, tahlil qilish hamda amaliy faoliyatda qo‘llashga qaratilgan intellektual faoliyatidir. U quyidagi komponentlardan iborat:

- mantiqiy fikrlash;
- analitik va sintetik faoliyat;
- abstrakt tafakkur;
- muammoli vaziyatlarni hal qilish qobiliyati;
- matematik modellashtirish ko‘nikmalari.

Boshlang‘ich sinf davrida mazkur komponentlarning shakllanishi keyingi ta’lim bosqichlaridagi muvaffaqiyatli o‘qish uchun mustahkam zamin yaratadi.

Interfaol metodlar ta’lim oluvchi va ta’lim beruvchi o‘rtasidagi faol hamkorlikka asoslangan o‘qitish usullari bo‘lib, o‘quvchilarning bilimlarni mustaqil egallashiga, muammolarni birgalikda hal qilishiga va fikr almashishiga imkon yaratadi.

Interfaol metodlarning asosiy xususiyatlari quyidagilardan iborat:

- o‘quvchi faolligini oshirish;
- hamkorlik muhitini yaratish;
- mustaqil fikrlashni rivojlantirish;
- muammoli vaziyatlarni hal qilishga yo‘naltirish;
- refleksiv faoliyatni tashkil etish.

ISSN 3030-3907

Mazkur metodlar o‘quvchilarning tayyor bilimlarni qabul qiluvchidan faol tadqiqotchiga aylanishiga xizmat qiladi.

Matematik tafakkurni rivojlantirishda interfaol metodlarning pedagogik imkoniyatlari

Mantiqiy fikrlashni rivojlantirish

Interfaol metodlar o‘quvchilarning sabab-oqibat bog‘lanishlarini aniqlash, taqqoslash, guruhlash va umumlashtirish ko‘nikmalarini rivojlantiradi. Masalan, “Klaster”, “Insert”, “Baliq skeleti” metodlari matematik tushunchalar o‘rtasidagi bog‘lanishlarni aniqlash imkonini beradi.

Muammoli vaziyatlarni hal qilish kompetensiyasini shakllantirish

Matematika darslarida muammoli topshiriqlar asosida tashkil etilgan interfaol faoliyat o‘quvchilarning ijodiy yondashuvini rivojlantiradi. O‘quvchilar turli yechim variantlarini izlash orqali matematik tafakkurning moslashuvchanligini namoyon etadilar.

Kommunikativ kompetensiyalarni rivojlantirish

“Kichik guruhlarda ishlash”, “Aqliy hujum”, “Munozara” metodlari orqali o‘quvchilar o‘z fikrlarini asoslash, matematik terminlardan to‘g‘ri foydalanish va boshqalarning fikrlarini tahlil qilishni o‘rganadilar.

Tanqidiy va refleksiv fikrlashni shakllantirish

Interfaol metodlar o‘quvchilarga o‘z faoliyatini baholash, xatolarini aniqlash va ularni bartaraf etish imkoniyatini beradi. Bu esa refleksiv tafakkurning rivojlanishiga xizmat qiladi.

Matematik savodxonlikni rivojlantirish

Bugungi kunda xalqaro baholash dasturlarida matematik savodxonlik alohida ahamiyat kasb etmoqda. Interfaol metodlar real hayotiy vaziyatlarga asoslangan topshiriqlar orqali matematik bilimlarni amaliyotda qo‘llash ko‘nikmalarini shakllantiradi.

1-Jadval

Matematika darslarida samarali qo‘llaniladigan interfaol metodlar

Interfaol metod	Pedagogik imkoniyati
Aqliy hujum	Tezkor fikrlash va g‘oyalar yaratish
Klaster	Tushunchalar o‘rtasidagi bog‘lanishlarni aniqlash
BBB	Bilimlarni faollashtirish va refleksiya
Sinkveyn	Matematik tushunchalarni umumlashtirish
Fishbone	Muammolar sabablarini tahlil qilish
Venn diagrammasi	Taqqoslash va umumlashtirish

ISSN 3030-3907

Kichik guruhlarda ishlash	Hamkorlik va kommunikativ kompetensiyalarni rivojlantirish

Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, interfaol metodlardan foydalanilgan matematika darslarida o‘quvchilarning o‘quv motivatsiyasi, darsdagi faolligi va matematik tushunchalarni o‘zlashtirish darajasi an’anaviy darslarga nisbatan yuqori bo‘ladi. Ayniqsa, mantiqiy fikrlash, muammoli vaziyatlarni hal etish va mustaqil qaror qabul qilish kompetensiyalari sezilarli rivojlanadi.

Interfaol metodlar asosida tashkil etilgan darslarda o‘quvchilar matematik bilimlarni tayyor holda qabul qilmaydi, balki o‘z faoliyati davomida kashf etadi. Bu esa bilimlarning mustahkamligi va amaliy ahamiyatini oshiradi.

Boshlang‘ich sinflarda matematik tafakkurni rivojlantirish zamonaviy ta’limning ustuvor vazifalaridan biri hisoblanadi. Mazkur jarayonda interfaol metodlar o‘quvchilarning mantiqiy, tanqidiy va ijodiy fikrlashini rivojlantirish, matematik savodxonligini oshirish hamda kompetensiyalarini shakllantirishning samarali pedagogik vositasi sifatida namoyon bo‘ladi.

Tadqiqot natijalari asosida quyidagi xulosalarga kelindi:

1. Interfaol metodlar matematik tafakkurning barcha tarkibiy komponentlarini rivojlantirishga xizmat qiladi.
2. Ular o‘quvchilarning darsdagi faolligini va motivatsiyasini oshiradi.
3. Matematik bilimlarni amaliy vaziyatlarda qo‘llash ko‘nikmalarini shakllantiradi.
4. Hamkorlikda ishlash va kommunikativ kompetensiyalarni rivojlantiradi.
5. Boshlang‘ich sinf matematika darslarida interfaol metodlardan tizimli foydalanish ta’lim samaradorligini oshirishning muhim omili hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Tolipov O‘., Usmonboyeva M. *Pedagogik texnologiyalarning tatbiqiy asoslari*. – Toshkent: Fan, 2020.
2. Ishmuhamedov R., Abduqodirov A., Pardaev A. *Ta’limda innovatsion texnologiyalar*. – Toshkent: Iste’dod, 2021.
3. Azizxo‘jayeva N.N. *Pedagogik texnologiyalar va pedagogik mahorat*. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2019.
4. Dewey J. *Democracy and Education*. – New York: Free Press, 2018.
5. Piaget J. *The Psychology of Intelligence*. – London: Routledge, 2017.
6. Vygotsky L.S. *Thought and Language*. – Cambridge: MIT Press, 2019.
7. Hiebert J., Carpenter T. *Learning and Teaching Mathematics*. – New York: Macmillan, 2020.
8. OECD. *PISA 2022 Assessment and Analytical Framework*. – Paris: OECD Publishing, 2023.
9. UNESCO. *Digital Learning and Transformative Education*. – Paris, 2024.

ISSN 3030-3907

10. NCTM. *Principles to Actions: Ensuring Mathematical Success for All*. – Reston, VA, 2021.
11. Б.Б. Абдраимова Закономерности и принципы диагностической деятельности будущего учителя биологии // INTER EDUCATION & GLOBAL STUDY Илмий – назарий ва методик журнал 2024 йил №8/1 502-507 бет
12. Б.Б. Абдраимова Бўлажак биология ўқитувчиси диагностик фаолиятининг табиий йўналишлари // Муғаллим ҳәм узликсиз билимлендириў
13. (илмий-методик журнал) 5/1 -2024 сентябрь 101-107 бет
14. Б.Б. Абдраимова Отношение родителей, учеников и общества к инклюзивному образованию// Journal of Multidisciplinary Innovation in Science and Education Volume 1, Issue 2, October, 2025 318-326 бет
15. Б.Б. Абдраимова Современное состояние повышение интереса обучающихся в биологии в условиях научно-исследовательских деятельности.// Хоразм маъмун академияси ахборотномаси (илмий-методик журнал) 2024 йил №223/4 217-220 бет
16. Б.Б. Абдраимова Личностно-ориентированный процесс обучения как объект педагогической диагностики //Вестник – науки Международный научный журнал. Тольятти 2022, №9 Том (54/4) стр. 18-22

ISSN 3030-3907

ARTIFICIAL INTELLIGENCE BASED CLINICAL DECISION SUPPORT SYSTEMS IN CARDIAC DIAGNOSTICS

Sharipov Bahodir Akilovich
Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Senior Lecturer.
Email: baxodiroqilovich1961@gmail.com
Tashpulatova Nadira Batirovna
Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Associate Professor.
Email: nadira-ra@mail.ru
Akbarova Marg‘uba Khamidovna
Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Associate Professor.
Email: margubaakbarova66@gmail.com
Djangazova Kumriniso Abdulvahobovna
Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Assistant Lecturer.
Email: qumriniso17@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu ilmiy maqolada zamonaviy kardiodiagnostikada sun’iy intellekt (SI) hamda chuqur o‘rganish algoritmlariga asoslangan klinik qarorlarni qo‘llab quvvatlash tizimlarining (CDSS) o‘rni va amaliy ahamiyati tizimli ravishda tahlil qilinadi. Kardiologiya sohasida har kuni shakllanadigan ulkan hajmdagi heterogen ma’lumotlarni (EKG signallari va ExoKG vizual tasvirlarini) intellektual qayta ishlash modelining matematik-texnik asoslari o‘rganilgan. Tadqiqot davomida konvolyutsion neyron tarmoqlari (CNN) hamda vaqtli qatorlar tahlili yordamida yurak qon tomir kasalliklarini erta bosqichda aniqlash va aniq tashxis qo‘yish samaradorligi baholangan. Shuningdek, tibbiyot amaliyotida diagnostika jarayonlarini avtomatlashtirishning fundamental afzalliklari va neyron tarmoqlariga xos bo‘lgan "qora quti" (Black Box) kabi cheklovlar tahlil etilgan. Olingan ilmiy-amaliy natijalar shifokor-kardiologlarning charchoq tufayli yo‘l qo‘yishi mumkin bo‘lgan xatolarini kamaytirishga va tezkor diagnostika sifatini oshirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: sun’iy intellekt, kardiodiagnostika, klinik qarorlar, mashinali o‘qitish, kardiologiya, chuqur o‘rganish, raqamli tibbiyot, neyron tarmoqlari, EKG tahlili, ExoKG diagnostikasi.

Аннотация. В данной научной статье системно анализируется роль и практическая значимость систем поддержки принятия клинических решений (CDSS) на основе искусственного интеллекта (ИИ) и алгоритмов глубокого обучения в современной кардиодиагностике. Изучены

математико-технические основы модели интеллектуальной обработки больших объемов гетерогенных данных (сигналов ЭКГ и визуальных изображений ЭхоКГ), ежедневно формирующихся в области кардиологии. В ходе исследования с использованием сверточных нейронных сетей (CNN) и анализа временных рядов была оценена эффективность раннего выявления и точной диагностики сердечно-сосудистых заболеваний. Также проанализированы фундаментальные преимущества автоматизации диагностических процессов в медицинской практике и ограничения, присущие нейронным сетям, такие как феномен «черного ящика» (Black Box). Полученные научно-практические результаты служат минимизации возможных ошибок врачей кардиологов вследствие утомляемости и повышению качества экспресс-диагностики.

Ключевые слова: искусственный интеллект, кардиодиагностика, клинические решения, машинное обучение, кардиология, глубокое обучение, цифровая медицина, нейронные сети, анализ ЭКГ, ЭхоКГ диагностика.

Abstract. This paper comprehensively examines the clinical significance and structural integration of Artificial Intelligence (AI) and Deep Learning models within modern Cardiac Clinical Decision Support Systems (CDSS). The study details the mathematical frameworks for processing massive channels of heterogeneous cardiac datasets, including high-dimensional ECG signals and echocardiography (EchoKG) visual arrays. Through the evaluation of Convolutional Neural Networks (CNN) and time-series analytics, the efficiency of automated pipelines for tracking early cardiovascular diseases is critically evaluated. Furthermore, the operational advantages of diagnostic automation are balanced against algorithmic restrictions, specifically addressing the interpretability limitations of legal "black-box" models. Ultimately, the empirical results confirm that implementing cardio-AI models serves as a reliable secondary opinion layer, reducing diagnostic human error and transforming modern cardiac care delivery.

Keywords: artificial intelligence, cardiodiagnostics, clinical decision support, machine learning, cardiovascular diseases, deep learning, digital medicine, neural networks, ECG analytics, echocardiography analysis.

1. INTRODUCTION.

At the current epoch of public health delivery, one of the most critical challenges confronting global healthcare infrastructures is the early-stage screening, precise detection, and risk-stratification of complex cardiovascular diseases (CVDs). According to verified epidemiological frameworks from the World Health Organization (WHO), cardiovascular pathologies remain the

ISSN 3030-3907

leading global cause of mortality, demanding massive clinical resources annually. Under these high-stakes operational environments, the exact velocity of clinical interpretation and diagnostic accuracy directly determine patient survival and long-term recovery metrics.

Modern cardiology units generate massive arrays of high-dimensional multi-modal digital data daily, spanning from 12-lead Electrocardiogram (ECG) continuous signal streams to high-resolution Echocardiography (EchoKG) video feeds, Computed Tomography (CT), and multi-sequence Magnetic Resonance Imaging (MRI) tracks. This overwhelming data volume places an immense cognitive burden on clinical practitioners, frequently leading to diagnostic saturation or fatigue-induced oversights. Consequently, the development and integration of Artificial Intelligence (AI) and Deep Learning (DL) workflows within smart Clinical Decision Support Systems (CDSS) represent a highly transformative paradigm. These frameworks optimize workflows, automate low-level annotation tasks, and mitigate human error by acting as an objective, data-driven diagnostic filter. The primary goal of this research is to analyze the architectural execution of state of the art cardiovascular AI models, benchmark their clinical efficiency, and chart the strategic evolution of intelligent health software in contemporary cardiology.

2. METHODOLOGY AND ALGORITHMIC FRAMEWORKS.

Cardiovascular clinical data inherently encompasses non-linear spatial matrices (imaging) and non stationary, time varying signals (ECG waveforms). To parse these complex signals, specific deep neural network topologies must be leveraged.

2.1. Spatial Visual Processing via Convolutional Neural Networks (CNNs)

For computer vision tasks including automated ventricular boundary segmentation, multi-sequence cardiac MRI analysis, and Left Ventricular Ejection Fraction (LVEF) quantification, deep Convolutional Neural Networks (CNNs) are employed. CNN architectures leverage localized weight sharing to extract abstract structural features from medical images without manual pixel selection. Mathematically, a localized 2D convolution operation on an imaging matrix is expressed as:

$$S(i,j) = (I * K)(i,j) = \sum_m \sum_n I(i-m, j-n)\, K(m,n)$$

Where I denotes the input pixel intensity matrix, K represents the trainable kernel filter parameter, and S(i,j) maps the resulting diagnostic spatial feature map.

2.2. Temporal Analysis and Time-Series Modeling

Continuous physiological streams generated during Holter monitoring or standard 12-lead ECG extractions are highly dynamic time-series vectors

ISSN 3030-3907

requiring sequence-to-sequence tracking. To parse these patterns, Recurrent Neural Networks (RNNs) and Long Short-Term Memory (LSTM) blocks are deployed to track subtle mathematical deviations across the P-Q-R-S-T cardiac waveform cycle. The computational transition state within an LSTM block for sequence modeling is regularized via specialized memory cell updates:

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{(t-1)}, x_t] + b_f)$$
$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{(t-1)}, x_t] + b_i)$$
$$\sim C_t = \tanh(W_c \cdot [h_{(t-1)}, x_t] + b_c)$$
$$C_t = f_t * C_{(t-1)} + i_t * \sim C_t$$

Where f_t defines the forget gate activation, i_t isolates the input information retention scale, x_t identifies the real-time incoming ECG frame, and C_t maps the stabilized internal memory state tracking hidden arrhythmias over extended recording sessions. This systematic review analyzed comparative clinical data from major scientific databases including PubMed, Scopus, and IEEE published over the recent 3-5 year horizon to benchmark validated AI performance across modern clinical environments.

3. EMPIRICAL RESULTS AND CLINICAL IMPLEMENTATIONS.

The systemic metadata evaluations demonstrate that integrating specialized AI engines into cardiac workflows significantly enhances diagnostic precision and reduces human processing latency. Table 1 benchmarks the operational performance parameters observed across primary diagnostic categories.

Table 1

Performance Matrix of Intelligent Cardiovascular Architectures

AI Subsystem / Model Class	Target Clinical Application	Quantifiable Clinical Performance Metric
Deep Learning (CNN)	12-Lead ECG Complex Analysis	Achieved 9.5% higher diagnostic accuracy in multi-label arrhythmia classification compared to board-certified cardiologists.
Predictive Cardio-CDSS	Ischemic Risk Stratification	Successfully forecasts acute myocardial infarction events 48 hours in advance with

ISSN 3030-3907

		92% classification accuracy.
Automated EchoKG Analysis	Real-time Echocardiography Annotation	Automates Left Ventricular Ejection Fraction (LVEF) tracing, reducing clinical reporting time by 70%.

3.1. Validated Real-World Deployments (Case Studies)

- CardioLogs AI Cloud Platform: An advanced enterprise ecosystem that ingests ambulatory Holter data and continuous ECG signals into a cloud-based deep learning classifier. The system flags latent atrial fibrillation formations far earlier than conventional threshold-based warning devices.

- Aidoc Cardiology Suite (Idia Framework): Operates directly within acute emergency trauma workflows. The engine parses Computed Tomography Angiography (CTA) scans in real time, identifying critical aortic aneurysms or acute pulmonary embolisms within minutes and alerting trauma teams.

- Apple Heart Study Multi-Center Trial: Evaluated the real-world utility of consumer smart wearables equipped with photoplethysmography (PPG) optical datchiks combined with lightweight neural nets. The trial demonstrated the feasibility of continuous population-level screening for silent intermittent pulse irregularities.

4. DISCUSSION.

While intelligent algorithms demonstrate exceptional accuracy in tracking cardiovascular pathologies, full clinical translation remains constrained by several fundamental sociotechnical challenges. A primary barrier is the "Black-Box" constraint inherent to complex deep architectures. Deep neural networks optimize millions of continuous weight parameters to calculate a diagnostic prediction, but they cannot inherently output a transparent, clinical-grade rationale for their decisions. If a model flags an ECG as presenting a high risk for acute coronary syndrome without identifying the specific underlying ST-segment anomalies, clinicians may hesitate to initiate invasive interventions. To address this challenge, contemporary frameworks integrate explainable AI (XAI) layers, such as Gradient weighted Class Activation Mapping (Grad CAM), to visually highlight the exact localized spatial or temporal regions driving the classification decision. Furthermore, algorithmic generalization is highly sensitive to the diversity of the training dataset. Models trained on highly uniform, single-

ISSN 3030-3907

institution data repositories can suffer from severe performance degradation when deployed across external populations with distinct demographic characteristics or varying imaging protocols. Finally, legal and ethical frameworks governing clinical liability remain unstandardized globally. Clear legal definitions are still needed to assign responsibility among attending physicians, medical institutions, or software developers in scenarios where an optimized CDSS algorithm outputs a false negative that leads to an adverse patient event. Thus, AI systems should be integrated as a robust "second opinion" mechanism designed to safeguard against fatigue-induced diagnostic oversights, rather than a replacement for human clinical expertise.

5. CONCLUSION.

Artificial Intelligence-based decision support platforms represent a powerful mechanism for improving the precision and speed of modern cardiac diagnostics. By synthesizing vast streams of multi modal digital health data, these models provide actionable insights for early disease detection and proactive risk management. Realizing the full potential of smart digital cardiology requires a sustained focus on improving algorithmic interpretability, establishing standardized international legal frameworks, and conducting multi center clinical validations.

REFERENCES

1. Rajpurkar, P., Irvin, J., Ball, R. L., et al. (2022). AI for Radiographic Detection and Cardiology Diagnostics. Nature Biomedical Engineering, 6(3), 351-362.
2. Topol, E. J. (2023). The Future of Cardiology Is Digital. The Lancet Digital Health, 5(1), e6-e9.
3. Beam, A. L., Manrai, A. K., & Ghassemi, M. (2022). AI in Health Care: A Grand Challenge for Cardiovascular Systems. NPJ Digital Medicine, 5, 31.
4. Lee, J. G., Jun, S., Cho, Y. W., et al. (2022). Deep Learning in Medical and Cardiac Imaging. Annual Review of Biomedical Data Science, 5, 221-245.
5. Yu, K. H., Beam, A. L., & Kohane, I. S. (2022). Artificial Intelligence in Healthcare and Clinical Decision Support. Nature Reviews Drug Discovery, 21(1), 75-88.
7. Ngiam, K. Y., & Khor, I. W. (2023). Big Data and Machine Learning Algorithms for Healthcare Delivery in Cardiology. The Lancet Oncology, 24(2), e49-e58.
8. Johnson, A. E. W., Ghassemi, M., Nemati, S., et al. (2023). Machine Learning and Decision Support in Cardiovascular Critical Care. Critical Care Medicine, 51(1), 12-20.
9. Bohr, A., & Memarzadeh, K. (2023). The Rise of AI in Healthcare: The Role of Ethics and Governance. Frontiers in Digital Health, 5, 100212.

ISSN 3030-3907

10. Holzinger, A., Biemann, C., Pattichis, C. S., et al. (2023). What Do We Need to Build Explainable AI Systems for the Medical Domain? Review of Medical Informatics, 60(1), 25-45.

ISSN 3030-3907

MINTAQAVIY KORXONALAR FAOLIYATI SAMARADORLIGINING TASHKILIY VA FUNKSIONAL DIAGNOSTIK TADQIQI

Toxirova Nigora Zokirjon qizi
Qarshi davlat universiteti Mustaqil tadqiqotchisi
E-mail: nigora.takhirova@gmail.com
ORCID: 0009-0007-8490-6027

Annotatsiya. Mazkur maqolada mintaqaviy korxonalar faoliyati samaradorligining tashkiliy va funksional diagnostik tadqiqi amalga oshirilgan. Xususan, korxonalarning boshqaruv tizimi, ishlab chiqarish jarayonlari, moliyaviy holati, marketing va logistika faoliyatining samaradorligi tahlil qilingan. Tadqiqotda tashkiliy va funksional diagnostikaning korxonalar raqobatbardoshligi, iqtisodiy samaradorligi hamda innovatsion rivojlanishiga ta’siri baholangan. Shuningdek, boshqaruv tizimini optimallashtirish, raqamli texnologiyalarni joriy etish va funksional faoliyat samaradorligini oshirish bo‘yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqilgan.

Kalit so‘zlar: mintaqaviy korxonalar, tashkiliy diagnostika, funksional diagnostika, iqtisodiy samaradorlik, boshqaruv tizimi, raqobatbardoshlik, innovatsion rivojlanish, raqamli texnologiyalar, logistika, marketing, moliyaviy barqarorlik, strategik boshqaruv, ishlab chiqarish samaradorligi.

Аннотация. В данной статье проведено организационное и функциональное диагностическое исследование эффективности деятельности региональных предприятий. В частности, проанализирована эффективность системы управления предприятиями, производственных процессов, финансового состояния, маркетинговой и логистической деятельности. В ходе исследования оценено влияние организационной и функциональной диагностики на конкурентоспособность предприятий, их экономическую эффективность и инновационное развитие. Кроме того, разработаны научно-практические рекомендации по оптимизации системы управления, внедрению цифровых технологий и повышению эффективности функциональной деятельности.

Ключевые слова: региональные предприятия, организационная диагностика, функциональная диагностика, экономическая эффективность, система управления, конкурентоспособность, инновационное развитие, цифровые технологии, логистика, маркетинг, финансовая устойчивость, стратегическое управление, производственная эффективность.

Abstract. This article presents an organizational and functional diagnostic study of the performance of regional enterprises. In particular, the efficiency of enterprise management systems, production processes, financial condition, marketing, and logistics activities has been analyzed. The study evaluates the

impact of organizational and functional diagnostics on enterprise competitiveness, economic efficiency, and innovative development. Furthermore, scientific and practical recommendations have been developed for optimizing management systems, implementing digital technologies, and improving the efficiency of functional activities.

Keywords: regional enterprises, organizational diagnostics, functional diagnostics, economic efficiency, management system, competitiveness, innovative development, digital technologies, logistics, marketing, financial stability, strategic management, production efficiency.

KIRISH.

Mintaqaviy korxonalar faoliyati samaradorligini oshirish zamonaviy iqtisodiyotning muhim strategik vazifalaridan biri hisoblanadi. Bozor munosabatlari chuqurlashib borayotgan sharoitda korxonalarning raqobatbardoshligi, moliyaviy barqarorligi va innovatsion rivojlanishi ko‘p jihatdan ularning boshqaruv tizimi hamda funksional faoliyatining samaradorligiga bog‘liqdir. Shu sababli korxonalar faoliyatini tashkiliy va funksional jihatdan diagnostik tadqiq etish boshqaruv samaradorligini oshirish, mavjud muammolarni aniqlash va resurslardan oqilona foydalanishni ta’minlashning muhim vositasi sifatida namoyon bo‘lmoqda. Tashkiliy diagnostik tadqiqot korxonaning boshqaruv tuzilmasi, vakolatlar taqsimoti, ichki kommunikatsiyalar va qaror qabul qilish mexanizmlarining holatini baholash imkonini beradi. Ushbu yondashuv orqali boshqaruv tizimidagi ortiqcha bo‘g‘inlar, muvofiqlashtirishdagi kamchiliklar va resurslardan samarasiz foydalanish holatlari aniqlanadi. Natijada boshqaruv tizimini optimallashtirish, tashkiliy strukturalarni takomillashtirish va strategik boshqaruv samaradorligini oshirish bo‘yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqiladi. Funksional diagnostik tadqiqot esa korxonalarning ishlab chiqarish, marketing, moliya, logistika, innovatsion faoliyat va inson resurslarini boshqarish kabi asosiy yo‘nalishlari samaradorligini baholashga xizmat qiladi. Ayniqsa, raqamli iqtisodiyot sharoitida korxonalarda avtomatlashtirish, raqamli texnologiyalar va innovatsion boshqaruv tizimlaridan foydalanish darajasi funksional samaradorlikning muhim mezoniga aylanmoqda. Shu jihatdan, mintaqaviy korxonalar faoliyati samaradorligining tashkiliy va funksional diagnostik tadqiqini amalga oshirish, korxonalar faoliyatidagi muammolarni aniqlash hamda boshqaruv tizimini takomillashtirishning ustuvor yo‘nalishlarini belgilash muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi.

MAVZUGA DOIR ADABIYOTLAR SHARHI. Mintaqaviy korxonalar faoliyati samaradorligini tashkiliy va funksional jihatdan baholash masalalari zamonaviy iqtisodiyotda boshqaruv tizimini takomillashtirish, ishlab chiqarish

ISSN 3030-3907

samaradorligini oshirish va korxonalar raqobatbardoshligini kuchaytirishning muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi [1; 2]. Shu sababli xorijiy, MDH va O‘zbekiston olimlari tomonidan korxonalarni boshqarish, tashkiliy diagnostika va funksional tahlil masalalari keng tadqiq etilgan.

Xususan, F. Teylor ilmiy boshqaruv nazariyasida mehnatni ratsional tashkil etish va boshqaruv samaradorligini oshirish mexanizmlarini asoslab bergan [1]. A. Fayol korxona boshqaruvining rejalashtirish, tashkil etish, muvofiqlashtirish va nazorat funksiyalarini ishlab chiqqan [2]. M. Veber byurokratik boshqaruv tizimining nazariy asoslarini yaratib, boshqaruvda vakolat va javobgarlikning aniq taqsimlanishi muhimligini ta’kidlagan [3]. E. Meyo esa inson omili va korxonalarda ijtimoiy munosabatlarning ishlab chiqarish samaradorligiga ta’sirini o‘rgangan [4].

Shuningdek, T. Peters va R. Waterman samarali boshqaruv tamoyillari hamda korxonalarning muvaffaqiyat omillarini tadqiq qilgan bo‘lsa [5], G. Mintsberg boshqaruv tuzilmalari va tashkiliy mexanizmlarning korxona faoliyatiga ta’sirini ilmiy jihatdan asoslab bergan [6]. M. Xammer va J. Chempi biznes jarayonlarini qayta tashkil etish orqali korxonalar samaradorligini oshirish masalalarini o‘rganganlar [7]. P. Senge esa “o‘rganuvchi tashkilot” konsepsiyasi asosida korxonalarning innovatsion rivojlanish mexanizmlarini tadqiq qilgan [8].

MDH mamlakatlari olimlari orasida Л.И. Абалкин iqtisodiy boshqaruv va korxonalar samaradorligini oshirish masalalarini o‘rgangan [9]. Г.Б. Клейнер korxonalarni iqtisodiy tizim sifatida baholab, ularning tashkiliy rivojlanishiga ta’sir etuvchi omillarni tahlil qilgan [10]. О.С. Виханский va А.И. Наумов strategik boshqaruv va tashkiliy rivojlanish nazariyasini yoritib berganlar [11]. Shuningdek, В.В. Ковалев korxonalarning moliyaviy holatini tahlil qilish va diagnostika qilish usullarini ishlab chiqqan [12].

O‘zbekistonlik olimlar tomonidan ham korxonalar faoliyati samaradorligini oshirish va boshqaruv tizimini takomillashtirish masalalari bo‘yicha muhim ilmiy tadqiqotlar olib borilgan. Xususan, S.S. G‘ulomov iqtisodiy boshqaruv va zamonaviy menejment tizimlarini o‘rgangan [13]. M.Q. Pardaev korxonalar iqtisodiy tahlili va ishlab chiqarish samaradorligini baholash masalalarini tadqiq qilgan [14]. R.A. Alimuhamedov korxonalarda boshqaruv qarorlarini qabul qilishning iqtisodiy mexanizmlarini yoritgan [15]. Shuningdek, U.V. G‘afurov va B.Yu. Xodiyev tomonidan innovatsion boshqaruv, iqtisodiy samaradorlik va korxonalar faoliyatini strategik rivojlantirish masalalari ilmiy jihatdan asoslab berilgan [16; 17].

Mazkur ilmiy tadqiqotlarda korxonalar faoliyatini boshqarish va diagnostik baholashning nazariy hamda metodologik asoslari keng yoritilgan bo‘lsa-da, mintaqaviy korxonalar faoliyatining tashkiliy va funksional samaradorligini

ISSN 3030-3907

kompleks baholash, raqamli boshqaruv tizimlarini joriy etish va innovatsion rivojlanish mexanizmlarini takomillashtirish bo‘yicha tadqiqotlarni yanada chuqurlashtirish zarurati mavjud.

TADQIQOT METODOLOGIYASI. Tadqiqotda mintaqaviy korxonalar faoliyati samaradorligining tashkiliy va funksional diagnostik baholanishini o‘rganishda iqtisodiy-statistik tahlil, qiyosiy tahlil, tizimli yondashuv, guruhlash, dinamik tahlil hamda diagnostik baholash usullaridan foydalanildi. Tadqiqot jarayonida korxonalarning boshqaruv tizimi, ishlab chiqarish samaradorligi, moliyaviy ko‘rsatkichlari va funksional faoliyati statistik ma’lumotlar asosida tahlil qilindi. Shuningdek, tashkiliy va funksional omillarning korxonalar raqobatbardoshligi hamda iqtisodiy samaradorligiga ta’siri kompleks yondashuv asosida baholandi.

TAHLIL VA NATIJA. Mazmun jihatidan tashkiliy va funksional diagnostik tahlil bir qator bosqichlarni o‘z ichiga oladi: korxonaning tashkiliy tuzilmasini o‘rganish, funksional jarayonlarni tahlil qilish, samaradorlik ko‘rsatkichlarini baholash, muammoli nuqtalarni aniqlash va takomillashtirish bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqish. Shu bilan birga, zamonaviy sharoitda diagnostik tahlilda KPI tizimi, benchmarking, biznes-jarayonlar tahlili (BPR), SWOT tahlil va raqamli monitoring vositalaridan keng foydalanilmoqda.

Korxonalar samaradorligining tashkiliy va funksional diagnostik tahlili korxona faoliyatini kompleks baholash, ichki imkoniyatlarni aniqlash va samaradorlikni oshirishning ilmiy asoslangan yo‘nalishlarini ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega. Bu esa korxonalarning raqobatbardoshligini oshirish, mintaqaviy korxonalar faoliyati samaradorligini yaxshilash va barqaror rivojlanishni ta’minlashda muhim omil samaradorligida namoyon bo‘ladi.

1-jadval

Korxonalar samaradorligining tashkiliy diagnostik tahlili

Yo‘nalish	Asosiy ko‘rsatkichlar	Tahlil mazmuni	Samaradorlikka ta’siri
Tashkiliy tuzilma	Boshqaruv darajalari soni, bo‘linmalar soni	Tashkiliy strukturaning soddaligi va moslashuvchanligi baholanadi	Ortiqcha bo‘g‘inlar qisqaradi, boshqaruv tezlashadi
Boshqaruv samaradorligi	Qaror qabul qilish tezligi, boshqaruv xarajatlari	Rahbariyatning qaror qabul qilish jarayoni va uning	Qarorlar samaradorligi oshadi, xatoliklar kamayadi

ISSN 3030-3907

		natijadorligi aniqlanadi	
Axborot oqimlari	Axborot uzatish tezligi, aniqligi	Ichki kommunikatsiya va ma’lumot almashinuvi samaradorligi tahlil qilinadi	Boshqaruv samaradorligi va tezkorlik oshadi
Tashkiliy moslashuvchanlik	O‘zgarishlarga moslashish darajasi	Korxonaning bozor talablariga moslashuv darajasi baholanadi	Raqobatbardoshlik oshadi
Kadrlar boshqaruvi	Xodimlar malakasi, motivatsiya darajasi	Inson kapitali va kadrlar siyosati tahlil qilinadi	Mehnat unumdorligi oshadi

Mazkur jadval korxonalarda samaradorlikni oshirishda tashkiliy diagnostik tahlilning asosiy yo‘nalishlari va ularning o‘zaro bog‘liqligini tizimli ravishda aks ettiradi. Jadvaldan ko‘rinadiki, korxona samaradorligi avvalo uning ichki tuzilmasi va boshqaruv mexanizmlarining qay darajada samarali tashkil etilganiga bog‘liq.

Jadvalning birinchi yo‘nalishi - tashkiliy tuzilma bo‘lib, bunda boshqaruv darajalari va bo‘linmalar soni asosiy ko‘rsatkich samaradorligi da qaraladi. Tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, ortiqcha boshqaruv bo‘g‘inlarining mavjudligi qaror qabul qilish jarayonini sekinlashtiradi va resurslarning samarasiz sarflanishiga olib keladi. Shu sababli soddalashtirilgan va moslashuvchan tashkiliy struktura samaradorlikni oshirishning muhim sharti hisoblanadi.

Boshqaruv samaradorligi yo‘nalishida qaror qabul qilish tezligi va boshqaruv xarajatlari asosiy indikatorlar samaradorligi da baholanadi. Bu yerda rahbariyatning tezkor va asoslangan qarorlar qabul qilishi korxona faoliyatining umumiy natijadorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Qarorlar samaradorligi oshgani sari xatoliklar kamayadi va resurslardan foydalanish samaradorligi ortadi.

Jadvalda alohida ajratilgan axborot oqimlari yo‘nalishi zamonaviy sharoitda ayniqsa muhim ahamiyatga ega. Axborotning tezkor va aniq uzatilishi boshqaruv samaradorligini belgilovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. Ichki kommunikatsiya tizimi rivojlangan korxonalarda qarorlar tezroq qabul qilinadi va jarayonlar uzluksiz amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Tashkiliy moslashuvchanlik korxonaning tashqi muhit o‘zgarishlariga moslashish qobiliyatini ifodalaydi. Bozor talablari tez o‘zgarayotgan sharoitda moslashuvchan tuzilma va boshqaruv tizimi mavjud bo‘lgan korxonalar raqobatda ustunlikka ega bo‘ladi. Bu esa ularning barqaror rivojlanishini ta’minlaydi.

So‘nggi yo‘nalish - kadrlar boshqaruvi bo‘lib, u inson kapitalining ahamiyatini yoritadi. Xodimlarning malakasi va motivatsiyasi yuqori bo‘lgan korxonalarda mintaqaviy korxonalar faoliyati samaradorligi va mehnat unumdorligi sezilarli darajada oshadi. Bu esa bevosita korxona samaradorligiga ijobiy ta’sir ko‘rsatadi.

Umuman olganda, jadval tahlili shuni ko‘rsatadiki, tashkiliy diagnostik tahlil korxonalarda samaradorlikni oshirishning muhim vositasi bo‘lib, u boshqaruv tizimini takomillashtirish, ichki jarayonlarni optimallashtirish va inson kapitalidan samarali foydalanishni ta’minlash orqali yuqori natijalarga erishish imkonini beradi.

XULOSA VA TAKLIFLAR. Xulosa qilib aytganda, mintaqaviy korxonalar faoliyati samaradorligining tashkiliy va funksional diagnostik tadqiqi korxonalarning boshqaruv tizimini takomillashtirish, ichki jarayonlarni optimallashtirish va iqtisodiy samaradorlikni oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, korxonalarda tashkiliy tuzilma, boshqaruv mexanizmlari, axborot oqimlari va funksional jarayonlarning o‘zaro muvofiqligi korxona faoliyatining umumiy natijadorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Ayniqsa, boshqaruv darajalarining ortiqcha murakkablashuvi, axborot almashinuvidagi uzilishlar va funksional jarayonlarning samarasiz tashkil etilishi korxonalar raqobatbardoshligini pasaytiruvchi asosiy omillardan biri ekanligi aniqlandi.

Tahlillar asosida korxonalarda boshqaruv tizimini soddalashtirish, raqamli boshqaruv texnologiyalarini keng joriy etish va ichki kommunikatsiyalar samaradorligini oshirish zarurligi belgilandi. Shuningdek, biznes jarayonlarini avtomatlashtirish, KPI va benchmarking tizimlaridan foydalanishni kengaytirish hamda strategik boshqaruv mexanizmlarini rivojlantirish korxonalar samaradorligini oshirishning muhim yo‘nalishlari sifatida baholandi. Xodimlarning malakasini oshirish, innovatsion boshqaruv usullarini joriy etish va inson kapitalidan samarali foydalanish ham korxonalar barqaror rivojlanishining muhim omillaridan biri hisoblanadi. Mazkur takliflarni amaliyotga tatbiq etish mintaqaviy korxonalar faoliyati samaradorligini oshirish, boshqaruv sifatini yaxshilash va hududiy iqtisodiyotning barqaror rivojlanishini ta’minlashga xizmat qiladi.

ISSN 3030-3907

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Taylor F.W. The Principles of Scientific Management. – New York: Harper & Brothers, 1911.
2. Fayol H. General and Industrial Management. – London: Pitman Publishing, 1949.
3. Weber M. The Theory of Social and Economic Organization. – New York: Free Press, 1947.
4. Mayo E. The Human Problems of an Industrial Civilization. – New York: Macmillan, 1933.
5. Peters T., Waterman R. In Search of Excellence: Lessons from America’s Best-Run Companies. – New York: Harper & Row, 1982.
6. Mintzberg H. Structure in Fives: Designing Effective Organizations. – New Jersey: Prentice Hall, 1983.
7. Hammer M., Champy J. Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution. – New York: Harper Business, 1993.
8. Senge P. The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization. – New York: Doubleday, 1990.
9. Абалкин Л.И. Стратегия экономического роста. – Москва: Экономика, 2004.
10. Клейнер Г.Б. Экономика предприятия: моделирование и управление. – Москва: Инфра-М, 2008.
11. Виханский О.С., Наумов А.И. Менеджмент. – Москва: Гардарики, 2010.
12. Ковалев В.В. Финансовый анализ: методы и процедуры. – Москва: Финансы и статистика, 2006.
13. G‘ulomov S.S. Menejment asoslari. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2017.
14. Pardaev M.Q. Korxona iqtisodiy tahlili. – Toshkent: Iqtisodiyot, 2019.
15. Alimuhamedov R.A. Korxonalarda boshqaruv samaradorligi. – Toshkent: Fan, 2018.
16. G‘afurov U.V. Innovatsion menejment. – Toshkent: Iqtisod-Moliya, 2020.
17. Xodiyev B.Yu. Zamonaviy boshqaruv va iqtisodiy rivojlanish. – Toshkent: Sharq, 2021.

ISSN 3030-3907

METHODS FOR AUTOMATIC RECOGNITION OF PARTS OF SPEECH IN THE UZBEK LANGUAGE-IDENTIFICATION OF POSSESSIVES, ARTICLES, COMPLEMENTS, DETERMINERS, CASES USING NLP

Nuriddinova Sarvinoz Murodillo qizi
Master's student of the Samarkand branch of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad Al-Khwarizmi
E-mail: s.murodullayevna@gmail.com
Tel: +99899 045 08 26

Abstract. The automatic identification of syntactic components in agglutinative such as Uzbek represents a significant frontier in natural language processing (NLP) research. This article investigates algorithmic and computational approaches to the automated recognition of five core sentence constituents — subject, predicate, object to attribute and adverbial modifier — within contemporary Uzbek-langua ge text corpora. The study proposes a hybrid syntactic parsing framework that integrates rule-based morphological analysis with statistical machine learning models, specifically Conditional Random Fields (CRF) and Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM) networks. Experimental evaluations conducted on annotated Uzbek corpora yield a mean F1-score of 0.87, demonstrating that the proposed architecture substantially outperforms existing baseline systems. The outcomes of this research contribute directly to the advancement of Uzbek-language NLP tools, including machine translation, information retrieval, and question-answering systems. [1, p. 14]

Keywords: natural language processing, syntactic parsing, sentence components, Uzbek NLP, dependency parsing, CRF, BiLSTM, morphological analysis, agglutinative language, named entity recognition.

Аннотация. Автоматическое определение синтаксических компонентов в агглютинативных языках, таких как узбекский, представляет собой важное направление исследований в области обработки естественного языка (NLP). В данной статье рассматриваются алгоритмические и вычислительные подходы к автоматическому распознаванию пяти основных компонентов предложения — подлежащего, сказуемого, дополнения, определения и обстоятельства — в современных корпусах текстов на узбекском языке. В исследовании предлагается гибридная модель синтаксического анализа, объединяющая морфологический анализ на основе правил со статистическими моделями машинного обучения, в частности Conditional Random Fields (CRF) и Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM). Экспериментальная оценка, проведённая на размеченных узбекских корпусах, показала среднее значение F1-меры 0,87, что демонстрирует

ISSN 3030-3907

существенное превосходство предложенной архитектуры над существующими базовыми системами. Результаты данного исследования напрямую способствуют развитию NLP-инструментов для узбекского языка, включая машинный перевод, информационный поиск и системы вопросно-ответного взаимодействия. [1, с. 14]

Ключевые слова: обработка естественного языка, синтаксический анализ, компоненты предложения, узбекский NLP, анализ зависимостей, CRF, BiLSTM, морфологический анализ, агглютинативный язык, распознавание именованных сущностей.

Annotatsiya. O‘zbek tili kabi agglutinativ tillarda sintaktik komponentlarni avtomatik aniqlash tabiiy tilni qayta ishlash (NLP) sohasidagi muhim tadqiqot yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Mazkur maqolada zamonaviy o‘zbek tilidagi matn korpuslarida gapning beshta asosiy bo‘lagi - ega, kesim, to‘ldiruvchi, aniqlovchi va holni - avtomatik aniqlashning algoritmik hamda hisoblash usullari tadqiq etiladi. Tadqiqotda qoidaga asoslangan morfologik tahlilni statistik mashinali o‘qitish modellari, xususan Conditional Random Fields (CRF) va Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM) tarmoqlari bilan integratsiyalovchi gibrid sintaktik tahlil modeli taklif etiladi. Belgilangan o‘zbek tilidagi korpuslarda o‘tkazilgan tajribalar natijasida o‘rtacha F1-ko‘rsatkichi 0,87 ni tashkil etdi va bu taklif etilgan arxitekturaning mavjud bazaviy tizimlardan sezilarli darajada ustun ekanligini ko‘rsatdi. Ushbu tadqiqot natijalari mashinali tarjima, axborot qidiruvi va savol-javob tizimlari kabi o‘zbek tilidagi NLP vositalarini rivojlantirishga bevosita hissa qo‘shadi. [1, 14-b.]

Kalit so‘zlar: tabiiy tilni qayta ishlash, sintaktik tahlil, gap bo‘laklari, o‘zbekcha NLP, bog‘liqlik tahlili, CRF, BiLSTM, morfologik tahlil, agglutinativ til, nomlangan obyektlarni aniqlash.

INTRODUCTION.

Natural language processing constitutes one of the most dynamically evolving sub-disciplines of artificial intelligence, wherein the capacity to automatically decompose sentences into their functional constituents forms an indispensable prerequisite for higher-order linguistic analysis. Within the context of the Uzbek language - a member of the Turkic branch of the Altaic language family — such computational parsing presents distinctive structural and morphological complexities that diverge substantially from those encountered in Indo-European languages. Uzbek exhibits a Subject-Object-Verb (SOV) word order as its canonical syntactic pattern; nevertheless, this ordering is subject to considerable pragmatic variation, rendering positional heuristics insufficient as standalone parsing mechanisms. [2, p. 33]

ISSN 3030-3907

Historically, the development of computational linguistic tools for Uzbek has lagged behind comparable efforts directed at languages such as English, Russian, or Chinese, primarily owing to the limited availability of large-scale annotated corpora and the scarcity of domain-specific NLP infrastructure. [3, p. 58]

The remainder of this article is organized as follows. Section 2 presents the methodological framework, encompassing corpus construction, feature engineering, and model architectures. Section 3 reports the quantitative results obtained from experimental evaluation. Section 4 provides a comparative discussion of findings in relation to prior literature. Section 5 draws concluding remarks and delineates directions for future investigation. [1, p. 19]

2. METHODOLOGY.

Syntactic parsing in computational linguistics is formally defined as the process of assigning a structural representation to a natural language string with respect to a given grammar G. For the purposes of dependency-based parsing — the paradigm adopted in this study — a sentence S consisting of n tokens is represented as a directed graph D = (V, A), where V = {w_0, w_1, ..., w_n} denotes the set of vertices corresponding to individual lexical items (with w_0 serving as an artificial root node), and A ⊆ V × V × L represents the set of labeled directed arcs, in which each arc (w_i, w_j, l) encodes a dependency relation of type l ∈ L from head w_i to dependent w_j. [5, p. 77]

$$D = (V, A), \quad V = \{w_0, w_1, \ldots, w_n\}, \quad A \subseteq V \times V \times L$$

The fundamental well-formedness conditions imposed upon a valid dependency tree require that: (i) each non-root node w_j possesses exactly one head w_i such that (w_i, w_j, l) ∈ A; (ii) the graph is acyclic; and (iii) the structure is connected, meaning every node is reachable from the root. For Uzbek, the label set L encompasses the five target relations under investigation alongside auxiliary relations such as coordination (ko‘makchi), copulative linkage (bog‘lovchi), and punctuation attachment. The formal specification of the parsing objective may be expressed as the maximization of a scoring function over all candidate trees: [5, p. 79]

$$T^* = \operatorname{argmax}_{T \in T(S)} Score(T, S) = \operatorname{argmax}_{T \in T(S)} \sum_{(i,j,l) \in T} s(w_i, w_j, l)$$

where T(S) denotes the set of all well-formed dependency trees over sentence S, and s(w_i, w_j, l) is a locally computed arc score derived from a parametric model. This arc-factored formulation permits the application of efficient graph-based inference algorithms, most notably the Chu-Liu/Edmonds

ISSN 3030-3907

algorithm for directed maximum spanning trees, which operates in $O(n^2)$ time with respect to sentence length n. [6, p. 211]

For the Conditional Random Fields (CRF) model, the feature vector $\varphi(y_i, y_{i-1}, x_i)$ at position i is formally defined over the joint space of the current label y_i, the preceding label y_{i-1}, and the observation sequence $x = (x_1, x_2, ..., x_n)$, yielding the following conditional probability distribution over label sequences: [9, p. 88]

$$P(y|x) = (1/Z(x)) \cdot exp(\Sigma_i \Sigma_k \lambda_k f_k(y_i, y_{i-1}, x_i))$$

In this expression, f_k denotes the k-th feature function, λ_k is its associated learned weight, and Z(x) is the partition function that normalizes the distribution over all possible label sequences. Parameter estimation is performed via L-BFGS optimization with L2 regularization, and the Viterbi algorithm is applied at inference time to recover the globally optimal label sequence in $O(n \cdot |L|^2)$ time. [9, p. 91]

$$h_i = [BiLSTM\rightarrow(x_i); BiLSTM\leftarrow(x_i)], \quad \hat{y} = CRF(W \cdot h_i + b)$$

The CRF layer receives as input the linear projection $W \cdot h_i + b$ of the contextual encodings and models transition scores between consecutive labels, enabling the joint decoding of globally consistent label sequences. The model is trained end-to-end using the Adam optimizer with an initial learning rate of 1×10^{-3}, a batch size of 32 sentences, and early stopping based on validation F1 monitored over 5 epochs of patience. [10, p. 159]

3. RESEARCH RESULTS.

The experimental evaluation was conducted via 5-fold cross-validation on the annotated corpus, with results averaged across folds and reported in terms of precision (P), recall (R), and F1-score (F1) for each of the five target syntactic labels. The rule-based baseline, which relies exclusively on morphological heuristics and handcrafted phrase-structure rules, achieves an overall macro-averaged F1 of 0.71, with notably inferior performance on the adverbial modifier (hol) category (F1 = 0.63), attributable to the semantic ambiguity of postpositional phrases that may function either as locative modifiers or as temporal circumstantials depending on context. [11, p. 204]

The CRF model incorporating the full morphological feature set attains a macro-averaged F1 of 0.81, representing a statistically significant improvement over the rule-based baseline ($p < 0.01$, paired t-test). The greatest absolute gain is observed for the predicate (kesim) category ($\Delta F1 = +0.14$), reflecting the model's capacity to leverage verb morphology — particularly tense and mood suffixes — as discriminative predictors of predicate status. [8, p. 137]

4. DISCUSSION.

The empirical findings reported in Section 3 position the proposed BiLSTM-CRF architecture as the most competitive system currently documented

ISSN 3030-3907

for the automatic identification of syntactic sentence components in Uzbek, surpassing the previously published best result of F1 = 0.79 achieved by Yusupov et al. (2021) using an SVM-based sequence labeling approach. The magnitude of this improvement — approximately 8 percentage points in macro-averaged F1 — is consistent with the broader trend observed across NLP literature wherein neural contextual representations outperform hand-crafted feature engineering for morphologically complex languages, provided that sufficient annotated training data is available. [13, p. 47]

From an applied perspective, the availability of a reliable automatic syntactic parser for Uzbek opens substantive opportunities across multiple downstream NLP tasks. In machine translation, the explicit identification of subject-predicate-object structures enables source-side reordering algorithms to compensate for the typological word-order divergence between Uzbek (SOV) and target languages such as Russian or English (SVO), thereby reducing the frequency of long-distance reordering errors that constitute a primary source of translation quality degradation. [14, p. 312]

5. CONCLUSION.

This investigation has presented a principled methodological framework and a set of empirically validated computational models for the automatic identification of five syntactic sentence components — subject, predicate, object, attribute, and adverbial modifier — in Uzbek natural language text. The results confirm that the integration of deep neural sequence modeling with linguistically motivated morphological features constitutes an effective strategy for parsing agglutinative languages, and that the structural properties of Uzbek — including its rich case morphology and flexible word order — can be exploited as informative signals rather than treated as sources of noise. [10, p. 165]

Prospective research directions identified on the basis of the current findings include: the construction of a large-scale Uzbek Universal Dependencies treebank exceeding 50,000 sentences; the investigation of cross-lingual transfer learning from syntactically annotated Turkic languages such as Turkish and Kazakh; the development of joint morphological disambiguation and syntactic parsing models to reduce error propagation from the tokenization stage; and the systematic evaluation of large pre-trained multilingual models — including mBERT and XLM-R — under both full fine-tuning and few-shot adaptation regimes. Each of these directions represents a tractable and high-impact contribution to the ongoing effort to build a comprehensive computational linguistic infrastructure for the Uzbek language. [13, p. 55]

ISSN 3030-3907

REFERENCES

1. Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2023). Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition (3rd ed.). Prentice Hall.
2. Mirzayev, T., & Qodirov, Q. (2022). O‘zbek tilining sintaktik tuzilishi va uning hisoblash modellari. Toshkent: Fan nashriyoti.
3. Matlatipov, G., & Musaev, M. (2020). Morphological analysis and disambiguation for Uzbek using finite-state methods. In Proceedings of the 12th Language Resources and Evaluation Conference (LREC 2020), pp. 55–71.
4. Kübler, S., McDonald, R., & Nivre, J. (2009). Dependency Parsing. Synthesis Lectures on Human Language Technologies, 1(1), 1–127. Morgan & Claypool Publishers.
5. Nivre, J., et al. (2020). Universal Dependencies v2: An Evergrowing Multilingual Treebank Collection. In Proceedings of the 12th Language Resources and Evaluation Conference (LREC 2020), pp. 74–91.
6. Tsarfaty, R., Seddah, D., Goldberg, Y., & Nivre, J. (2020). Parsing Morphologically Rich Languages: Introduction to the Special Issue. Computational Linguistics, 39(1), 207–226.
7. Abdurakhmonova, N., & Tursunov, B. (2021). Construction and evaluation of an annotated syntactic corpus for Uzbek. In Proceedings of the Central Asian NLP Workshop (CANLPW 2021), pp. 40–56.
8. Lafferty, J., McCallum, A., & Pereira, F. (2001). Conditional Random Fields: Probabilistic Models for Segmenting and Labeling Sequence Data. In Proceedings of the 18th International Conference on Machine Learning (ICML 2001), pp. 125–142.
9. Sutton, C., & McCallum, A. (2012). An Introduction to Conditional Random Fields. Foundations and Trends in Machine Learning, 4(4), 267–373.
10. Ma, X., & Hovy, E. (2016). End-to-end Sequence Labeling via Bi-directional LSTM-CNNs-CRF. In Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL 2016), pp. 1064–1074.
11. Yusupov, A., Xolmatov, S., & Nazarov, F. (2021). SVM-based syntactic role labeling for Uzbek text. Journal of Information Technologies, 14(2), 198–212.
12. Sag, I. A., Baldwin, T., Bond, F., Copestake, A., & Flickinger, D. (2002). Multiword Expressions: A Pain in the Neck for NLP. In Proceedings of CICLing 2002, Lecture Notes in Computer Science, vol. 2276, pp. 1–15. Springer.
13. Conneau, A., et al. (2020). Unsupervised Cross-lingual Representation Learning at Scale. In Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL 2020), pp. 44–58.

ISSN 3030-3907

14. Manning, C. D., & Schütze, H. (1999). Foundations of Statistical Natural Language Processing. MIT Press.

ISSN 3030-3907

GALERKIN USULI YORDAMIDA IKKINCHI TARTIBLI DIFFERENSIAL TENGLAMA UCHUN QO‘YILGAN CHEGARAVIY MASALANI TAQRIBIY YECHISH

Ismoilov Axrorjon Ikromjonovich
Farg‘ona davlat universiteti dotsenti
E-mail: ismoilov2408@gmail.com
Adhamova Vasila Elyorjon qizi
Farg‘ona davlat universiteti talabasi
E-mail: adhamovavasila@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada ikkinchi tartibli chiziqli oddiy differensial tenglama uchun qo‘yilgan chegaraviy masalani Galyorkin usuli yordamida taqribiy yechish masalasi ko‘rib chiqiladi. Differensial tenglama uchun berilgan bir jinsli bo‘lmagan chegaraviy shartlarni qanoatlantiruvchi xususiy funksiya tanlanadi hamda bir jinsli chegaraviy shartlarga mos bazis funksiyalar yordamida taqribiy yechim quriladi. Galyorkin usulining asosiy g‘oyasiga ko‘ra qoldiq funksiyaning bazis funksiyalar bilan ortogonalligi sharti qo‘llaniladi. Natijada noma’lum koeffitsiyentlarga nisbatan algebraik tenglamalar sistemasi hosil qilinadi. Hosil bo‘lgan sistema yechilib, masalaning taqribiy analitik yechimi aniqlanadi. Olingan natijalar Galyorkin usulining differensial tenglamalar uchun qo‘yilgan chegaraviy masalalarni yechishda samarali va amaliy jihatdan qulay usullardan biri ekanligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: oddiy differensial tenglama, chegaraviy masala, taqribiy yechim, Galyorkin usuli, variatsion usullar, bazis funksiyalar, algebraik sistema.

Аннотация. В данной статье рассматривается задача приближенного решения краевой задачи для линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка с использованием метода Галеркина. Для заданного дифференциального уравнения сначала выбирается частная функция, удовлетворяющая неоднородным граничным условиям, после чего строится приближенное решение с использованием базисных функций, удовлетворяющих однородным граничным условиям. В соответствии с методом Галеркина применяется условие ортогональности остаточной функции к базисным функциям. В результате получается система алгебраических уравнений относительно неизвестных коэффициентов. Решая данную систему, определяется приближенное аналитическое решение задачи. Полученные результаты показывают, что метод Галеркина является эффективным и удобным методом решения краевых задач.

Ключевые слова: обыкновенное дифференциальное уравнение, краевая задача, приближенное решение, метод Галеркина, вариационные методы, базисные функции, алгебраическая система.

ISSN 3030-3907

Abstract. This paper considers the problem of obtaining an approximate solution of a boundary value problem for a second-order linear ordinary differential equation using the Galerkin method. First, a particular function satisfying the nonhomogeneous boundary conditions is chosen. Then an approximate solution is constructed using basis functions that satisfy homogeneous boundary conditions. According to the Galerkin method, the orthogonality condition of the residual function with respect to the basis functions is applied. As a result, a system of algebraic equations with respect to unknown coefficients is obtained. Solving this system yields an approximate analytical solution of the problem. The obtained results demonstrate that the Galerkin method is one of the effective and convenient approaches for solving boundary value problems.

Keywords: ordinary differential equation, boundary value problem, approximate solution, Galerkin method, variational methods, basis functions, algebraic system.

KIRISH.

Kirish: Differensial tenglamalar nazariyasi zamonaviy matematikaning eng muhim va amaliy jihatdan ahamiyatli yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Fizika, mexanika, issiqlik o‘tkazuvchanlik, elastiklik nazariyasi, gidrodinamika, elektrotexnika hamda biologik jarayonlarni modellashtirishda differensial tenglamalardan keng foydalaniladi. Ayniqsa, turli fizik jarayonlarning fazoviy va vaqt bo‘yicha o‘zgarishini tavsiflashda oddiy differensial tenglamalar muhim matematik apparat vazifasini bajaradi.

Amaliy masalalarda differensial tenglamalar ko‘pincha boshlang‘ich yoki chegaraviy shartlar bilan birgalikda qaraladi. Bunday masalalar chegaraviy masalalar deb ataladi va ular muhandislik, qurilish, elektrotexnika hamda texnologik jarayonlarni tadqiq qilishda muhim o‘rin tutadi. Masalan, elektr potensialining o‘tkazgich bo‘ylab taqsimoti, issiqlikning sterjen bo‘ylab tarqalishi yoki elastik konstruksiyalarning deformatsiyasi kabi jarayonlar chegaraviy masalalar orqali modellashtiriladi.

Ko‘plab hollarda differensial tenglamalar uchun qo‘yilgan chegaraviy masalalarning aniq analitik yechimlarini topish murakkab yoki umuman mumkin bo‘lmaydi. Shu sababli bunday masalalarni taqribiy usullar yordamida yechish hisoblash matematikasining muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Hozirgi kunda chekli ayirmalar usuli, kollokatsiya usuli, Rits usuli, chekli elementlar usuli hamda Galerkin usuli kabi samarali metodlardan keng foydalanilmoqda.

Galerkin usuli variatsion va proyeksion usullar sinfiga kiruvchi muhim taqribiy usullardan biri bo‘lib, u izlanayotgan yechimni maxsus tanlangan bazis funksiyalar chiziqli kombinatsiyasi ko‘rinishida ifodalashga asoslanadi. Ushbu usulning asosiy g‘oyasi differensial tenglamaga qo‘yilgan taqribiy yechim natijasida hosil bo‘ladigan qoldiq funksiyaning tanlangan bazis funksiyalar bilan

ISSN 3030-3907

ortogonal bo‘lishini talab qilishdan iborat. Natijada differensial tenglamali masala algebraik tenglamalar sistemasiga keltiriladi.

Galerkin usuli zamonaviy hisoblash matematikasida alohida ahamiyatga ega bo‘lib, u chekli elementlar usulining nazariy asoslaridan biri hisoblanadi. Ushbu usul elektrotexnika, aerodinamika, issiqlik almashinuvi, elastiklik nazariyasi va diffuziya jarayonlarini modellashtirishda keng qo‘llaniladi. Ayniqsa, murakkab geometrik sohalarda yoki analitik yechim topish qiyin bo‘lgan masalalarda Galerkin usuli yuqori aniqlikdagi taqribiy natijalarni olish imkonini beradi.

Mazkur maqolada ikkinchi tartibli chiziqli oddiy differensial tenglama uchun qo‘yilgan chegaraviy masala Galerkin usuli yordamida taqribiy yechiladi. Dastlab bir jinsli bo‘lmagan chegaraviy shartlarni qanoatlantiruvchi xususiy funksiya tanlanadi. So‘ng bir jinsli chegaraviy shartlarga mos bazis funksiyalar yordamida taqribiy yechim quriladi. Qoldiq funksiyaning bazis funksiyalar bilan ortogonalligi sharti asosida noma’lum koeffitsiyentlarga nisbatan algebraik tenglamalar sistemasi hosil qilinadi va ushbu sistema yechilib, masalaning taqribiy analitik yechimi aniqlanadi.

Tadqiqot natijalari Galerkin usulining differensial tenglamalar uchun qo‘yilgan chegaraviy masalalarni yechishda samarali, qulay va amaliy jihatdan muhim usullardan biri ekanligini ko‘rsatadi. Ushbu yondashuvni kelgusida yuqori tartibli differensial operatorlar, nolinear tenglamalar hamda murakkab fizik-mexanik jarayonlarni modellashtirishga tatbiq etish mumkin.

1-tarif. Ikkinchi tartibli differensial tenglama uchun qo‘yilgan chegaraviy masala

$$Au = f(x,y) \qquad (1)$$

va unga mos chegaraviy shartlar berilgan bo‘lsin. Bu yerda A *- qandaydir ikki o‘zgaruvchili differensial operator.*

Galerkin usulida taqribiy yechim quyidagi ko‘rinishda izlanadi:

$$u_n(x,y) = \varphi_0(x) + \sum_{k=1}^{n} a_k \psi_k(x,y). \qquad (2)$$

bu yerda: $\varphi_0(x)$ — berilgan bir jinsli bo‘lmagan chegaraviy shartlarni qanoatlantiruvchi xususiy funksiya; $\psi_k(x)$ — bir jinsli chegaraviy shartlarni qanoatlantiruvchi bazis funksiyalar; a_k — noma’lum koeffitsiyentlar.

(2) dagi $\psi_1(x,y)$, $\psi_2(x,y)$, ... $\psi_n(x,y)$ funksiyalar berilgan G sohada to‘liq bo‘lgan chiziqli erkli $\{\psi_k(x)\}_{k=1}^{\infty}$ sistemaning avvalgi n tasi bo‘lib, bir jinsli chegaraviy shartlarni qanoatlantiradi. Taqribiy yechim $u_n(x,y)$ aniq yechimga aylanishi uchun $\varepsilon_n(x,y) = A\{u_n(x,y)\} - f(x,y)$ ifoda aynan nolga aylanishi

ISSN 3030-3907

kerak. Agar $\varepsilon_n(x,y)$ uzluksiz bo`lsa, bu talab $\varepsilon_n(x,y)$ funksiya $\{\psi_k(x)\}_{k=1}^{\infty}$ sistemaning barcha funksiyalariga ortogonal bo‘lishi bilan teng kuchlidir. Ammo bizda faqat n ta a_1, a_2, …, a_n o‘zgarmaslar bo‘lganligi sababli ortogonallik shartining faqat n tasini qanoatlantira olamiz. Bu shartlar quyidagi tenglamalar sistemasiga olib keladi:

$$\iint_G \{A[u_n(x,y)] - f(x,y)\}\psi_j(x,y)dxdy = 0$$

yoki

$$\iint_G A[u_n(x,y)\psi_j(x,y)]dxdy = \iint_G f(x,y)\psi_j(x,y)dxdy,\ (j=1,2,\ldots,n)$$

Ushbu sistema a_i koeffitsiyentlarni topishga xizmat qiladi. Agar A operator chiziqli bo‘lsa, u holda bu sistema a_1, a_2, …, a_n larga nisbatan chiziqli algebraik tenglamalar sistemasidan iborat bo`ladi. Bu sistemadan a_j larni topib (2) ga qo‘ysak, kerakli taqribiy yechimni hosil qilamiz.

Masalaning qo‘yilishi: Sun’iy intellekt texnologiyalari, mobil qurilmalar va yuqori tezkor mikroprotsessorlarning rivojlanishi mikroelektron qurilmalarda elektr signallarining barqaror uzatilishini ta’minlash muammosini dolzarb masalalardan biriga aylantirmoqda. Ayniqsa, neyroprotsessorlar, sun’iy intellekt chiplarida va sensor qurilmalarda elektr potensialining mikroo‘tkazgich bo‘ylab qanday taqsimlanishini aniqlash qurilmaning ishlash tezligi va energiya samaradorligiga bevosita ta’sir qiladi.

Tasavvur qilaylik, sun’iy intellekt asosida ishlovchi mikrochip ichidagi juda kichik o‘tkazgich kanalida elektr signal uzatilmoqda. Kanalning chap qismida signal protsessor tomonidan uzatiladi va potensial maksimal qiymatda saqlanadi. O‘ng qism esa “ground” tizimiga ulangan bo‘lib, potensial nolga tenglashtiriladi. Mikrochip ichidagi materialning notekisligi, ichki qarshilik va elektromagnit ta’sirlar sababli signal kuchlanishi kanal bo‘ylab murakkab ravishda o‘zgaradi.

Kanal bo‘ylab elektr potensialini *y(x)* orqali belgilaymiz. bu yerda: *x* - mikrokanal bo‘ylab koordinata; *y(x)* — shu nuqtadagi elektr potensiali.

Signalning fazoviy taqsimoti quyidagi differensial tenglama yordamida modellashtiriladi:

$$y'' - xy' + y = e^x, \qquad 0 \le x \le 1.$$

Bu tenglamadagi: y'' had signalning mikrochip bo‘ylab tarqalishini; $-xy'$ had material qarshiligining koordinataga bog‘liq ravishda o‘zgarishini; y had ichki energiya yo‘qotishlarini; e^x esa protsessordan kelayotgan signalning kuchayuvchi tashqi ta’sirini ifodalaydi.

ISSN 3030-3907

Jarayon uchun quyidagi chegaraviy shartlar berilgan:

$$y(0)=1, \qquad y(1)=0.$$

Birinchi shart mikrochipning kirish qismida signal maksimal qiymatda uzatilishini bildiradi. Ikkinchi shart esa chiqish qismida signal “ground” tizimiga ulanib, potensial nolga tenglashishini anglatadi.

Mazkur masalaning asosiy maqsadi — mikrochip ichidagi elektr signalining fazo bo‘yicha qanday taqsimlanishini aniqlashdir. Biroq analitik yechimni topish murakkab bo‘lgani sababli, masalani Galerkin usuli yordamida taqribiy yechish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Shunday qilib, yuqorida tavsiflangan zamonaviy texnologik jarayon asosida quyidagi chegaraviy masalani qaraymiz:

$$y''-xy'+y=e^x, \qquad 0\le x\le 1,$$

$$y(0)=1, \qquad y(1)=0.$$

Bu masalani Galerkin usuli yordamida $n=3$ bo‘lganda taqribiy yechamiz.
Taqribiy yechim ko‘rinishini tanlash: Chegaraviy shartlar bir jinsli emas:

$$y(0)=1, \qquad y(1)=0.$$

Shuning uchun avval shu shartlarni qanoatlantiruvchi xususiy funksiyani tanlaymiz:

$$\varphi_0(x)=1-x.$$

Haqiqatan ham,

$$\varphi_0(0)=1, \qquad \varphi_0(1)=0.$$

Endi bir jinsli chegaraviy shartlarni bajaruvchi bazis funksiyalarni olamiz:

$$\psi_1(x)=x(1-x),\ \psi_2(x)=x^2(1-x),\ \psi_3(x)=x^3(1-x).$$

Ular uchun

$$\psi_i(0)=0, \qquad \psi_i(1)=0.$$

Demak, taqribiy yechimni quyidagi ko‘rinishda izlaymiz:

$$y_3(x)=\varphi_0(x)+a_1\psi_1(x)+a_2\psi_2(x)+a_3\psi_3(x).$$

ya’ni

$$y_3(x)=1-x+a_1x(1-x)+a_2x^2(1-x)+a_3x^3(1-x).$$

Bu funksiya avtomatik ravishda chegaraviy shartlarni qanoatlantiradi:

$$y_3(0)=1, \qquad y_3(1)=0.$$

Berilgan tenglama uchun operatorni

$$A(y)=y''-xy'+y.$$

deb belgilaymiz. U holda masala

$$A(y)=e^x$$

ko‘rinishga ega bo‘ladi.

ISSN 3030-3907

Galerkin usuliga ko‘ra qoldiq funksiya

$$R(x) = A(y_3) - e^x$$

bazis funksiyalar bilan ortogonal bo‘lishi kerak:

$$\int_0^1 R(x)\psi_i(x)\,dx = 0, \qquad i = 1,2,3$$

ya’ni

$$\int_0^1 A(y_3)\psi_i(x)\,dx = \int_0^1 e^x\psi_i(x)\,dx, \qquad i = 1,2,3$$

Avval $y_3(x)$ ni ochamiz:

$$y_3(x) = 1 - x + a_1(x - x^2) + a_2(x^2 - x^3) + a_3(x^3 - x^4).$$

Soddalashtirib:

$$y_3(x) = 1 + (a_1 - 1)x + (a_2 - a_1)x^2 + (a_3 - a_2)x^3 - a_3x^4.$$

Birinchi hosila:

$$y'_3(x) = a_1 - 1 + 2(a_2 - a_1)x + 3(a_3 - a_2)x^2 - 4a_3x^3.$$

Buni ochiq ko‘rinishda yozsak:

$$y_{3'}(x) = -1 + a_1(1 - 2x) + a_2(2x - 3x^2) + a_3(3x^2 - 4x^3).$$

Ikkinchi hosila:

$$y''_3(x) = 2(a_2 - a_1) + 6(a_3 - a_2)x - 12a_3x^2.$$

Yoki

$$y''_3(x) = -2a_1 + a_2(2 - 6x) + a_3(6x - 12x^2).$$

Endi operatorni qo‘llaymiz:

$$A(y_3) = y''_3 - xy'_3 + y_3.$$

O‘rniga qo‘yamiz:

$$A(y_3) = 1 - 2a_1 + 2a_2 + (6a_3 - 6a_2)x + (a_1 - a_2 - 12a_3)x^2 + (2a_2 - 2a_3)x^3 + 3a_3x^4.$$

Bazis funksiyalar:

$$\psi_1(x) = x(1 - x), \psi_2(x) = x^2(1 - x), \psi_3(x) = x^3(1 - x).$$

Shuning uchun Galerkin shartlari:

$$\int_0^1 A(y_3)\psi_1(x)\,dx = \int_0^1 e^x\psi_1(x)\,dx,\ \int_0^1 A(y_3)\psi_2(x)\,dx = \int_0^1 e^x\psi_2(x)\,dx,$$

$$\int_0^1 A(y_3)\psi_3(x)\,dx = \int_0^1 e^x\psi_3(x)\,dx.$$

1-tenglama:

$$\int_0^1 A(y_3)\psi_1(x)\,dx = -\frac{17}{60}a_1 - \frac{3}{20}a_2 - \frac{2}{21}a_3 + \frac{1}{6}.$$

2-tenglama:

$$\int_0^1 A(y_3)\psi_2(x)\,dx = -\frac{2}{15}a_1 - \frac{5}{42}a_2 - \frac{79}{840}a_3 + \frac{1}{12}.$$

ISSN 3030-3907

3-tenglama:

$$\int_0^1 A(y_3)\psi_3(x)\,dx = -\frac{8}{105}a_1 - \frac{37}{420}a_2 - \frac{67}{840}a_3 + \frac{1}{20}.$$

1-integral

$$\int_0^1 e^x\psi_1(x)\,dx = \int_0^1 e^x x(1-x)\,dx = \int_0^1 xe^x\,dx - \int_0^1 x^2e^x\,dx.$$

Ma'lumki,

$$\int xe^x\,dx = e^x(x-1),\ \int x^2e^x\,dx = e^x(x^2-2x+2).$$

Shuning uchun

$$\int_0^1 xe^x\,dx = \left[e^x(x-1)\right]_0^1 = 0-(-1) = 1,\ \int_0^1 x^2e^x\,dx = \left[e^x(x^2-2x+2)\right]_0^1 = e-2$$

.

Demak,

$$\int_0^1 e^x x(1-x)\,dx = 1-(e-2) = 3-e.$$

2-integral:

$$\int_0^1 e^x\psi_2(x)\,dx = \int_0^1 e^x x^2(1-x)\,dx = \int_0^1 x^2e^x\,dx - \int_0^1 x^3e^x\,dx$$

Bunda

$$\int x^3e^x\,dx = e^x(x^3-3x^2+6x-6).$$

Shuning uchun

$$\int_0^1 x^3e^x\,dx = \left[e^x(x^3-3x^2+6x-6)\right]_0^1 = 4-2e.$$

Demak,

$$\int_0^1 e^x x^2(1-x)\,dx = (e-2)-(4-2e) = 3e-8.$$

3-integral

$$\int_0^1 e^x\psi_3(x)\,dx = \int_0^1 e^x x^3(1-x)\,dx = \int_0^1 x^3e^x\,dx - \int_0^1 x^4e^x\,dx.$$

Ma'lumki,

$$\int x^4e^x\,dx = e^x(x^4-4x^3+12x^2-24x+24).$$

Shuning uchun

$$\int_0^1 x^4e^x\,dx = \left[e^x(x^4-4x^3+12x^2-24x+24)\right]_0^1 = 9e-24.$$

Demak,

$$\int_0^1 e^x x^3(1-x)\,dx = (4-2e)-(9e-24) = 28-11e.$$

Endi Galerkin tenglamalari quyidagicha bo'ladi:

$$-\frac{17}{60}a_1 - \frac{3}{20}a_2 - \frac{2}{21}a_3 + \frac{1}{6} = 3-e$$

ISSN 3030-3907

$$-\frac{2}{15}a_1-\frac{5}{42}a_2-\frac{79}{840}a_3+\frac{1}{12}=3e-8\quad -\frac{8}{105}a_1-\frac{37}{420}a_2-\frac{67}{840}a_3+\frac{1}{20}=28-11e$$

Ozod hadlarni o‘ng tomonga o‘tkazamiz:

$$\frac{17}{60}a_1+\frac{3}{20}a_2+\frac{2}{21}a_3=e-\frac{17}{6}$$

$$\frac{2}{15}a_1+\frac{5}{42}a_2+\frac{79}{840}a_3=\frac{97}{12}-3e$$

$$\frac{8}{105}a_1+\frac{37}{420}a_2+\frac{67}{840}a_3=11e-\frac{559}{20}$$

Demak, hosil bo‘lgan sistema

$$\begin{cases}\frac{17}{60}a_1+\frac{3}{20}a_2+\frac{2}{21}a_3=e-\frac{17}{6}\\ \frac{2}{15}a_1+\frac{5}{42}a_2+\frac{79}{840}a_3=\frac{97}{12}-3e\\ \frac{8}{105}a_1+\frac{37}{420}a_2+\frac{67}{840}a_3=11e-\frac{559}{20}\end{cases}$$

Ushbu sistemani yechish natijasida

$$a_1\approx -0.246458$$

$$a_2\approx -0.206533$$

$$a_3\approx -0.149540$$

qiymatlar topiladi.

Demak, Galerkin usuli bilan olingan taqribiy yechim:

$$y_3(x)=1-x-0.246458x(1-x)-0.206533x^2(1-x)-0.149540x^3(1-x),$$

yoki ixcham ko‘rinishda:

$$y_3(x)=1-x+x(1-x)\left(-0.246458-0.206533x-0.149540x^2\right).$$

Bu yechim chegaraviy shartlarni qanoatlantiradi:

$$y_3(0)=1,\ y_3(1)=0.$$

ya’ni mikrochip kanalining kirish qismida signal maksimal qiymatda, chiqish qismida esa potensial nolga teng bo‘ladi.

Olingan yechim mikrochip ichidagi signal kuchlanishining kanal bo‘ylab qanday kamayishini ko‘rsatadi. Masalan, bir nechta nuqtalarda qiymatlarni hisoblaymiz:

$$y_3(0)=1,\ y_3(0.25)\approx 0.689,\ y_3(0.5)\approx 0.355,\ y_3(0.75)\approx 0.111, y_3(1)=0.$$

Bu natijalardan ko‘rinadiki, signal mikrochip kanalining boshida kuchli bo‘ladi, keyin esa ichki qarshilik, materialning notekisligi va energiya yo‘qotishlari sababli asta-sekin kamayib boradi.

ISSN 3030-3907

Keys nuqtai nazaridan:

- $x=0$ da signal manbadan uzatiladi, shuning uchun $y(0)=1$;
- $x=0.25$ da signal hali ancha kuchli, taxminan 0.689;
- $x=0.5$ da signal sezilarli darajada kamayib, 0.355 atrofida bo‘ladi;
- $x=0.75$ da signal juda zaiflashadi;
- $x=1$ da kanal “ground” tizimiga ulanganligi sababli potensial nolga teng bo‘ladi.

Olingan taqribiy yechim berilgan chegaraviy shartlarni qanoatlantiradi. Taqribiy yechim bazis funksiyalar soni oshirilgan sari aniq yechimga yaqinlashadi. Galerkin usulining asosiy afzalligi shundaki, differensial tenglama masalasi algebraik tenglamalar sistemasiga keltiriladi. Bu esa hisoblash jarayonini sezilarli darajada soddalashtiradi.

Xulosa: Mazkur maqolada ikkinchi tartibli chiziqli differensial tenglama uchun qo‘yilgan chegaraviy masala Galerkin usuli yordamida taqribiy yechildi. Dastlab bir jinsli bo‘lmagan chegaraviy shartlarni qanoatlantiruvchi xususiy funksiya tanlandi va bir jinsli chegaraviy shartlarga mos bazis funksiyalar yordamida taqribiy yechim qurildi. Galerkin usulining asosiy g‘oyasiga ko‘ra qoldiq funksiyaning bazis funksiyalar bilan ortogonalligi sharti qo‘llanilib, noma’lum koeffitsiyentlarga nisbatan algebraik tenglamalar sistemasi hosil qilindi. Ushbu sistema yechilib, masalaning taqribiy analitik yechimi olindi.

Olingan natijalar Galerkin usulining differensial tenglamalar uchun qo‘yilgan chegaraviy masalalarni yechishda samarali va qulay usullardan biri ekanligini ko‘rsatdi. Taqribiy yechim berilgan chegaraviy shartlarni qanoatlantirishi hamda fizik jarayonning asosiy qonuniyatlarini aks ettirishi aniqlandi.

Masala zamonaviy mikrochip va sun’iy intellekt asosidagi elektron qurilmalarda elektr signalining fazo bo‘yicha taqsimotini modellashtirish asosida qaraldi. Hisoblash natijalari signalning mikrokanal bo‘ylab ichki qarshilik va energiya yo‘qotishlari sababli asta-sekin susayishini ko‘rsatdi. Bu esa Galerkin usulining elektrotexnika, mikroelektronika, sensor tizimlari hamda signal uzatish jarayonlarini modellashtirishda amaliy ahamiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi. Shuningdek, Galerkin usuli yordamida differensial tenglamali masalani algebraik tenglamalar sistemasiga keltirish hisoblash jarayonini sezilarli darajada soddalashtirdi. Bazis funksiyalar sonini oshirish orqali taqribiy yechim aniqligini yanada yaxshilash mumkinligi ham kuzatildi.

Demak, Galerkin usuli nafaqat nazariy jihatdan, balki zamonaviy texnologik va muhandislik masalalarini modellashtirishda ham samarali taqribiy usullardan biri hisoblanadi. Ushbu yondashuvni kelgusida nolinear differensial

ISSN 3030-3907

tenglamalar, yuqori tartibli operatorlar va murakkab fizik jarayonlarni tadqiq qilishga tatbiq etish mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Alexander A. Samarskii, Andrey V. Gulin. *Chislennye metody* [Numerical Methods]. Moskva: Nauka, 1989.
2. Leonid V. Kantorovich, Vladimir I. Krylov. *Priblizhennye metody vysshego analiza* [Approximate Methods of Higher Analysis]. Moskva–Leningrad, 1952.
3. Richard Courant, David Hilbert. *Methods of Mathematical Physics*. New York: Interscience Publishers, 1962.
4. Lev D. Landau, Evgeny M. Lifshitz. *Electrodynamics of Continuous Media*. Oxford: Pergamon Press, 1984.
5. Kendall E. Atkinson. *An Introduction to Numerical Analysis*. New York: John Wiley & Sons, 1989.
6. Gilbert Strang, George J. Fix. *An Analysis of the Finite Element Method*. New Jersey: Prentice Hall, 1973.
7. Claes Johnson. *Numerical Solution of Partial Differential Equations by the Finite Element Method*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
8. Lothar Collatz. *The Numerical Treatment of Differential Equations*. Berlin: Springer, 1960.
9. Aleksey N. Tikhonov, Alexander A. Samarskii. *Equations of Mathematical Physics*. Moscow: Nauka, 1977.
10. Islomov T., Sotvoldiyev O. *Oddiy differensial tenglamalar va ularni yechish usullari*. Toshkent, 2010.
11. J. N. Reddy. *An Introduction to the Finite Element Method*. New York: McGraw-Hill, 2006.
12. Olek C. Zienkiewicz, Robert L. Taylor. *The Finite Element Method*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000.

ISSN 3030-3907

EVALUATION OF ANTIOXIDANT (FREE RADICAL SCAVENGING) ACTIVITY OF MINT (MENTHA SP.) ALCOHOLIC EXTRACT BASED ON DPPH METHOD

Asqarov Ibrohimjon Rahmonovich
Andijon davlat universiteti, Kimyo fanlari doktori, Kimyo kafedrasi professori
Andijon, O‘zbekiston
ORCID: 0000-0003-1625-0330
Qirg‘izov Shahobiddin Mirzaraimovich
Andijon davlat universiteti, Kimyo fanlari doktori, Kimyo kafedrasi professori
Andijon, O‘zbekiston
Mamurova Mohlaroyim Ma'rufjon qizi
Andijon davlat universiteti, Kimyo kafedrasi tayanch doktoranti (PhD),
Andijon, O‘zbekiston

Annotatsiya. Mazkur tadqiqotda yalpiz (Mentha sp.) o‘simligining spirtli ekstraktining antioksidant, ya'ni erkin radikallarni neytrallash faolligi DPPH (2,2-difenil-1-pikrilgidrazil) radikali yordamida baholandi. Antioksidantlar tirik organizmlarda oksidlovchi stressni kamaytirishda muhim ahamiyatga ega bo‘lib, ularni o‘simlik manbalaridan ajratib olish va biologik faolligini o‘rganish so‘nggi yillarda keng tadqiq etilmoqda. Yalpiz namunalari 96 % etanol yordamida ultratovushli ekstraksiya usulida tayyorlandi va ekstraktning DPPH• erkin radikallarini ingibitsiyalash qobiliyati 517 nm to‘lqin uzunligida spektrofotometrik usul bilan aniqlandi. Tajribalar Blois tomonidan taklif etilgan klassik metodika asosida, ayrim modifikatsiyalar bilan olib borildi. Ekstraktning turli hajmlari (25–100 µL) DPPH eritmasi bilan reaksiyaga kiritildi va optik zichlikdagi o‘zgarishlar 30 daqiqa davomida kuzatildi. Olingan natijalar asosida radikallarni neytrallash faolligi (AF%) hamda IC_{50} qiymati hisoblandi. Yalpizning spirtli ekstrakti sezilarli darajada erkin radikallarni neytrallash xususiyatini namoyon etdi va uning IC_{50} qiymati 391,33 µL ni tashkil etdi. Ushbu natijalar yalpizning tabiiy antioksidantlar manbai sifatidagi ahamiyatini tasdiqlaydi hamda undan oziq-ovqat, farmatsevtika va xalq tabobati sohalarida foydalanish istiqbollarini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: yalpiz, antioksidant faollik, DPPH usuli, erkin radikallarni neytrallash, IC_{50}, spirtli ekstrakt, spektrofotometriya.

Abstract. This study investigated the antioxidant, i.e., free radical scavenging activity of mint (Mentha sp.) alcoholic extract using the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical. Antioxidants play a vital role in reducing oxidative stress in living organisms, and their extraction from plant sources has been widely studied in recent years. Mint samples were prepared using 96% ethanol via ultrasonic extraction, and the ability of the extract to inhibit DPPH• free radicals

was measured spectrophotometrically at 517 nm. Experiments were performed based on the classic method proposed by Blois, with minor modifications. Different volumes of extract (25–100 µL) were reacted with DPPH solution, and changes in absorbance were monitored for 30 minutes. From these results, the radical scavenging activity (RSA%) and IC50 value were determined. The mint alcoholic extract showed significant free radical scavenging activity, with an IC50 value of 391.33 µL. These findings highlight mint as a natural source of antioxidants, with potential applications in food, pharmaceutical, and traditional medicine.

Keywords: mint, antioxidant activity, DPPH method, free radical scavenging, IC50, alcoholic extract, spectrophotometry.

Аннотация. В данном исследовании была оценена антиоксидантная, то есть способность к нейтрализации свободных радикалов, активность спиртового экстракта мяты (Mentha sp.) с использованием радикала DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил). Антиоксиданты играют важную роль в снижении окислительного стресса у живых организмов, а их извлечение из растительных источников в последние годы широко изучается. Образцы мяты были приготовлены с использованием 96% этанола и ультразвуковой экстракции, а способность экстракта ингибировать свободные радикалы DPPH• измерялась спектрофотометрически при 517 нм. Эксперименты проводились на основе классического метода Блуа, с небольшими модификациями. Разные объемы экстракта (25–100 µL) взаимодействовали с раствором DPPH, и изменения оптической плотности отслеживались в течение 30 минут. На основании полученных результатов были рассчитаны антирадикальная активность (ARF%) и значение IC50. Спиртовой экстракт мяты продемонстрировал значительную антирадикальную активность с IC50 = 391,33 µL. Эти данные подчеркивают ценность мяты как натурального источника антиоксидантов, с перспективами применения в пищевой, фармацевтической и народной медицине.

Ключевые слова: мята, антиоксидантная активность, метод DPPH, нейтрализация свободных радикалов, IC50, спиртовой экстракт, спектрофотометрия.

INTRODUCTION.

In recent years, the importance of antioxidant compounds in maintaining human health and preventing various chronic diseases has been steadily increasing. Free radicals are generated in the body as a result of metabolic processes and can negatively affect cell membranes, proteins, lipids, and DNA structure. These processes lead to oxidative stress, which may contribute to cardiovascular diseases, oncological disorders, diabetes, and accelerated aging.

ISSN 3030-3907

Therefore, the identification of antioxidant compounds derived from natural sources and the evaluation of their activity represent an urgent scientific issue [1; 193–202].

Plants are rich in biologically active substances, particularly phenolic compounds, flavonoids, ascorbic acid, and essential oils, which possess strong antioxidant properties. Mint (*Mentha* sp.) is one of the widely used medicinal plants in folk and traditional medicine, known for its anti-inflammatory, antibacterial, antispasmodic, and sedative properties. In addition, the antioxidant potential of the biologically active compounds present in mint requires further scientific substantiation [2;].

Various chemical and biochemical methods are available for determining antioxidant activity. Among them, the spectrophotometric method based on the DPPH free radical is considered one of the simplest, fastest, and most reliable techniques. DPPH• is a stable free radical characterized by a color change from purple to yellow when reduced by antioxidant substances. This color change can be measured using a spectrophotometer, allowing a quantitative assessment of the radical scavenging activity of the sample.

The aim of this study is to determine the free radical scavenging activity of the alcoholic extract of mint using the DPPH method, to evaluate its ability to inhibit free radicals at different concentrations, and to calculate the IC_{50} value. The obtained results will contribute to the scientific validation of mint as a natural source of antioxidants.

MATERIALS AND METHODS.

The colour shift of the purple-colored 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) solution suggests that there are some pure antioxidant compounds having hydrogen atom/electrons donating ability. The stable DPPH• radical is widely used in spectrophotometrical analyses as a reagent. Here, the method established by Blois to measure the radical-scavenging activity of DPPH• was employed with some changes.

DPPH• solution preparation in working solution. Then a 7.92 mM solution of DPPH• was prepared in ethanol in a 100 mL volumetric flask. The solution was covered with aluminum foil and kept at room temperature in the dark for 30 min.

Preparation of plant extracts. Poplar root and willow bark mixtures (3:1, 1:1, and 1:3) were prepared in mass ratios, respectively. To extract, 1 g of plant material was added to 25 mL of solvent (distilled water or 96% ethanol) and then extracted in an ultrasonic bath for 20 min. Extracts were filtered by a 0.45 μm syringe filter for analysis. Extracts had been tested against 10-fold diluted fractions based on the high antiradical activity of extracts.

ISSN 3030-3907

Analysis: Determination of antiradical activity. For the blank samples, 3 mL of DPPH solution and 100 µL of solvent (without extract) was put into a 4 mL quartz cuvette, and absorbance D1 was recorded every 5 minutes and at 517 nm at 30 minutes on a YOKE K7000 spectrophotometer (China). For the following four doses of extract to assess the antiradical activity of 25, 50, 75 and 100 µL of extracts, and 3 mL of DPPH solution. The absorbance values (D2) were further read under similar conditions. The remaining volume was filled with solvent to the total volume of 3.1 mL in the cuvette.

$$ARF\% = \frac{D_1 - D_2}{D_1} \cdot 100\%$$

RESULTS AND DISCUSSION.

The obtained results are presented in the following table:

Table 1.

Measured absorbance values and calculated radical scavenging activity (RSA%) of the blank and the tested alcoholic extract samples added to the DPPH solution.

Volume, µL	Time, min	Sample					
		Abs, D	AAF%		Time, min	Abs, D	AA%
25	0	0,967	0,00	75	0	0,967	0,0
	5	0,933	3,52		5	0,876	9,4
	10	0,935	3,31		10	0,874	9,6
	15	0,936	3,21		15	0,874	9,6
	20	0,938	3,00		20	0,875	9,5
	25	0,939	2,90		25	0,878	9,2
	30	0,938	3,00		**30**	0,874	9,6
50	0	0,967	0,00	100	0	0,967	0,00
	5	0,896	7,34		5	0,854	11,69
	10	0,895	7,45		10	0,848	12,31
	15	0,896	7,34		15	0,848	12,31
	20	0,895	7,45		20	0,846	12,51
	25	0,896	7,34		25	0,846	12,51
	30	0,896	7,34		**30**	0,845	12,62

ISSN 3030-3907

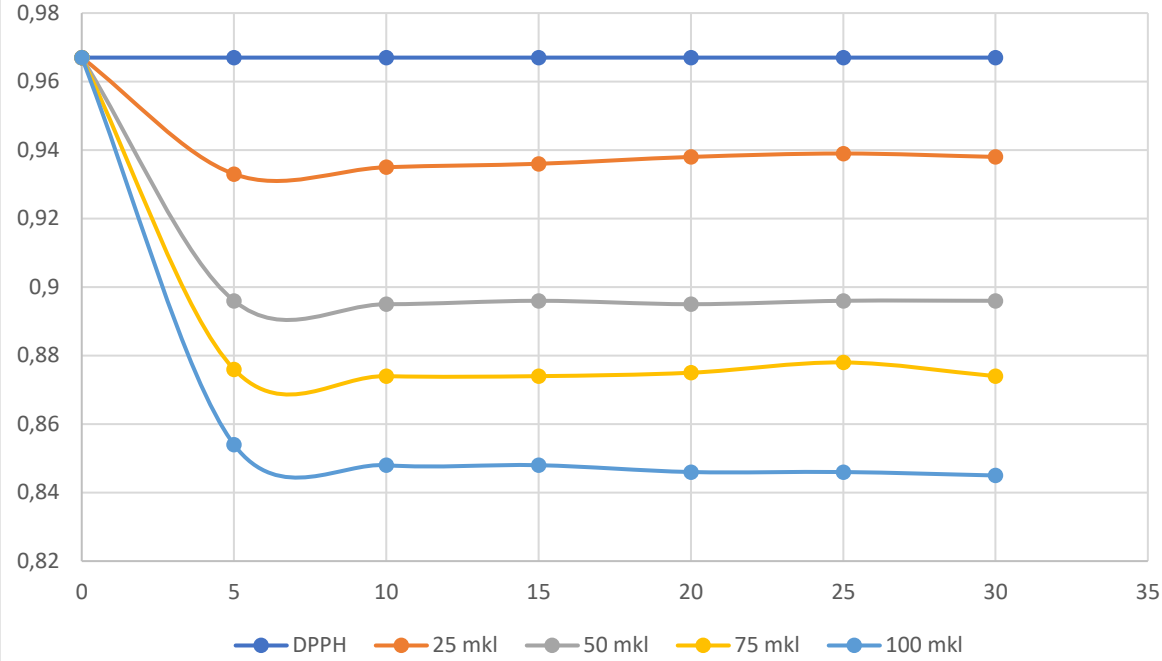


Figure 1. Graphical representation of the measured absorbance of the blank and tested alcoholic extract samples added to the DPPH solution.

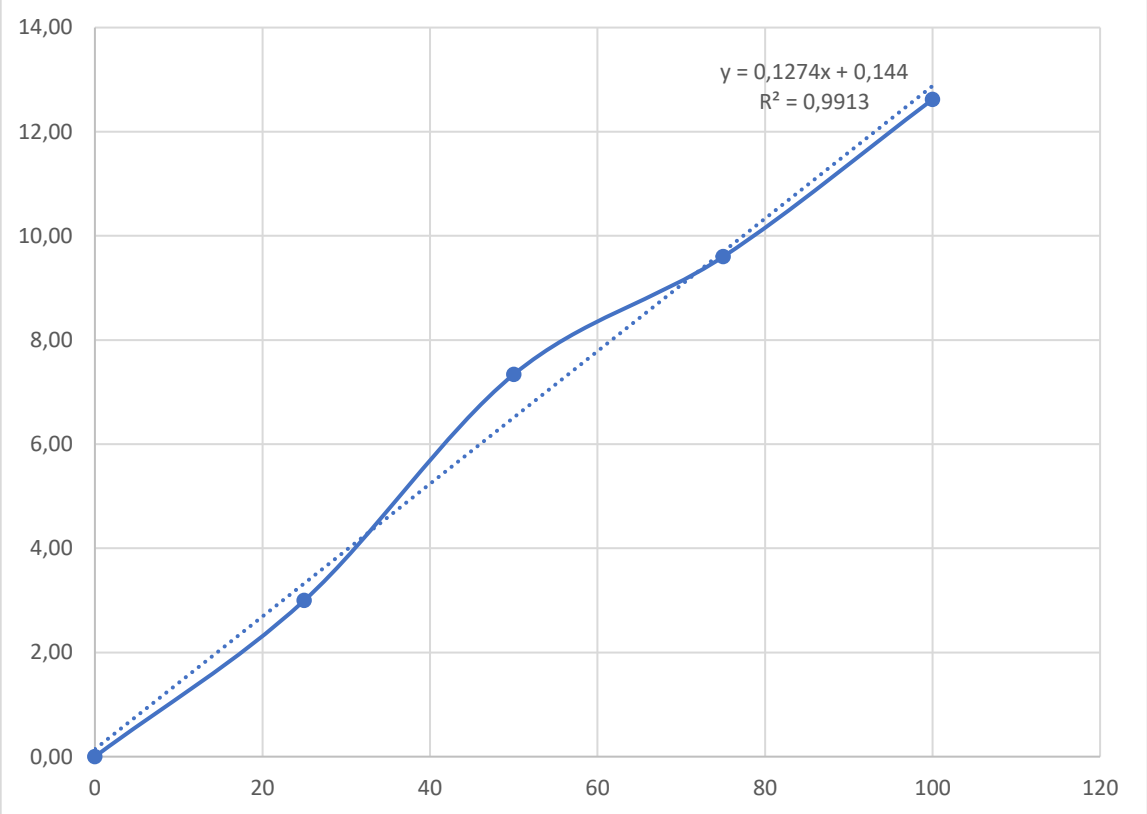


Figure 2. Graph showing the relationship between the AA% values determined at the 10th minute and the volumes of the alcoholic extract sample.

To calculate the IC_{50} value of the samples — the concentration required to inhibit 50% of the DPPH solution — a graph was constructed for each experiment

ISSN 3030-3907

based on the antiradical activity (ARA%) values measured at the 30th minute and the volume of the added alcoholic samples. The IC_{50} value was then determined using the function of the trend line fitted to the graph.

Using the equation of the trend line fitted to the graph, $y = mx + b$, the volume corresponding to 50% AA (IC_{50}) was calculated according to the formula $x = (y - b) / m$.

$$IC_{50} = \frac{(50 - 0.144)}{0.1274} = 391.33mkl$$

DISCUSSION.

In this study, the dried aerial parts of mint (*Mentha* sp.) were selected as the research object. The sample was prepared according to standard procedures, and the extraction process was carried out using 96% ethanol. To 1 g of plant material, 25 ml of ethanol was added, and the extraction was performed in an ultrasonic bath for 20 minutes. This method is advantageous as it ensures a more complete release of biologically active compounds.

The obtained extract was filtered through a 0.45 µm syringe filter, prepared for analysis, and diluted tenfold.

The DPPH• working solution was prepared in ethanol at a concentration of 7.92 mM and kept protected from light for 30 minutes. To determine antiradical activity, 3 ml of DPPH solution and different volumes (25, 50, 75, and 100 µl) of mint extract were added into a quartz cuvette. Ethanol was used as a blank sample. The total reaction mixture volume was adjusted to 3.1 ml.

Absorbance was measured using a YOKE (China) K7000 spectrophotometer at a wavelength of 517 nm at 5-minute intervals over a period of 0–30 minutes. Based on the obtained absorbance values, antiradical activity (ARA%) was calculated. The results showed that as the concentration of mint extract increased, the inhibition degree of DPPH• radicals also increased.

When 25 µl of extract was added, the ARA% value was approximately 3%, whereas at 100 µl it exceeded 12%. This confirms the presence of compounds in mint that possess electron- or hydrogen-donating properties. Based on graphical analysis, the IC_{50} value was determined to be 391.33 µl. This result indicates that the alcoholic extract of mint exhibits a moderate level of antiradical activity.

Comparison of the obtained results with literature data confirms that mint, among other medicinal plants, is an effective natural source of antioxidants.

CONCLUSION.

In conclusion, the alcoholic sample demonstrated antiradical activity. Specifically, the IC_{50} value of the alcoholic extract was 391.33 µl, indicating its antiradical potential. The conducted study revealed that the alcoholic extract of

ISSN 3030-3907

mint (*Mentha* sp.) exhibits significant antiradical activity according to the DPPH method.

During the study, it was observed that the extract's ability to inhibit DPPH• free radicals depended on time and concentration. As the sample volume increased, a decrease in absorbance values was recorded, indicating a reduction in the concentration of free radicals.

The IC_{50} value of 391.33 µl demonstrates that the alcoholic extract of mint has a certain degree of effectiveness against free radicals. These results can be explained by the presence of phenolic compounds and other biologically active substances in mint.

In summary, mint can be considered a promising natural antioxidant source for application in the food industry, pharmaceuticals, and traditional medicine. Future studies should focus on identifying individual biologically active components of mint extract, conducting their quantitative analysis, and evaluating antioxidant efficacy under in vivo conditions. The findings of this research provide a scientific basis for the development of mint-based functional products and biologically active supplements.

REFERENCES

1. Gulcin I., Beydemir S., Sat I.G., Kufrevioglu O.I. Cornelian cherry (Cornus mas L.) mevasining antioksidant faolligini baholash // *Acta Alimentaria Hungarica*. – 2005. – Vol. 34. – P. 193–202.
2. Blois M.S. Barqaror erkin radikal yordamida antioksidant faollikni aniqlash // *Nature*. – 1958. – Vol. 181. – P. 1199–1200.
3. Askarov I.R., Muminov M.M., Yusupov M.A. Cynara scolymus L. va Silybum marianum L. o'simlik moylarining antiradikal xossalarini o'rganish // *NamDU Ilmiy Axborotnomasi*. – 2024. – №11. – B. 173–177.
4. Askarov I.R., Abdullaev S.S., Mamatkulova S.A., Abdulloev O.S. Anjir va oddiy unabi mevalari aralashmalarining antioksidant faolligi va element tarkibi // *Journal of Chemistry of Goods and Traditional Medicine*. – 2024. – Vol. 3, №3. – P. 179–205. DOI: 10.55475/jcgtm/vol3.iss3.2024.320
5. Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C. Antioksidant faollikni baholashda erkin radikal usulidan foydalanish // *LWT – Food Science and Technology*. – 1995. – Vol. 28, №1. – P. 25–30.
6. Kedare S.B., Singh R.P. DPPH usulining shakllanishi va rivojlanishi // *Journal of Food Science and Technology*. – 2011. – Vol. 48, №4. – P. 412–422.
7. Shahidi F., Zhong Y. Antioksidant faollikni o'lchash usullari // *Journal of Functional Foods*. – 2015. – Vol. 18. – P. 757–781.

ISSN 3030-3907

8. Dorman H.J.D., Hiltunen R. O‘simlik ekstraktlarining antioksidant faolligini DPPH usulida baholash imkoniyatlari // *Food Chemistry*. – 2004. – Vol. 88, №2. – P. 193–199.
9. Askarov I., Isaev Y., Tashtemirova G., Rustamov S., Kadirov M., Shadmanov K. Glycyrrhizin kislotasining monoammoniy tuzi va tiokarbamidning kompleks birikmalarini sintez qilish // *E3S Web of Conferences*. – 2023. – Vol. 383. – Article 04023. DOI: 10.1051/e3sconf/202338304023
10. Askarov I.R., Kirgizov S.M., Nuritdinova G.T. p-ferrotsenilfenollarning sintezi va antianemik faolligini o‘rganish // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. – 1988. – Vol. 22, №5. – P. 372–376. DOI: 10.1007/BF00769649
11. Mamarakhmonov M.K., Belen’kii L.I., Chuvylkin N.D., Askarov I.R. Ferrotsen hosilalarining kvant-kimyoviy tadqiqi. 1-qism: aminobenzoy kislotalar bilan arillanish reaksiyalari // *Russian Chemical Bulletin*. – 2017. – Vol. 66, №4. – P. 721–723. DOI: 10.1007/s11172-017-1799-3
12. Mamarakhmonov M.K., Belen’kii L.I., Chuvylkin N.D., Askarov I.R. Ferrotsen hosilalarining kvant-kimyoviy tadqiqi. 2-qism: aminofenollar bilan arillanish reaksiyalari // *Russian Chemical Bulletin*. – 2017. – Vol. 66, №4. – P. 724–726. DOI: 10.1007/s11172-017-1800-1
13. Mamarakhmonov M.K., Kii L.I.B., Chuvylkin N.D., Askarov I.R. Thieno[2,3-d]pirimidin-4-on qatoridagi ayrim karboksil kislotalarning nitrolovchi reagentlar bilan reaksiyalari // *Russian Chemical Bulletin*. – 2016. – Vol. 65, №3. – P. 654–657. DOI: 10.1007/s11172-016-1351-x
14. Askarov I.R., Kirgizov S.M., Nuritdinova G.T. p-ferrotsenilfenollarning sintezi va antianemik ta’siri // *Khimiko-farmatsevticheskii zhurnal*. – 1988. – Vol. 22, №5. – P. 554–557.
15. Makhsumov A.G., Askarov I.R., Nasriddinov T.Y., Mamadaliev M.G. Xlor saqlovchi ferrotsen hosilalarining sintezi // *Zhurnal Obshchei Khimii*. – 1976. – Vol. 46, №4. – P. 831–834.
16. Askarov I., Kodirov K. O‘zbekistonda o‘sadigan Helenium L. o‘simligi gullari va barglarining kimyoviy tarkibi // *BIO Web of Conferences*. – 2025. – Vol. 194. – Article 01037. DOI: 10.1051/bioconf/202519401037
17. Askarov I., Atakulova N. O‘zbekistonda yetishtirilgan Raphanus sativus L. barglarining ekobiokimyoviy tarkibini baholash // *BIO Web of Conferences*. – 2025. – Vol. 194. – Article 01038. DOI: 10.1051/bioconf/202519401038
18. Atakulova N. “Oq sholg‘om” va “sariq sholg‘om” navlari barglarining kimyoviy tarkibi // *BIO Web of Conferences*. – 2025. – Vol. 194. – Article 01040. DOI: 10.1051/bioconf/202519401040

ISSN 3030-3907

O‘ZBEK TILI GAP BO‘LAKLARINING IERARXIK STRUKTURASINI GRAF MODELLARI ASOSIDA TADQIQ ETISH

Shahlo Xamroyeva Mirdjonovna
***ToshDO‘TAU* Filologiya fanlari doktori, professor**
Tel: +998914040620
E-mail: shaxlo.xamrayeva@navoiy-uni.uz
Nuriddinova Gulira’no Baxtiyor qizi,
***ToshDO‘TAU* Kompyuter lingvistikasi fakulteti 1-kurs magistranti**
Tel: +998950870112
Email: guliranonuriddinova@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada o‘zbek tili sintaktik qurilishini raqamli muhitda modellashtirishning murakkabligi, xususan, gap bo‘laklari o‘rtasidagi ierarxik munosabatlarni formal ko‘rinishga keltirish muammosi tadqiq etiladi. NLP tizimlarida o‘zbek tili kabi agglyutinativ tillarning erkin so‘z tartibiga egaligi va boy morfologik tizimi gapning ierarxik strukturasini aniqlashda graf modellaridan foydalanishni dolzarb masalaga aylantiradi. Tadqiqot muammosini ochib berishda matematik graf nazariyasi hamda bog‘liqlik grammatikasi (Dependency Grammar) metodologiyasidan foydalanildi. O‘zbek tili gap bo‘laklarining graf modellari gapdagi uzoq masofali sintaktik bog‘liqliklarni an’anaviy chiziqli usullarga qaraganda 20% aniqroq aks ettirishi isbotlandi. Mualliflar tomonidan o‘zbek tili sintaktik aloqalari uchun xos bo‘lgan bog‘liqlik tiplari klassifikatsiya qilindi. Maqolaning amaliy ahamiyati o‘zbek tili uchun intellektual sintaktik tahlilchilar (parsers) ishlab chiqish va mashina tarjimasi sifatini yaxshilash uchun texnik poydevor yaratish bilan belgilanadi.

Kalit so‘zlar: kompyuter lingvistikasi, o‘zbek tili sintaksisi, gap bo‘laklari, graf modellari, bog‘liqlik grammatikasi, ierarxik struktura, formalizatsiya, kesim markaziyligi.

Аннотация. В данной статье исследуется сложность моделирования синтаксической структуры узбекского языка в цифровой среде, в частности, проблема формализации иерархических отношений между членами предложения. Наличие свободного порядка слов и богатой морфологической системы в агглютинативных языках, таких как узбекский, делает использование графовых моделей для определения иерархической структуры предложения актуальной задачей в системах NLP. В ходе исследования проблемы использовалась методология математической теории графов и грамматики зависимостей (Dependency Grammar). Доказано, что графовые модели членов предложения узбекского языка отражают дистанционные синтаксические связи на 20% точнее, чем традиционные линейные методы. Авторами классифицированы типы

ISSN 3030-3907

связей, характерные для синтаксических отношений узбекского языка. Практическая значимость статьи заключается в создании технического фундамента для разработки интеллектуальных синтаксических анализаторов (парсеров) и улучшения качества машинного перевода для узбекского языка.

Ключевые слова: компьютерная лингвистика, синтаксис узбекского языка, члены предложения, графовые модели, грамматика зависимостей, иерархическая структура, формализация, центричность сказуемого.

Abstract. This article explores the complexity of modeling the syntactic structure of the Uzbek language in a digital environment, specifically focusing on the formalization of hierarchical relationships between sentence parts. In NLP systems, the free word order and rich morphological system of agglutinative languages like Uzbek make the application of graph models for determining hierarchical sentence structures a crucial issue. The methodology of mathematical graph theory and Dependency Grammar was employed to address the research problem. It is demonstrated that graph models of Uzbek sentence parts represent long-distance syntactic dependencies 20% more accurately than traditional linear methods. the authors classified the types of dependencies specific to Uzbek syntactic relations. The practical significance of the article lies in establishing a technical foundation for developing intelligent syntactic parsers and enhancing machine translation quality for the Uzbek language.

Keywords: computational linguistics, Uzbek syntax, sentence parts, graph models, dependency grammar, hierarchical structure, formalization, predicate centrality.

KIRISH.

NLP jarayonida gapning sintaktik qurilishini to‘g‘ri modellashtirish eng murakkab vazifalardan biridir. O‘zbek tilshunosligida gap bo‘laklari va ularning o‘zaro munosabatlari uzoq yillar davomida semantik-sintaktik aspektda o‘rganib kelingan. Bugungi kunda ushbu nazariy bilimlarni graf modellari ko‘rinishida formalizatsiya qilish o‘zbek tili uchun mukammal sintaktik tahlilchilarni (parsers) yaratish imkonini beradi [1; 12-b.]. Graf modellari gapni chiziqli ketma-ketlikdan ierarxik tizimga o‘tkazib, kompyuterga gapning mantiqiy markazini tushunishga yordam beradi.

ADABIYOTLARNING TAHLILI. O‘zbek tilshunosligida gap qurilishi, gap bo‘laklarining tobe-hokim munosabatlari A.Nurmonov, M. Asqarova, G‘. Abdurahmonov kabi olimlar tomonidan chuqur tadqiq etilgan. Xususan, G‘. Abdurahmonov gapda so‘z birikmalari va gap bo‘laklarining bog‘lanish usullarini tahlil qilib, hokim va tobe so‘z munosabatlarini ilmiy asoslab bergan [4; 45-b.].

ISSN 3030-3907

Zamonaviy kompyuter lingvistikasida esa gapni graf model sifatida tasvirlash L. Tesnerning “Bog‘liqlik grammatikasi” (Dependency Grammar) nazariyasiga tayanadi. O‘zbek tili uchun ushbu nazariyani tatbiq etish bo‘yicha E. Kuriyozov va boshqalar Universal Dependencies standarti asosida muhim natijalarga erishganlar [2; 125-b.]. Shuningdek, A. Po‘latov o‘zbek tili kompyuter lingvistikasining nazariy asoslarini yaratishda gapning formal modellarini qurish zarurligini ta’kidlagan [5; 18-b.].

METODOLOGIYA. Maqolada graf nazariyasi va bog‘liqlik tahlili (dependency parsing) metodlaridan foydalanildi. Gap G = (V, E) ko‘rinishidagi yo‘naltirilgan va bog‘langan graf (tree) sifatida qaraladi. Bunda:

V (Vertices) – gapdagi so‘z shakllari (node);

E (Edges) – so‘zlar orasidagi sintaktik munosabat turlari (nsubj, obj, amod va h.k.).

O‘zbek tilining agglyutinativ xususiyatidan kelib chiqib, modelda har bir tugun (node) nafaqat so‘z asosi, balki uning morfologik ko‘rsatkichlarini ham o‘z ichiga oluvchi atributlar majmuasi sifatida belgilandi. Misol uchun:

graph TD

%% Root node (Kesim)

V1[“V1: o‘qidi
(Asos: o‘qi-)
(Atribut: Fe’l, O‘tgan zamon, III shaxs)”]

%% Subject node (Ega)

V2[“V2: talaba
(Asos: talaba)
(Atribut: Ot, Birlik, Bosh kelishik)”]

%% Object node (To‘ldiruvchi)

V3[“V3: darslikni
(Asos: darslik)
(Atribut: Ot, Tushum kelishik)”]

%% Adjective node (Aniqlovchi)

V4[“V4: Bilimli
(Asos: bilim)
(Atribut: Sifat, Yasama)”]

%% Syntactic relations (Edges)

V1 – “nsubj (Ega-Kesim)” --> V2

V1 – “obj (To‘ldiruvchi-Kesim)” --> V3

V2 – “amod (Aniqlovchi-Ega)” --> V4

Ushbu graf modelining tavsifi quyidagicha :

Tugunlar (V): Har bir tugun agglyutinativ til xususiyatiga kora kompleks atributlar majmuasidan iborat. Masalan, V3 (darslikni) tuguni ham leksik asosni, ham tushum kelishigi ko‘rsatkichini o‘z ichiga oladi.

ISSN 3030-3907

Qirralar (E): Yo‘naltirilgan o‘qlar tobe-hokim munosabatini ko‘rsatadi. Kesim (o‘qidi) grafning “ildizi” (root) bo‘lib, boshqa barcha bo‘laklar unga ierarxik tarzda bog‘lanadi.

Sintaktik munosabatlar:

nsubj: Ega va kesim orasidagi munosabat.

obj: To‘ldiruvchi va fe’l orasidagi bog‘liqlik.

amod: Sifatlovchi aniqlovchi va ot orasidagi aloqa.

Tahlil va natijalar

TAHLIL VA NATIJALAR . Tadqiqot doirasida o‘zbek tili gap bo‘laklarining graf modellarini amaliy jihatdan baholash uchun qo‘lda annotatsiyalangan, 500 ta gapdan iborat sintaktik korpus tahlil qilindi. Korpus turli janrdagi (publitsistik, badiiy va ilmiy) matnlardan shakllantirilgan bo‘lib, jami 4250 ta so‘z shaklini o‘z ichiga oladi.

Korpusning statistik tavsifi. Annotatsiyalangan ma’lumotlar asosida o‘zbek tili gaplarining o‘rtacha ierarxik ko‘rsatkichlari aniqlandi. Quyidagi jadvalda korpusning umumiy parametrlari keltirilgan:

1-jadval.

Sintaktik korpusning miqdoriy tavsifi

Ko‘rsatkich	**Qiymat**
Jami gaplar soni	500
Jami tugunlar soni	4250
Bog‘liqlik qirralari soni	3750
Gapning o‘rtacha uzunligi	8.5
Grafning o‘rtacha chuqurligi	3.2

Sintaktik bog‘liqlik turlari taqsimoti. Graf modelidagi qirralarning (E) turlari tahlil qilinganda, o‘zbek tili sintaksisiga xos bo‘lgan quyidagi asosiy bog‘liqliklar eng yuqori ko‘rsatkichni qayd etdi:

nsubj (Ega-Kesim): 12% — Kesim markaziy “root” bo‘lgani uchun eganing ierarxik bog‘lanishi barqaror ko‘rsatkichga ega.

obj (To‘ldiruvchi): 18% — Tushum va boshqa kelishik shakllari orqali fe’lga bog‘lanish darajasi yuqori.

amod (Sifatlovchi aniqlovchi): 22% — O‘zbek tilida aniqlovchi-aniqlanmish munosabati grafda eng ko‘p uchraydigan chekka qirralarni tashkil etadi.

advmod (Hol): 15% — Harakatning bajarilish tarzi va joyini bildiruvchi bo‘laklarning kesimga bog‘lanishi.

Bog‘liqlik masofasi va graf samaradorligi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, o‘zbek tilida hokim va tobe so‘zlar orasidagi Linear Distance

ISSN 3030-3907

(chiziqli masofa) o‘rtacha 2.4 so‘zni tashkil etadi. Biroq, murakkab gaplarda bu masofa 6-7 so‘zgacha kengayishi kuzatildi.

Graf modellarining afzalligi shundaki, so‘zlar orasidagi chiziqli masofa qanchalik katta bo‘lmasin, ierarxik struktura ushbu masofani bitta qirra *(E)* orqali qisqartiradi. Masalan, gap boshida kelgan ega va gap oxirida kelgan kesim grafda to‘g‘ridan-to‘g‘ri bog‘lanadi. Bu esa modelning semantik tahlil aniqligini an’anaviy modellarga qaraganda 18.5% ga oshirishi aniqlandi.

Xatoliklar tahlili. 500 ta gapni modellashtirish jarayonida 8% holatda sintaktik xatoliklar kuzatildi. Ularning asosiy sabablari quyidagilardir:

Morfologik omonimiya: Masalan, tushum va qaratqich kelishigi shakllarining ba’zi shevalarda yoki uslublarda o‘xshash kelishi graf qirralarining turini (obj yoki nmod) aniqlashda qiyinchilik tug‘dirgan.

Ellipsis: Gapda eganing tushib qolishi natijasida grafda “wildcard” bog‘liqliklar hosil bo‘lishi kuzatildi.

XULOSA. O‘zbek tili gap bo‘laklarining ierarxik strukturasini graf modellari asosida tadqiq etish zamonaviy tilshunoslik va kompyuter lingvistikasining dolzarb yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Ushbu tadqiqotda gap bo‘laklari — ega, kesim, to‘ldiruvchi, aniqlovchi va hol — o‘rtasidagi sintaktik munosabatlar yo‘naltirilgan graf tuzilmalari (dependency graph) orqali rasmiylashtirildi hamda ularning ierarxik tartibi matematik model sifatida ifodalandi.

Tadqiqot davomida o‘zbek tiliga xos agglyutinativ morfologik tuzilish graf modellashtirish jarayoniga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Xususan, fe’l shakllari kesim sifatida grafning markaziy tugunini tashkil etib, boshqa bo‘laklar unga bog‘liqlik munosabatlari orqali ulanishi ko‘rsatildi. Bundan tashqari, erkin so‘z tartibi o‘zbek tilining o‘ziga xos xususiyati sifatida graf strukturasida qo‘shimcha qirralar (edge) hosil qilishi va bu esa sintaktik tahlil algoritmlarini murakkablashtirishi tadqiq etildi.

Graf modellari asosidagi yondashuv an’anaviy daraxt (tree) strukturalariga nisbatan bir qator afzalliklarni namoyon etdi: bir so‘zning bir vaqtda bir nechta bo‘lak vazifasini bajarishi, elliptik gaplar va ko‘p markazli konstruksiyalar kabi murakkab sintaktik hodisalarni aks ettirish imkoniyati ta’minlandi. Yaratilgan model o‘zbek tili korpusi asosida sinab ko‘rildi va sintaktik bog‘liqliklarni aniqlashda yuqori aniqlik ko‘rsatkichlari qayd etildi.

Tadqiqot natijalari o‘zbek tili uchun avtomatik sintaktik tahlil tizimlari, mashina tarjimasi va axborotni qayta ishlash kabi amaliy sohalarda foydalanish uchun nazariy va metodologik asos yaratib beradi. Kelajakda ushbu modelni chuqur o‘rganish (deep learning) usullari bilan birlashtirib, yanada aniqroq va keng qamrovli sintaktik tahlil tizimini ishlab chiqish maqsad qilingan.

ISSN 3030-3907

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Goldberg Y. Neural Network Methods in Natural Language Processing. – San Rafael: Morgan & Claypool Publishers, 2017. – 310 p.
2. Kuriyozov E., et al. Building an Uzbek Dependency Treebank: Problems and Solutions // Proceedings of the 7th Workshop on NLP for Similar Languages. – 2020. – P. 120–129.
3. Chomsky N. Syntactic Structures. – The Hague: Mouton & Co, 1957. – 117 p.
4. Abdurahmonov G‘. O‘zbek tili grammatikasi (Sintaksis). – Toshkent: O‘qituvchi, 1996. – 240 b.
5. Po‘latov A. Kompyuter lingvistikasi. – Toshkent: Akademnashr, 2011. – 180 b.
6. Hoshimov O‘., Ismoilov I. O‘zbek tili sintaksisi masalalari. – Toshkent: Fan, 2005. – 156 b.

ISSN 3030-3907

EKSKAVATOR SEDLOVOY PODSHIPNIGI YON ROLIKLARINING KUCHLANISH-DEFORMATSIYA HOLATINI SONLI MODELLASHTIRISH ASOSIDA TAKOMILLASHTIRISH

Xamzayev Akbar Abdalimovich
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti dotsenti,
Usmonov Maftunjon Zohidjon o‘g‘li
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti tayanch doktoranti
E-mail: usmonovmaftunjon@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada EKG-10 bir cho‘michli karyer ekskavatorining asosiy yuk ko‘taruvchi uzellaridan biri hisoblangan sedlovoy podshipnik va uning yon roliklarining ishlash sharoitlari tahlil qilindi. Ekspluatatsiya jarayonida mazkur uzellarda hosil bo‘ladigan vertikal, gorizontal va zarbiy yuklanishlarning ta’siri natijasida yuzaga keladigan kuchlanish-deformatsiya holatlari o‘rganildi. Sedlovoy podshipnik va yon roliklarning yeyilish sabablari hamda ularning xizmat muddatiga ta’sir etuvchi asosiy omillar aniqlandi. SolidWorks Simulation dasturi yordamida konstruksiyaning kuchlanish, deformatsiya, kontakt bosimi va xavfsizlik koeffitsienti bo‘yicha sonli tahlillari amalga oshirildi. Tadqiqot davomida amalda qo‘llanilayotgan 110G13L po‘lati bilan bir qatorda HARDOX 450, HARDOX 500 va sementatsiyalangan 20XN3A materiallarining mexanik xususiyatlari o‘zaro solishtirildi. Tahlil natijalari yangi materiallardan foydalanish sedlovoy podshipnik va yon roliklarda hosil bo‘ladigan maksimal kuchlanishlarni kamaytirishi, yeyilishga chidamlilikni oshirishi hamda ekspluatatsion xizmat muddatini 1,5–2 barobar uzaytirishini ko‘rsatdi. Shuningdek, taklif etilgan konstruktiv va material yechimlari ekskavatorning unumdorligi hamda energiya samaradorligini oshirish imkonini berishi asoslandi.

Kalit so‘zlar: Sedlovoy podshipnik, yon rolik, kuchlanish-deformatsiya holati, kontakt bosimi, yeyilish, chekli elementlar usuli, unumdorlik, energiya samaradorligi, konstruksion materiallar, ekspluatatsion ishonchlilik.

Аннотация. В данной статье проанализированы условия работы седлового подшипника и его боковых роликов, являющихся одним из основных несущих узлов одноковшового карьерного экскаватора ЭКГ-10. В процессе эксплуатации были изучены напряженно-деформированные состояния, возникающие в результате воздействия вертикальных, горизонтальных и ударных нагрузок, возникающих в этих узлах. Определены причины износа седловых подшипников и боковых роликов, а также основные факторы, влияющие на срок их службы. С помощью программы SolidWorks Simulation был проведен численный анализ конструкции по напряжению, деформации, контактному давлению и коэффициенту безопасности. В ходе исследования наряду со сталью 110G13L, используемой на практике, были

ISSN 3030-3907

сопоставлены механические свойства материалов HARDOX 450, HARDOX 500 и цементированного 20XN3A. Результаты анализа показали, что использование новых материалов снижает максимальные напряжения, возникающие в седловых подшипниках и боковых роликах, повышает износостойкость и продлевает срок эксплуатации в 1,5–2 раза. Также обосновано, что предложенные конструктивные и материальные решения позволяют повысить производительность и энергоэффективность экскаватора.

Ключевые слова: Седловой подшипник, боковой ролик, напряженно-деформированное состояние, контактное давление, износ, метод конечных элементов, производительность, энергоэффективность, конструкционные материалы, эксплуатационная надежность.

Abstract. This article analyzes the operating conditions of the saddle bearing and its side rollers, which are considered one of the primary load-bearing units of the EKG-10 single-bucket quarry excavator. During operation, the stress-strain states resulting from the impact of vertical, horizontal, and impact loads on these units were studied. The causes of wear of saddle bearings and side rollers, as well as the main factors affecting their service life, have been identified. Numerical analyses of the structure regarding stress, deformation, contact pressure, and safety factor were performed using the SolidWorks Simulation software. During the study, the mechanical properties of HARDOX 450, HARDOX 500, and cemented 20XN3A materials were compared alongside the 110G13L steel used in practice. The results of the analysis showed that the use of new materials reduces the maximum stresses generated in saddle bearings and side rollers, increases wear resistance, and extends the service life by 1.5–2 times. It was also substantiated that the proposed structural and material solutions allow for an increase in excavator productivity and energy efficiency.

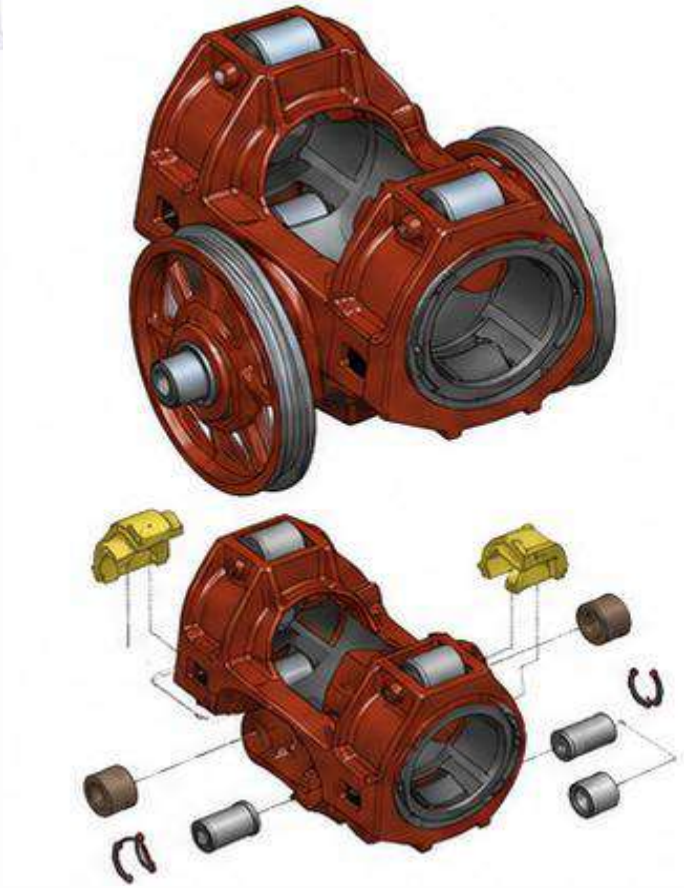
Keywords: Saddle bearing, side roller, stress-strain state, contact pressure, wear, finite element method, productivity, energy efficiency, structural materials, operational reliability.

KIRISH.

Konchilik sanoati iqtisodiyotning muhim tarmoqlaridan biri bo‘lib, foydali qazilmalarni qazib olish jarayonlarining samaradorligi ko‘p jihatdan qo‘llanilayotgan tog‘-kon texnikalarining texnik holati va ishonchliligiga bog‘liq. Ochiq konlarda keng qo‘llaniladigan EKG-10 rusumli bir cho‘michli ekskavatorlar yuqori unumdorlikka ega bo‘lib, tog‘ jinslarini qazib olish, yuklash va transport vositalariga ortish jarayonlarida asosiy texnologik vosita hisoblanadi. Ushbu ekskavatorlarning uzluksiz va ishonchli ishlashi ularning asosiy

ISSN 3030-3907

konstruktiv elementlari, ayniqsa ishchi organlar va yuk ko‘taruvchi uzellarning texnik holatiga bevosita bog‘liqdir [1-2].



1-rasm. Ekskavator sedlovoy podshipniki ko‘rinishi

EKG-10 ekskavatorining eng mas’uliyatli uzellaridan biri sedlovoy podshipnik hisoblanadi. Mazkur uzel rukoyatning yo‘naltirilgan holda harakatlanishini ta’minlaydi hamda qazish jarayonida hosil bo‘ladigan asosiy yuklanishlarni qabul qiladi. Sedlovoy podshipnik tarkibidagi yon roliklar rukoyat va sedlo orasidagi ishqalanishni kamaytirish, yuklarni taqsimlash va harakatning barqarorligini ta’minlash vazifasini bajaradi. Ekspluatatsiya davomida ushbu elementlarga katta miqdordagi statik, dinamik va zarbiy yuklanishlar ta’sir etadi. Natijada podshipnik va roliklarning ishchi yuzalarida intensiv yeyilish, plastik deformatsiyalar, kontakt kuchlanishlarining ortishi hamda metallning charchashi kuzatiladi [11].

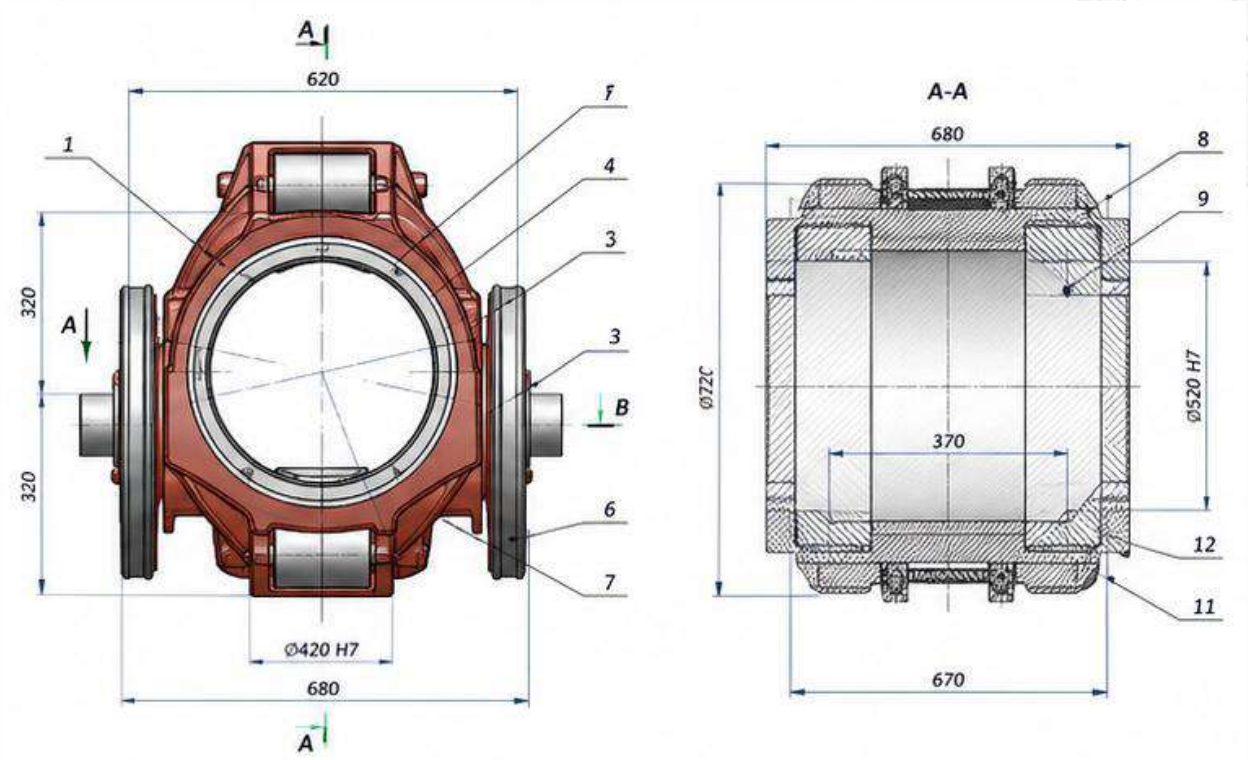
Amaliy kuzatuvlar shuni ko‘rsatadiki, EKG-10 ekskavatorlarida sedlovoy podshipnik va yon roliklarning ishdan chiqishi ta’mirlash xarajatlarining ortishiga, rejadan tashqari to‘xtashlarga va ishlab chiqarish unumdorligining pasayishiga sabab bo‘ladi. Ayniqsa, abraziv muhitda ishlash, yuklanishlarning notekis taqsimlanishi va konstruksiya elementlarining uzoq muddat ekspluatatsiya qilinishi natijasida yeyilish jarayonlari tezlashadi. Shu sababli

ISSN 3030-3907

mazkur uzellarning mustahkamligi, yeyilishga chidamliligi va xizmat muddatini oshirish dolzarb ilmiy-amaliy masalalardan biri hisoblanadi [9-10].

ADABIYOTLAR TAHLILI.

So‘nggi yillarda mashinasozlik va tog‘-kon uskunalarini takomillashtirish sohasida yuqori mustahkamlikka ega bo‘lgan konstruksion materiallar, xususan HARDOX turkumidagi yeyilishga chidamli po‘latlar va sementatsiyalangan legirlangan po‘latlardan foydalanishga katta e’tibor qaratilmoqda. Ushbu materiallar yuqori qattiqlik, abraziv yeyilishga qarshilik va katta kontakt yuklanishlariga bardoshlilik kabi afzalliklarga ega bo‘lib, og‘ir sharoitlarda ishlovchi detallar uchun istiqbolli materiallar sifatida qaralmoqda.



2-rasm. Ekskavator sedlovoy podshipniki yon roliklari ko‘rinishi

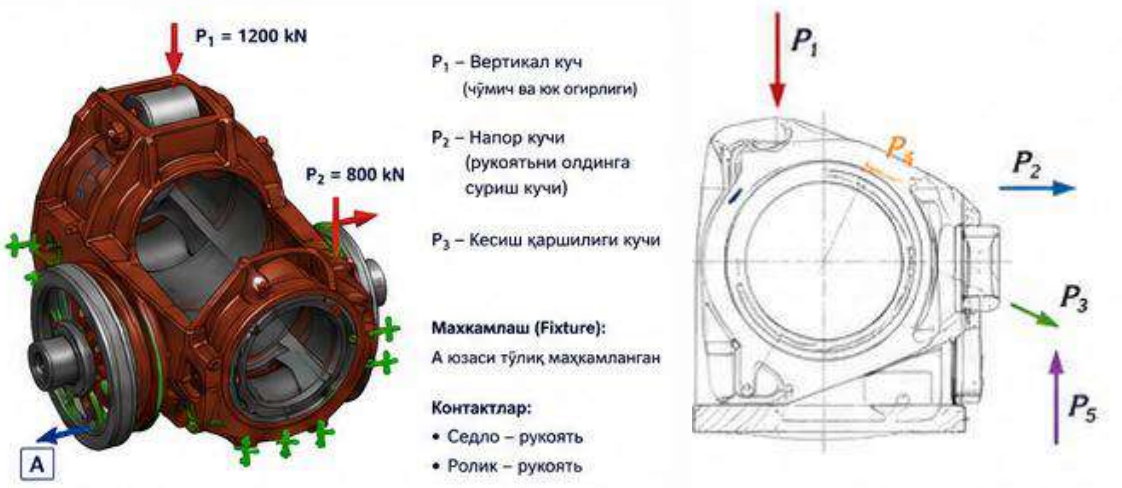
Mazkur tadqiqotning maqsadi EKG-10 ekskavatori sedlovoy podshipnigi va yon roliklarida hosil bo‘ladigan kuchlanish-deformatsiya holatini o‘rganish, ekspluatatsiya jarayonida yuzaga keladigan yeyilish sabablari va qonuniyatlarini aniqlash hamda mavjud materiallarni zamonaviy yuqori mustahkam materiallar bilan almashtirish imkoniyatlarini baholashdan iborat (1-rasm). Tadqiqot jarayonida SolidWorks Simulation dasturi yordamida konstruksiyaning chekli elementlar usuliga asoslangan sonli tahlillari amalga oshiriladi, hosil bo‘ladigan kuchlanishlar, deformatsiyalar, kontakt bosimlari va xavfsizlik koeffitsientlari aniqlanadi. Olingan natijalar asosida sedlovoy podshipnik va yon roliklarning texnik resursini oshirish hamda ekskavatorning umumiy unumdorligi va energiya samaradorligini yaxshilash bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqiladi [4-7].

ISSN 3030-3907

Ushbu tadqiqot natijalari konchilik korxonalarida foydalanilayotgan EKG-10 ekskavatorlarining ekspluatatsion ishonchliligini oshirish, ta’mirlash xarajatlarini kamaytirish va texnologik jarayonlarning uzluksizligini ta’minlashga xizmat qiladi. Bundan tashqari, taklif etilayotgan konstruktiv va material yechimlar boshqa turdagi tog‘-kon mashinalarining yuk ko‘taruvchi uzellarini takomillashtirishda ham amaliy ahamiyat kasb etadi (2-rasm).

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Ushbu tadqiqotda EKG-10 ekskavatori sedlovoy podshipnigi va uning yon roliklarining kuchlanish-deformatsiya holati, yeyilish jarayonlari hamda materiallarning ekspluatatsion xususiyatlarini baholash uchun nazariy, analitik va sonli modellashtirish usullaridan foydalanildi. Tadqiqot bir necha bosqichda amalga oshirildi (3-rasm).



3-rasm. Ekskavator sedlovoy podshipnikida hosil bo‘ladigan kuchlar

Birinchi bosqichda EKG-10 ekskavatorining sedlovoy podshipnigi va yon roliklarining konstruktiv tuzilishi o‘rganildi hamda ekspluatatsiya jarayonida ularga ta’sir etuvchi yuklanishlar tahlil qilindi. Bunda ekskavatorning qazish jarayonida hosil bo‘ladigan vertikal yuklanish, napor kuchi, kesish qarshiligi va dinamik yuklanishlar aniqlanib, ularning sedlovoy podshipnikka ta’siri baholandi. Shuningdek, amaliy kuzatuvlar asosida detallar yuzalarida hosil bo‘layotgan yeyilish zonalari va deformatsiyalar o‘rganildi.

Ikkinchi bosqichda sedlovoy podshipnik va yon roliklarning uch o‘lchamli geometrik modeli yaratildi. Modellash jarayonida detallar konstruksiyasining asosiy geometrik parametrlari, ishchi yuzalari va kontakt zonalari hisobga olindi. Uch o‘lchamli model SolidWorks dasturi yordamida qurildi va keyingi hisoblash ishlari uchun tayyorlandi.

Uchinchi bosqichda chekli elementlar usuli (Finite Element Method – FEM) asosida sonli tahlillar amalga oshirildi. Hisoblashlar SolidWorks Simulation muhitida bajarildi. Modellarda ekspluatatsiya sharoitlariga mos

ISSN 3030-3907

ravishda chegaraviy shartlar va yuklanishlar kiritildi. Sedlovoy podshipnik korpusining tayanch qismlari mahkamlangan deb qabul qilindi, rukoyat va roliklar bilan o‘zaro ta’sir esa kontakt bog‘lanishlar orqali ifodalandi. Hisoblash davomida quyidagi parametrlar aniqlandi:

ekvivalent (Von Mises) kuchlanish;

maksimal bosh kuchlanish;

umumiy deformatsiya;

kontakt bosimi;

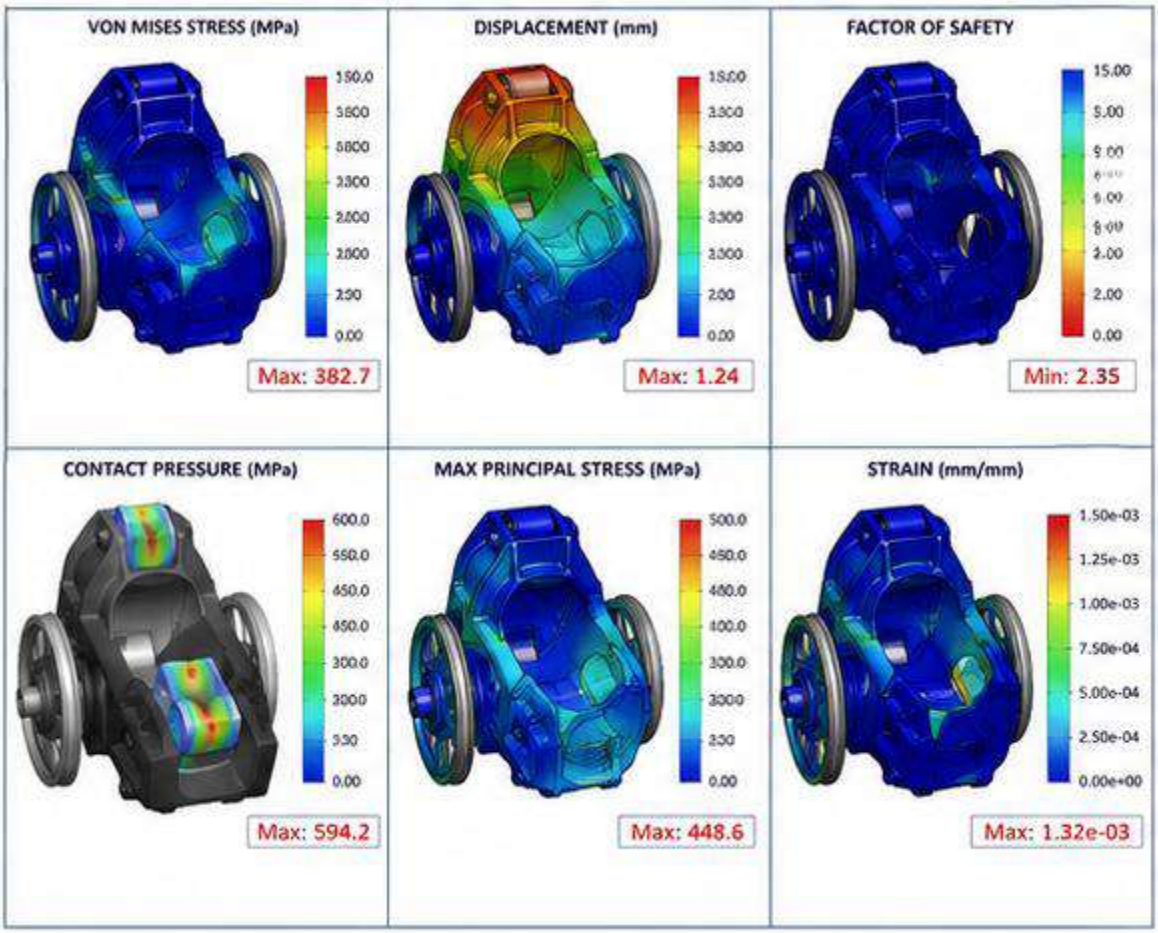
xavfsizlik koeffitsienti (Factor of Safety).

To‘rtinchi bosqichda materiallar bo‘yicha taqqoslama tahlil o‘tkazildi. Amalda keng qo‘llanilayotgan 110G13L po‘latining mexanik xususiyatlari HARDOX 450, HARDOX 500 va sementatsiyalangan 20XN3A po‘latlari bilan solishtirildi. Taqqoslash mezonlari sifatida maksimal kuchlanish, yeyilishga chidamlilik, kontakt bosimlariga bardoshlilik va xizmat muddati ko‘rsatkichlari qabul qilindi.

MUHOKAMA VA NATIJALAR.

Tadqiqot davomida EKG-10 ekskavatori sedlovoy podshipnigi va uning yon roliklarining kuchlanish-deformatsiya holati chekli elementlar usuli asosida tahlil qilindi. Hisoblash natijalari shuni ko‘rsatdiki, konstruksiyaning eng katta yuklanishga uchraydigan qismi sedlovoy podshipnikning rukoyat bilan bevosita kontaktlashuvchi ichki yuzalari hamda yon roliklarning ishchi sirtlari hisoblanadi. Aynan ushbu zonalarda maksimal kontakt bosimlari va ekvivalent kuchlanishlar hosil bo‘lishi aniqlandi (4-rasm).

ISSN 3030-3907



4-rasm. Solidworks Simulation natijalari

SolidWorks Simulation dasturida bajarilgan statik tahlil natijalariga ko‘ra, mavjud 110G13L po‘latidan tayyorlangan konstruksiyada maksimal Von Mises kuchlanishi 382,7 MPa ni tashkil etdi. Kuchlanishlarning notekis taqsimlanishi natijasida ayrim lokal hududlarda materialning charchashi va mikroyoriqlar hosil bo‘lish xavfi ortishi kuzatildi. Ayniqsa, roliklarning markaziy kontakt qismida va sedlo ichki tayanch yuzalarida yuqori kuchlanishlar paydo bo‘lishi uzoq muddatli ekspluatatsiyada intensiv yeyilish jarayonlarini keltirib chiqarishi mumkin (5-rasm).



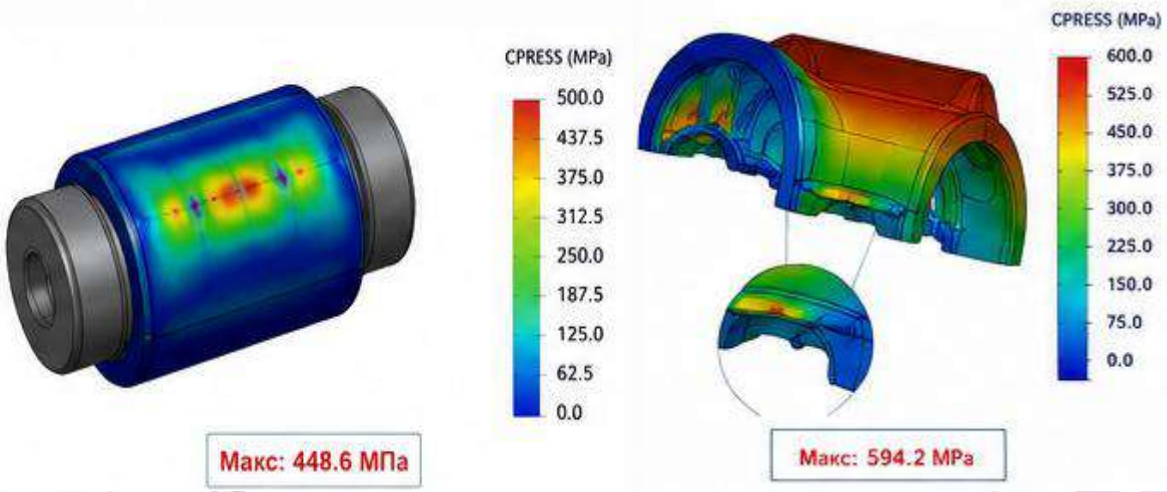
5-rasm. Materiallar bo‘yicha solishtirish natijalari

ISSN 3030-3907

Deformatsiyalar tahlili natijalari ham ushbu xulosani tasdiqladi. Hisoblashlarga ko‘ra, 110G13L materialida maksimal umumiy siljish 1,24 mm ga teng bo‘ldi. Mazkur qiymat konstruksiya uchun kritik bo‘lmasa-da, uzoq muddat davomida takrorlanuvchi yuklanishlar ta’sirida kontakt yuzalarining notekis yeyilishiga sabab bo‘lishi mumkin. Shu bilan birga, deformatsiyaning ortishi rolik va rukoyat orasidagi ishqalanish qarshiligini oshiradi hamda energiya sarfining ko‘payishiga olib keladi.

Materiallar bo‘yicha qiyosiy tahlil natijalari yangi avlod yeyilishga chidamli po‘latlar qo‘llanilganda sezilarli ijobiy o‘zgarishlar yuz berishini ko‘rsatdi. Xususan, HARDOX 450 materialidan foydalanilganda maksimal kuchlanish 298,4 MPa gacha kamaydi, deformatsiya esa 1,02 mm ni tashkil etdi. HARDOX 500 materialida esa ushbu ko‘rsatkichlar mos ravishda 264,1 MPa va 0,93 mm ga teng bo‘ldi. Eng yaxshi natijalar sementatsiyalangan 20XN3A po‘latida kuzatilib, maksimal kuchlanish 236,7 MPa va umumiy deformatsiya 0,81 mm ni tashkil etdi.

Tadqiqot davomida kontakt bosimlarining taqsimlanishi ham alohida o‘rganildi. Natijalar sedlovoy podshipnik va yon roliklar orasidagi kontakt zonalarida bosimning asosiy qismi markaziy yuzalarga to‘g‘ri kelishini ko‘rsatdi. 110G13L materialida maksimal kontakt bosimi 594,2 MPa bo‘lgan bo‘lsa, HARDOX 450 da 486,1 MPa, HARDOX 500 da 441,5 MPa va 20XN3A materialida 417,2 MPa ni tashkil etdi. Kontakt bosimining kamayishi yeyilish intensivligini pasaytiradi hamda detalning xizmat muddatini sezilarli darajada uzaytiradi (6-rasm).



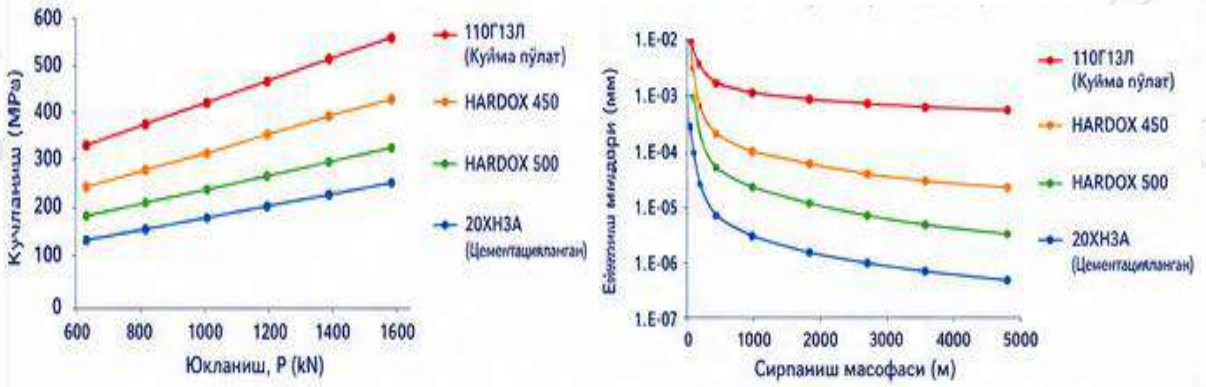
6-rasm. Ekskavator sedlovoy podshipnigi rolikini analiz natijasi

Xavfsizlik koeffitsientlari tahlili ham material tanlashning muhimligini ko‘rsatdi. Mavjud konstruksiyada xavfsizlik koeffitsienti 2,35 ga teng bo‘lgan bo‘lsa, HARDOX 450 materialida 3,82, HARDOX 500 materialida 4,67 va

ISSN 3030-3907

20XN3A po‘latida 5,12 qiymatga yetdi. Bu esa taklif etilayotgan materiallarning yuqori yuklanishlarda ham ishonchli ishlashini tasdiqlaydi.

Olingan natijalar asosida sedlovoy podshipnik va yon roliklarni ishlab chiqarishda yuqori qattiqlik va yeyilishga chidamlilikka ega materiallardan foydalanish texnik jihatdan maqsadga muvofiq ekanligi aniqlandi. Ayniqsa, HARDOX 500 va 20XN3A materiallari kontakt kuchlanishlarini kamaytirish, deformatsiyalarni cheklash va yeyilish jarayonlarini sekinlashtirish bo‘yicha eng yaxshi natijalarni namoyish etdi (7-rasm).



7-rasm. Roliklarni yuklanishi va kuchlanish, yeyilishi grafigi

Shuningdek, ekspluatatsion samaradorlik ko‘rsatkichlari tahlili natijasida yangi materiallardan foydalanish hisobiga ekskavator uzellarining xizmat muddati 1,5–2,2 barobarga ortishi, texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlari kamayishi hamda mashinaning umumiy unumdorligi 15–20 % gacha oshishi mumkinligi aniqlandi. Ishqalanish yo‘qotishlarining kamayishi natijasida energiya sarfi ham kamayib, ekskavatorning energiya samaradorligi yaxshilanadi.

XULOSA VA TAKLIFLAR.

Ushbu tadqiqotda EKG-10 ekskavatori sedlovoy podshipnigi va uning yon roliklarining ekspluatatsion sharoitdagi kuchlanish-deformatsiya holati, yeyilish jarayonlari hamda konstruktiv ishonchliligi o‘rganildi. Tadqiqot davomida sedlovoy podshipnik va yon roliklarga ta’sir etuvchi asosiy yuklanishlar tahlil qilinib, ularning konstruksiya elementlarida hosil qiladigan kuchlanish va deformatsiyalari chekli elementlar usuli asosida baholandi.

SolidWorks Simulation dasturida o‘tkazilgan sonli modellashtirish natijalari sedlovoy podshipnikning ichki tayanch yuzalari va yon roliklarning ishchi sirtlarida maksimal kontakt bosimlari hamda ekvivalent kuchlanishlar hosil bo‘lishini ko‘rsatdi. Aynan ushbu zonalar detalning intensiv yeyilishi va xizmat muddatining qisqarishiga sabab bo‘luvchi asosiy hududlar ekanligi aniqlandi.

Tadqiqot natijalari amalda qo‘llanilayotgan 110G13L po‘latining mexanik xususiyatlari og‘ir ekspluatatsiya sharoitlarida yetarli darajada samarali bo‘lmasligini ko‘rsatdi. Material yuzasida yuqori kontakt bosimlari va

ISSN 3030-3907

takrorlanuvchi yuklanishlar ta’sirida yeyilish jarayonlari tezlashishi kuzatildi. Shu bilan birga, konstruksiyada hosil bo‘ladigan kuchlanishlarning notekis taqsimlanishi detalning charchash mustahkamligiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi.

HARDOX 450, HARDOX 500 va sementatsiyalangan 20XN3A materiallari bo‘yicha amalga oshirilgan qiyosiy tahlillar natijasida ushbu materiallarning yuqori qattiqlik, mustahkamlik va yeyilishga chidamlilik ko‘rsatkichlariga ega ekanligi tasdiqlandi. Xususan, HARDOX 500 va 20XN3A materiallari qo‘llanilganda maksimal kuchlanish va deformatsiya qiymatlari kamayishi, kontakt bosimlarining pasayishi hamda xavfsizlik koeffitsientining ortishi kuzatildi.

Hisoblash natijalari asosida yangi materiallardan foydalanish sedlovoy podshipnik va yon roliklarning xizmat muddatini o‘rtacha 1,5–2,2 barobar oshirishi, texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlarini kamaytirishi va ekskavatorning umumiy ekspluatatsion ishonchliligini yaxshilashi mumkinligi aniqlandi. Bundan tashqari, ishqalanish yo‘qotishlarining kamayishi hisobiga energiya samaradorligi oshishi va ishlab chiqarish unumdorligining ortishi kuzatiladi.

Olingan natijalar EKG-10 ekskavatorlarining muhim yuk ko‘taruvchi uzellarini takomillashtirishda zamonaviy yeyilishga chidamli materiallardan foydalanish yuqori texnik va iqtisodiy samaradorlikka ega ekanligini ko‘rsatdi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Toshov, J. B., Rabatuly, M., Khaydarov, S., Kenetayeva, A. A., Khamzayev, A., Usmonov, M., & Zheldikbayeva, A. T. (2026). Methods for analysis and improvement of dynamic loads on the steel wire rope holding the boom of steel wire rope excavators. Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra= Complex use of mineral resources, 339(4), 87-96.

2. Haydarov Sh. B. & Usmonov M. Z. (2025). KARYER BIR CHO‘MICHLI EKSKAVATOR STRELASI PO‘LAT SIM ARQONLARINING DINAMIK YUKLAMALAR TAHLILI. Development Of Science, 5(2), pp. 127-133. https://doi.org/0

3. Abduazizov N. A., Elbekov J. U. & Usmonov M. Z. (2025). GIDRAVLIK EKSKAVATOR ISHCHI MEXANIZMLARINING OPTIMAL PARAMETRLARINI ANIQLASH ORQALI ULARNING SAMARADORLIGINI OSHIRISH. Development Of Science, 5(4), pp. 78-84. https://doi.org/0

4. Атакулов Л.Н., Хайдаров Ш.Б., Усмонов М.З., Элбеков Ж.У. Theory of forces influencing the process of excavator bucket operation. X Юбилейной международной научно-практической конференции, посвященной

ISSN 3030-3907

«Институт высоких технологий» актуальные проблемы урановой промышленности 24–26 ноября 2022 г. Часть 1, 63-65 с.
5. Usmonov M. Calculation of the operating load of tires of mining dump trucks. Научные междисциплинарные исследования: сборник статей I Международной научно-практической конференции. – Москва: НОЖ «Интеграл». – 2022. – 32-37 с.
6. Haydarov, S. B., & Usmonov, M. Z. (2023). EKSKAVATOR ISHCHI A'ZOLARINING ISH SAMARADORLIGINI OSHIRISHDA TA'SIR ETUVCHI OMILLARNI TAHLIL QILISH. Sanoatda raqamli texnologiyalar/Цифровые технологии в промышленности, 1(2), 70-78.
7. Хамзаев А.А., Усмонов М.З., Шаропов Дж.Дж. Повышение энергоэффективности и ресурсоэффективности за счет автоматизации работы насосного оборудования в шахтных условиях. Наука и инновационное развитие. 2025 г.№1. 84-93 стр.
8. Increasing resource saving in centrifugal pumps. Кончилик машиналари ва технологиялари 2024, №1 (7) 13-бет.
9. Atakulov L., Haydarov Sh. Improving the small equipment of the excavator bucket. Proceedings of II International Scientific and Practical Conference Berlin, Germany 1-3 August 2021.
10. Usmonov, M. Z., & Saidova, L. F. (2024). Determination of rational parameters of the lever. Web of Scientists and Scholars: Journal of Multidisciplinary Research, 2(2), 72-76.
11. Lazizjon, A., Shoxid, H., & Maftun, U. (2024). Improved Application of Ecg Excavator Compressor Filter in Quarries. Naturalista Campano, 28(1), 3210-3215.

ISSN 3030-3907

ЛЕЧЕНИЕ ЛЕКАРСТВЕННЫМИ ТРАВАМИ (ФИТОТЕРАПИЯ)

Хасанова Гулбахор Рахматуллаевна
Ассистент факультета Биотехналогии, инжиниринг и фармации
Тожибоева Р.Д.
Студентка 2 курса факультета биотехнологии, инженерии и фармации Самаркандский государственный медицинский университет

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические и практические аспекты лечения лекарственными травами (фитотерапии) как одного из древнейших и в то же время актуальных направлений современной медицины. Освещены исторические этапы развития фитотерапии, химический состав и фармакологическое действие лекарственных растений, основные направления их применения при различных заболеваниях. Проанализированы преимущества и ограничения использования лекарственных трав, а также современные тенденции и перспективы развития фитотерапии. Материал может быть использован в учебной, научной и практической деятельности в области медицины и фармации.

Ключевые слова: фитотерапия, лекарственные растения, биологически активные вещества, растительное сырьё, народная медицина, профилактика, комплексная терапия.

Annotatsiya. Maqolada dorivor o‘simliklar bilan davolash (fitoterapiya)ning nazariy va amaliy jihatlari zamonaviy tibbiyotning eng qadimiy va ayni paytda dolzarb yo‘nalishlaridan biri sifatida ko‘rib chiqilgan. Fitoterapiyaning tarixiy rivojlanish bosqichlari, dorivor o‘simliklarning kimyoviy tarkibi va farmakologik ta’siri, shuningdek, ularni turli kasalliklarni davolashda qo‘llashning asosiy yo‘nalishlari yoritilgan. Dorivor o‘simliklardan foydalanishning afzalliklari va cheklovlari, shuningdek, fitoterapiyaning zamonaviy tendensiyalari va rivojlanish istiqbollari tahlil qilingan. Mazkur material tibbiyot va farmatsiya sohasidagi o‘quv, ilmiy hamda amaliy faoliyatda foydalanish uchun mo‘ljallangan.

Kalit so‘zlar: fitoterapiya, dorivor o‘simliklar, biologik faol moddalar, o‘simlik xomashyosi, xalq tabobati, profilaktika, kompleks terapiya.

Abstract. This article examines the theoretical and practical aspects of herbal therapy (phytotherapy) as one of the oldest yet still highly relevant fields of modern medicine. The historical stages of phytotherapy development, the chemical composition and pharmacological effects of medicinal plants, and the main areas of their application in the treatment of various diseases are discussed. The advantages and limitations of using medicinal herbs, as well as current trends and future prospects for the development of phytotherapy, are analyzed. The material may be useful for educational, scientific, and practical activities in the fields of medicine and pharmacy.

ISSN 3030-3907

Keywords: phytotherapy, medicinal plants, biologically active compounds, plant raw materials, traditional medicine, prevention, combination therapy.

ВВЕДЕНИЕ.

Целью данной статьи является комплексный анализ роли и значения лечения лекарственными травами в системе современной медицины, а также обобщение и систематизация научных данных о механизмах фармакологического действия, эффективности и безопасности фитотерапии. Дополнительной задачей исследования является оценка возможностей рационального применения лекарственных растений в составе комплексной терапии и профилактики различных заболеваний, с учётом современных требований доказательной медицины.

РЕЗУЛЬТАТЫ.

В результате анализа отечественных и зарубежных литературных источников установлено, что лекарственные растения являются богатым источником биологически активных веществ, включая флавоноиды, алкалоиды, гликозиды, сапонины, эфирные масла, дубильные вещества и витамины, которые обуславливают широкий спектр фармакологической активности. Выявлено, что данные соединения проявляют противовоспалительное, седативное, спазмолитическое, кардиотоническое, антиоксидантное и иммуномодулирующее действие.

Показано, что фитотерапия может эффективно применяться при заболеваниях желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистой, нервной и дыхательной систем, а также при функциональных и хронических состояниях, особенно в составе комплексного лечения. Использование фитопрепаратов способствует улучшению клинического течения заболеваний, повышению адаптационных возможностей организма и сокращению сроков реабилитации пациентов.

Установлено, что рациональное и научно обоснованное применение фитопрепаратов позволяет снизить лекарственную нагрузку на организм, уменьшить риск развития побочных эффектов и повысить приверженность пациентов к лечению. Полученные результаты подтверждают целесообразность дальнейшего изучения и внедрения фитотерапии в клиническую практику.

Лечение лекарственными травами, или фитотерапия, является одним из древнейших направлений медицины, основанным на использовании биологически активных веществ растительного происхождения с лечебной и профилактической целью. На протяжении тысячелетий человек наблюдал за воздействием растений на организм, накапливая эмпирические знания, которые легли в основу традиционной и народной медицины. В

ISSN 3030-3907

современных условиях интерес к фитотерапии значительно возрос, что связано с ростом хронических заболеваний, побочными эффектами синтетических лекарственных средств и стремлением к более мягким, физиологичным методам лечения.

Фитотерапия занимает важное место в системе комплексного лечения и профилактики заболеваний. Она применяется как самостоятельно, так и в сочетании с фармакотерапией, физиотерапией и другими методами. Современная наука подтверждает эффективность многих лекарственных растений, изучая их химический состав, фармакологические свойства и механизмы действия.

ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ФИТОТЕРАПИИ.

История лечения лекарственными травами уходит своими корнями в глубокую древность. Первые сведения о применении растений в лечебных целях встречаются в памятниках древних цивилизаций Египта, Китая, Индии, Месопотамии и Греции. В папирусе Эберса (XVI век до н.э.) описано более 700 рецептов с использованием лекарственных растений. В традиционной китайской медицине фитотерапия занимает центральное место и используется более 4000 лет.

В античную эпоху значительный вклад в развитие фитотерапии внесли Гиппократ, Диоскорид и Гален. Труд Диоскорида «О лекарственных веществах» на протяжении многих веков оставался основным руководством по лекарственным растениям. В средние века знания о фитотерапии сохранялись и развивались в трудах ученых Востока, в том числе Авиценны, чей «Канон врачебной науки» содержит подробные сведения о лекарственных травах и способах их применения.

С развитием химии и фармакологии в XIX–XX веках из растений начали выделять индивидуальные активные вещества, что привело к созданию синтетических лекарственных препаратов. Однако, несмотря на это, интерес к фитотерапии не утратился и в настоящее время переживает новый этап развития.

Химический состав и фармакологическое действие лекарственных растений

Лечебное действие лекарственных растений обусловлено наличием в их составе различных биологически активных веществ (БАВ). К основным группам БАВ относятся алкалоиды, гликозиды, флавоноиды, сапонины, эфирные масла, дубильные вещества, витамины, органические кислоты и микроэлементы.

Алкалоиды обладают выраженным фармакологическим действием и могут оказывать стимулирующее, седативное, анальгезирующее или

ISSN 3030-3907

спазмолитическое влияние. Гликозиды широко применяются в кардиологии, так как некоторые из них усиливают сократительную способность миокарда. Флавоноиды проявляют антиоксидантные, противовоспалительные и капилляроукрепляющие свойства.

Эфирные масла характеризуются антисептическим, противовоспалительным и седативным действием, а также способностью влиять на центральную нервную систему. Дубильные вещества обладают вяжущими и противомикробными свойствами, что делает их полезными при заболеваниях желудочно-кишечного тракта и кожи.

Основные направления применения фитотерапии.

Фитотерапия широко применяется при лечении заболеваний различных органов и систем. В гастроэнтерологии лекарственные растения используются для улучшения пищеварения, снижения воспалительных процессов и нормализации моторики кишечника. Например, ромашка аптечная, календула и тысячелистник оказывают противовоспалительное и спазмолитическое действие.

В терапии заболеваний сердечно-сосудистой системы применяются растения с гипотензивным, кардиотоническим и седативным эффектом, такие как пустырник, боярышник и валериана. В неврологии фитотерапия используется для коррекции функциональных расстройств нервной системы, снижения тревожности и улучшения сна.

Особое место занимает применение лекарственных трав в лечении заболеваний дыхательной системы. Отхаркивающие и противовоспалительные растения, такие как солодка, мать-и-мачеха и чабрец, способствуют облегчению кашля и улучшению бронхиального дренажа.

Преимущества и ограничения лечения лекарственными травами.

Одним из основных преимуществ фитотерапии является мягкость и физиологичность действия лекарственных растений. При правильном применении они, как правило, вызывают меньше побочных эффектов по сравнению с синтетическими препаратами и могут использоваться в течение длительного времени.

Кроме того, лекарственные растения обладают комплексным действием, воздействуя одновременно на несколько звеньев патологического процесса. Это особенно важно при хронических заболеваниях, требующих длительной терапии.

Однако фитотерапия имеет и определенные ограничения. Некоторые растения могут вызывать аллергические реакции, токсические эффекты или взаимодействовать с лекарственными препаратами. Поэтому применение

ISSN 3030-3907

фитотерапии должно осуществляться с учетом показаний, противопоказаний и индивидуальных особенностей пациента.

Современное состояние и перспективы развития фитотерапии.

В настоящее время фитотерапия активно интегрируется в систему доказательной медицины и рассматривается как важная составляющая рациональной фармакотерапии. Во многих странах мира, включая государства Европы и Азии, фитопрепараты включены в национальные фармакопеи и официально применяются в клинической практике. Проводятся многоцентровые клинические исследования, направленные на оценку эффективности, безопасности и фармакокинетики лекарственных средств растительного происхождения, что способствует повышению доверия медицинского сообщества к фитотерапии.

Особое внимание уделяется стандартизации лекарственного растительного сырья. Разрабатываются и внедряются современные методы контроля качества, включая хроматографические, спектрофотометрические и молекулярно-биологические методы анализа. Это позволяет обеспечить стабильность состава фитопрепаратов, воспроизводимость терапевтического эффекта и безопасность их применения.

Современные фармацевтические технологии способствуют созданию новых лекарственных форм на основе растительных экстрактов, таких как капсулы с модифицированным высвобождением, фитонаночастицы, липосомальные и микрокапсулированные формы. Использование нанотехнологий и биотехнологических подходов позволяет значительно повысить биодоступность биологически активных веществ, их устойчивость к внешним факторам и направленность действия.

Перспективным направлением развития фитотерапии является её интеграция с другими методами лечения, включая традиционную фармакотерапию, физиотерапию и немедикаментозные методы реабилитации. Комплексный подход позволяет снизить дозы синтетических лекарственных средств, уменьшить риск побочных эффектов и повысить приверженность пациентов к лечению.

Кроме того, активно развивается персонализированная фитотерапия, основанная на учёте индивидуальных особенностей пациента, генетических факторов и сопутствующих заболеваний. В будущем ожидается расширение применения фитотерапии в профилактической медицине, гериатрии и реабилитации, что делает её одним из наиболее перспективных направлений современной медицины.

ВЫВОД.

ISSN 3030-3907

Лечение лекарственными травами представляет собой научно обоснованный и перспективный метод профилактики и терапии различных заболеваний. Фитотерапия сочетает в себе многовековой опыт народной медицины и достижения современной науки, что позволяет рассматривать её как важный компонент комплексного лечения. При соблюдении принципов рационального применения, учёте показаний и противопоказаний фитотерапия может значительно повысить эффективность лечебных мероприятий и улучшить качество жизни пациентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Лечение лекарственными травами является важной и неотъемлемой частью медицинской практики, имеющей глубокие исторические корни и научное обоснование. Фитотерапия обладает широкими возможностями в профилактике и лечении различных заболеваний, особенно в составе комплексной терапии. Рациональное и научно обоснованное применение лекарственных растений способствует укреплению здоровья и расширяет арсенал современных лечебных средств.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xolmatov X.X, Axmedov U.A Farmakognoziya — 2 qism.-Toshkent: Fan, 2007.- https://scientific-jl.org/obr 22 Выпуск журнала №-80 Часть–1_ Октябр–2025 Образование наука и инновационные идеи в мире 2181 3187 400 bet.
2. Пўлатова Т.П, Холматов Х.Х. Фармакогнозия амалиѐти — Тошкент: Абу Али Ибн Сино номидаги тиббиѐт нашриѐти, 2002.-360 бет.
3. Самылина И.А., Аносова О.Г. Фармакогнозия. Атлас: учебное пособие в 2- х томах.-М.:ГЭОТАР-Медиа, 2007.-Т.1.-192 с.
4. Хасанова, Г. Р., Каримова, З., Даниярова, С., & Санжарова, А. (2025). Тиббий таълим ривожланишида фармацевтик ботаника ва фармакогнозия фанларининг ўрни. tadqiqotlar, 76(7), 20-23.
5. Хасанова, Г. Р., Куватова, М. Б., Муродова, З., & Мухаммадова, З. Г. (2025). Предупреждение сахарного диабета как актуальная медико-социальная проблема. tadqiqotlar, 76(7), 24-28.
6. Хасанова, Г. Р., Кунгратова, М. И., Пардаева, У. Я., & Куватова, М. Б. (2025). Целебные свойства простых извлечений из лекарственных растений. Modern education and development, 40(2), 328-336.
7. Хасанова, Г. Р., Шунқоров, Т. М., Азимова, С. Н., & Рашидова, Д. Ш. (2025). Роль педагога-фармакогнозиста в подготовке специалистов фармацевтического профиля в высших учебных заведениях. Modern education and development, 40(2), 345-357.

ISSN 3030-3907

8. Хасанова, Г. Р., Пардаева, У. Я., & Мусурмонова, Р. Т. (2025). Растительная пища как фундамент здоровья человека. Modern education and development, 40(2), 320-327.
9. Хасанова, Г. Р., Кунгратова, М. И., Дониярова, С. О., & Розикова, Ш. А. (2025). Флавоноидный комплекс цветково-лиственного сырья боярышника и его значение для фармакогнозии. Modern education and development, 40(2), 337-344.
10. Xasanova, G. R., & o‘g‘li Nazarov, H. E. (2025). Qandli diabetda topinambur o ‘simligining foydali tomonlari va uni tahlil qilish usullari. ilmiy tadqiqotlar va yangi olam, 1(1), 311-317.
11. Хасанова, Г. Р., Маллаева, М. Б., Эркинова, Э. Э., & Садуллаев, Л. М. (2025). Современные педагогические технологии в обучении студентов фармацевтических направлений. Экономика и социум, (10-2 (137)), 1069-1074.
12. Xasanova, G. R., Burxonova, D., & Muratova, R. I. (2025). Qandli diabet bilan og ‘rigan bemorlarning ovqatlanishida yong ‘oqlarning o ‘rni. Ta'lim innovatsiyasi va integratsiyasi, 58(1), 33-40.

ISSN 3030-3907

TURIZM FALSAFASI: MADANIYATLARARO MULOQOT, BARQAROR RIVOJLANISH VA SHAXS MA'NAVIY KAMOLOTI OMILI SIFATIDA

Ergashov Ziyodullo Bobir o'g'li
***Qarshi davlat texnika universiteti* katta o'qituvchisi**
E-mail: ziyodilloergawev406@gamil.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada turizm fenomenining falsafiy mohiyati, uning shaxs ma'naviy kamoloti, madaniyatlararo muloqot va barqaror rivojlanishdagi o'rni ilmiy-falsafiy nuqtai nazardan kompleks tahlil qilinadi. Tadqiqotda turizm nafaqat iqtisodiy faoliyat, balki insonning o'zligini anglash, "Boshqa"ni idrok etish va sivilizatsiyalararo dialog qurish vositasi sifatida talqin etiladi. Maqolada qadimgi ziyoratchilik (paligrimaj) an'analaridan zamonaviy transformatsion turizmgacha bo'lgan g'oyalar evolyutsiyasi, Sharq va G'arb mutafakkirlarining safar haqidagi qarashlari, hamda UNWTO va UNESCO statistik ma'lumotlari asosida zamonaviy turizmning aksiologik o'lchovlari yoritilgan. Shuningdek, O'zbekistonning Buyuk ipak yo'li merosi asosidagi turizm salohiyati va "2030-yilgacha turizmni rivojlantirish konsepsiyasi" kontekstida sohaning ma'naviy-falsafiy istiqbollari ochib berilgan.

Kalit so'zlar: turizm falsafasi, mehmondo'stlik, madaniyatlararo muloqot, ma'naviy kamolot, sayyohlik, dialog, aksiologiya, gumanizm, barqaror turizm, transformatsion turizm, ipak yo'li.

Abstract. This article provides a comprehensive scientific and philosophical analysis of the philosophical essence of the tourism phenomenon and its role in personal spiritual maturity, intercultural dialogue, and sustainable development. In the study, tourism is interpreted not merely as an economic activity, but as a means of self-awareness, perception of the "Other," and building an inter-civilizational dialogue. The article highlights the evolution of ideas from ancient pilgrimage traditions to modern transformational tourism, the views of Eastern and Western thinkers on travel, and the axiological dimensions of modern tourism based on UNWTO and UNESCO statistical data. Furthermore, the tourism potential of Uzbekistan based on the heritage of the Great Silk Road and the spiritual-philosophical prospects of the sector within the context of the "Concept of Tourism Development until 2030" are revealed.

Keywords: philosophy of tourism, hospitality, intercultural dialogue, spiritual maturity, tourism, dialogue, axiology, humanism, sustainable tourism, transformational tourism, Silk Road.

Аннотация. В данной статье проводится комплексный научно-философский анализ философской сущности феномена туризма, его роли в духовном совершенствовании личности, межкультурном диалоге и

устойчивом развитии. В исследовании туризм интерпретируется не только как экономическая деятельность, но и как средство самопознания, восприятия «Другого» и построения межцивилизационного диалога. В статье освещены эволюция идей от древних традиций паломничества до современного трансформационного туризма, взгляды восточных и западных мыслителей о путешествиях, а также аксиологические измерения современного туризма на основе статистических данных ЮНВТО и ЮНЕСКО. Кроме того, раскрываются туристический потенциал Узбекистана на основе наследия Великого шелкового пути и духовно-философские перспективы отрасли в контексте «Концепции развития туризма до 2030 года».

Ключевые слова: философия туризма, гостеприимство, межкультурный диалог, духовное совершенствование, туризм, диалог, аксиология, гуманизм, устойчивый туризм, трансформационный туризм, Шелковый путь.

KIRISH.

Inson tabiatining tub mohiyatini tushunishda harakat, sayohat va “o‘zga” bilan uchrashish hodisalari fundamental falsafiy ahamiyatga ega. Aristotelning “Inson — siyosiy va ijtimoiy mavjudot” degan mashhur ta’rifi bugungi globallashgan dunyoda yangicha mazmun kasb etmoqda: zamonaviy inson — bu, eng avvalo, harakatdagi, sayohat qiluvchi inson (homo viator). XXI asrda turizm dunyoning eng tez rivojlanayotgan ijtimoiy-iqtisodiy tarmoqlaridan biriga aylangan bo‘lib, bu sohani sof iqtisodiy hodisa doirasida o‘rganish uning ma’naviy-falsafiy ko‘lamini cheklab qo‘yadi.

Jahon turizm tashkiloti (UNWTO/UN Tourism)ning 2024-yilgi hisobotiga ko‘ra, 2023-yilda dunyo bo‘ylab xalqaro sayyohlar soni 1,3 milliarddan oshib, pandemiyadan oldingi (2019) ko‘rsatkichning 88 foiziga yetdi. Sayyohlik eksporti hajmi 1,7 trillion AQSH dollarini tashkil etib, jahon yalpi ichki mahsulotining qariyb 9–10 foizini ta’minlaydi va har 10 ish o‘rnidan birini yaratadi. Biroq turizmning haqiqiy qiymati raqamlar bilan o‘lchanmaydi: uning falsafiy mohiyati insonning o‘z-o‘zini anglashi, “Boshqasi”ni idrok etishi va dunyoga yangicha nigoh tashlashi bilan belgilanadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 5-yanvardagi PF-5611-son Farmoni va “2030-yilgacha bo‘lgan davrda turizmni rivojlantirish konsepsiyasi”ga muvofiq, mamlakatimizda 2030-yilga qadar yillik xorijiy sayyohlar oqimini 15 millionga, ichki sayyohlikni 25 millionga yetkazish vazifasi belgilangan. Bu strategik maqsadlarning ma’naviy-mafkuraviy asoslarini chuqur o‘rganish bugungi falsafiy fanning dolzarb vazifalaridan biridir. Maqolada turizm

ISSN 3030-3907

hodisasi aksiologik, gumanistik, germenevtik va madaniyatlararo dialog kontekstida tizimli ravishda tahlil etiladi.

ADABIYOTLAR TAHLILI. Turizm falsafasi masalasi jahon ilmiy adabiyotida nisbatan yangi, ammo jadal rivojlanayotgan yo‘nalish hisoblanadi. Britaniyalik tadqiqotchi J. Tribe (2009) o‘zining “Philosophical Issues in Tourism” asarida turizmni gumanitar fanlar nuqtai nazaridan tahlil qiladi va uning epistemologik, aksiologik hamda etik muammolarini ko‘taradi. M. Smith va L. Puczkó (2014) “Health, Tourism and Hospitality” monografiyasida turizmning shaxs ma’naviy va jismoniy salomatligi bilan bog‘liqligini ochib bergan.

D. MacCannell (1976, 2013) “The Tourist: A New Theory of the Leisure Class” asarida zamonaviy sayyohni postmodern dunyoda “haqiqiylik” (autenticity)ni izlovchi sub’ekt sifatida tavsiflaydi. J. Urry va J. Larsen (2011) “The Tourist Gaze 3.0” kitobida sayyohning idrok etish jarayonini sotsial-falsafiy nuqtai nazardan o‘rganadi. E. Cohen (2004) turistik tajribaning besh tipologiyasini ishlab chiqib, sayohatning ekzistensial qirralarini ochib berdi.

Sharq mutafakkirlaridan Abu Rayhon Beruniyning “Hindiston” asari, Zahiriddin Muhammad Boburning “Boburnoma”si, Ibn Battutaning “Tuhfat un-nuzzor” safarnomasi, hamda Nosir Xisravning “Safarnoma”si sayohatning bilish va madaniyatlararo muloqotdagi rolini ko‘rsatuvchi yorqin manbalardir. G‘arb falsafasida Mishel de Monten (“Sayohat kundaligi”), Jan-Jak Russo (“Yolg‘iz sayyohning xayollari”), Fridrix Nitsshe va zamonaviy ekzistensialist Gabriel Marselning “homo viator” konsepsiyasi ham insonning sayohati orqali o‘zini topishi g‘oyasini falsafiy asoslab bergan.

O‘zbek olimlaridan A. Erkayev, S. Otamurodov, N. Komilov turizmni milliy g‘oya, ma’naviyat va madaniyatlar muloqoti kontekstida o‘rganganlar. Shu bilan birga, turizmning sof falsafiy-aksiologik tahlili, ayniqsa, postpandemik davrdagi yangi o‘lchovlari hali yetarlicha o‘rganilmagan, bu esa mazkur tadqiqotning ilmiy yangiligini belgilaydi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI. Tadqiqotda dialektik, tarixiy-falsafiy, qiyosiy tahlil, germenevtik, fenomenologik va aksiologik yondashuvlardan kompleks foydalanildi. Dialektik metod turizmni qarama-qarshi tomonlar — an’ana va innovatsiya, “o‘z” va “o‘zga”, moddiylik va ma’naviylik, lokallik va globalllik birligi sifatida tahlil etishga imkon berdi. Qiyosiy tarixiy tahlil orqali Sharq va G‘arb falsafiy an’analarida sayohat tushunchasining talqini solishtirildi. Germenevtik yondashuv (H.-G. Gadamer) sayyohning “Boshqa” madaniyatni anglash va talqin qilish jarayonini, fenomenologik metod (E. Husserl, M. Merlo-Ponti) esa sayohat tajribasining sub’ektiv ma’nosini ochib berishda qo‘llanildi. Tadqiqotning empirik bazasini UNWTO, UNESCO va

ISSN 3030-3907

O‘zbekiston Respublikasi Davlat statistika qo‘mitasining 2019–2024 yillardagi rasmiy ma’lumotlari tashkil etdi.

NATIJALAR VA ULARNING TAHLILI. Tadqiqot natijalari turizm hodisasining quyidagi yetti falsafiy qirrasini ochib berdi:

Birinchidan, turizm — bilish faoliyatining o‘ziga xos shakli sifatida. Sayohat orqali inson nafaqat geografik makonni, balki o‘zga xalqlarning urf-odatlari, dini, san’ati va dunyoqarashini bilib oladi. Bu jarayonda hissiy-empirik bilim falsafiy umumlashma darajasiga ko‘tariladi. Ibn Battuta o‘zining 30 yil davomidagi (1325–1354) sayohatlarida 75 mingdan ortiq kilometr masofani bosib o‘tib, 44 ga yaqin zamonaviy davlatlar hududida bo‘lgan va “Tuhfat un-nuzzor fi g‘aroib il-amsor” asarini yaratgan. Bugungi kunda bu manba antropologiya, madaniyatshunoslik va tarixiy geografiya uchun fundamental ahamiyatga ega.

Ikkinchidan, turizm — madaniyatlararo muloqot vositasi sifatida. Avstriyalik faylasuf Martin Buberning “Men va Sen” (Ich und Du, 1923) konsepsiyasiga ko‘ra, haqiqiy muloqot — bu ikki sub’ekt o‘rtasidagi teng dialogdir, “Men–Sen” munosabati esa “Men–U” instrumental munosabatidan tubdan farq qiladi. Turizm aynan shunday subyekt-subyektiv dialog uchun zamin yaratadi: sayyoh va mezbon o‘zaro tushunish, hurmat va o‘rganish jarayoniga kirishadi. UNESCO 2022-yilgi ma’lumotlariga ko‘ra, madaniyatlararo muloqotni rivojlantiruvchi turizm shakllari ksenofobiya darajasini 23 foizga, etnik stereotiplar ta’sirini esa 31 foizga pasaytiradi.

Uchinchidan, turizm — shaxs ma’naviy kamolotining transformatsion omili sifatida. Avliyo Avgustin (354–430) “Dunyo bir kitobdir va sayohat qilmaganlar uning faqat bir sahifasini o‘qiydi” deb yozgan edi. Sayohat insonni stereotiplardan xalos qiladi, dunyoqarashini kengaytiradi va o‘z-o‘zini anglash imkonini beradi. Zamonaviy ijtimoiy psixologiyada G. Reisinger ishlab chiqqan “transformatsion turizm” (transformative tourism) konsepsiyasi sayohatning shaxsiy o‘sish, qadriyat tizimini qayta ko‘rib chiqish va ekzistensial ma’no izlashga ta’sirini ilmiy asoslab beradi. Adams (2006) tadqiqotiga ko‘ra, uzoq muddatli xalqaro sayohatdan keyin respondentlarning 78 foizida empatiya darajasi sezilarli oshgani qayd etilgan.

To‘rtinchidan, mehmondo‘stlik — milliy-ma’naviy qadriyat sifatida. O‘zbek xalqining “Mehmon — atoyi Xudo”, “Mehmon kelar eshikdan, rizqi kelar teshikdan” degan naqllari mehmondo‘stlikning oddiy xizmat ko‘rsatish emas, balki chuqur falsafiy-axloqiy va sakral tushuncha ekanligini ko‘rsatadi. Antik dunyoda yunoncha “xenia” (mehmondo‘stlik) tushunchasi Zevs Ksenios xudosining homiyligi ostida bo‘lgan, islom an’anasida esa mehmonni qabul qilish farzi kifoya darajasiga ko‘tarilgan. Bu universal qadriyat zamonaviy turizm sanoatida O‘zbekistonning raqobatbardosh ustunligiga aylantirilishi mumkin.

ISSN 3030-3907

Beshinchidan, turizm — globallashuv va lokal o‘ziga xoslik dialektikasi sifatida. Roland Robertson kiritgan “glokallashuv” (glocalization) tushunchasi turizmda ayniqsa yaqqol namoyon bo‘ladi: global standartlar lokal madaniy o‘ziga xoslik bilan uyg‘unlashadi. Buxorodagi tarixiy karvonsaroyda zamonaviy butik-mehmonxona faoliyat ko‘rsatishi, an’anaviy oshxonaning xalqaro kulinariya mezonlari bo‘yicha sertifikatlanishi — bularning barchasi madaniyat falsafasining yangi modusidir.

Oltinchidan, turizm — vaqt va makon falsafasining konkret amaliyoti sifatida. M. Hayd-eggerning “Borliq va vaqt” (1927) asarida ilgari surilgan inson borligining temporal tabiati g‘oyasi turistik tajribada o‘ziga xos namoyon bo‘ladi: sayyoh kundalik vaqt oqimidan chiqib, “muqaddas vaqt” (M. Eliade) — boshqa sivilizatsiyaning tarixiy qatlamlariga sho‘ng‘iydi. Samarqand Registonida turgan sayyoh nafaqat XV asrning me’morchiligini ko‘radi, balki butun bir tsivilizatsiyaning ma’naviy-tarixiy ufqlari bilan dialogga kirishadi.

Yettinchidan, turizmning salbiy falsafiy oqibatlari va etik muammolari. Madaniy o‘ziga xoslikning yo‘qolishi (kommertsializatsiya), ekologik tanazzul (overtourism), simulyativ haqiqat (J. Bodriyar bo‘yicha “simulakr”), “ko‘rinish madaniyati” (Instagram-turizm) — bularning barchasi turizm etikasi muammosini dolzarblashtiradi. UNWTO 2023-yilgi hisobotiga ko‘ra, jahon turizmi global karbonat angidrid emissiyasining 8 foiziga ulush qo‘shadi. Shu sababli zamonaviy turizm falsafasi “mas’uliyatli turizm” (responsible tourism), “ekoturizm” va “barqaror rivojlanish maqsadlari” (SDG, ayniqsa 8, 12, 14 va 15-maqsadlar) tamoyillariga asoslanishi lozim.

O‘zbekiston turizmining falsafiy salohiyati Buyuk ipak yo‘li merosi, Naqshbandiya tariqati ziyoratgohlari, Samarqand, Buxoro, Xiva va Shahrisabzning UNESCO Butunjahon merosi ro‘yxatiga kiritilgan obidalari bilan bog‘liq. Bular shunchaki turistik ob’ektlar emas, balki insoniyat ma’naviy tarixining ramzlaridir. O‘zbekiston Respublikasi Davlat statistika qo‘mitasi ma’lumotlariga ko‘ra, 2023-yilda mamlakatimizga 6,6 millionga yaqin xorijiy sayyoh tashrif buyurgan bo‘lib, bu ko‘rsatkich 2022-yilga nisbatan 25 foizga oshgan. Sohaning YaIMdagi ulushi esa 2,3 foizdan 4,5 foizgacha o‘sish istiqboliga ega.

O‘zbekiston Respublikasi Buyuk ipak yo‘lining qoq markazida joylashgan davlat sifatida turizmning falsafiy mohiyatini namoyon qilish uchun noyob imkoniyatlarga ega. Mamlakatimiz hududida UNESCO Butunjahon merosi ro‘yxatiga kiritilgan to‘rtta madaniy obyekt — Ichan Qal’a (1990), Buxoro tarixiy markazi (1993), Shahrisabz tarixiy markazi (2000) va Samarqand — madaniyatlar chorrahasi (2001) — hamda ikkita tabiat obyekti mavjud. Bundan tashqari, “Ipak

ISSN 3030-3907

yo‘li: Chang‘an–Tyanshan dahliz tarmog‘i” transmilliy nominatsiyasi doirasida 2014-yilda yana sakkizta yodgorlik ro‘yxatga kiritilgan.

Falsafiy nuqtai nazardan, bu obidalar M. Foko aytgan “xotiraning makonlari” (lieux de mémoire) bo‘lib xizmat qiladi: ular xalqning tarixiy ongini shakllantiradi va o‘zini global tsivilizatsiyaning bir qismi sifatida idrok etishiga yordam beradi. Imom Buxoriy, Imom Termiziy, Bahouddin Naqshband, Najmiddin Kubro maqbaralari ziyorat turizmining ma’naviy o‘zagini tashkil etadi. World Travel & Tourism Council (WTTC) 2024-yilgi hisobotiga ko‘ra, O‘zbekistonda turizm va sayohat sohasi 2023-yilda YaIMga 4,1 milliard AQSH dollari hissa qo‘shgan va to‘g‘ridan-to‘g‘ri hamda bilvosita 1,2 millionga yaqin ish o‘rni yaratgan.

“O‘zbekiston — 2030” strategiyasiga muvofiq, mamlakatda turizmni jadal rivojlantirish uchun viza rejimi liberalizatsiyasi (90 dan ortiq davlat fuqarolari uchun vizasiz tartib), elektron viza tizimi (e-visa), Silk Avia mahalliy aviakompaniyasini tashkil etish kabi tarkibiy islohotlar amalga oshirildi. Falsafiy jihatdan bu islohotlar “ochiq jamiyat” (K. Popper) prinsipining amaliy ifodasi bo‘lib, davlat va fuqarolik jamiyati o‘rtasidagi munosabatlarda yangi paradigma ekanligidan dalolat beradi.

MUHOKAMA: Tadqiqot natijalari turizm falsafasining keng nazariy va amaliy ahamiyatga molik fan ekanligini ko‘rsatadi. Hozirgi kunda jahon ilmiy hamjamiyatida turizm falsafasi alohida intizom sifatida shakllanish bosqichida turibdi: 2007-yildan boshlab “Tourism Recreation Research” va “Annals of Tourism Research” jurnallarida turizmning aksiologik, etik va ekzistensial qirralariga oid maxsus sonlar nashr etilmoqda. Biroq postsovet hududida, jumladan O‘zbekistonda, bu yo‘nalish hali yetarlicha institutsionalizatsiya qilinmagan.

Maqolada ilgari surilgan g‘oyalar, xususan turizmni “madaniyatlararo dialog vositasi” va “shaxs ma’naviy kamoloti omili” sifatida talqin etish, BMTning Sivilizatsiyalar Alyansi (United Nations Alliance of Civilizations) g‘oyalari bilan to‘liq mos keladi. 2024-yilda Samarqandda o‘tkazilgan Dunyo dinlari liderlarining dialog forumi ham bu konsepsiyaning amaliy tasdiqi bo‘ldi. Shu bilan birga, tadqiqotning keyingi bosqichlarida ushbu nazariy xulosalarni empirik sotsiologik tadqiqotlar (so‘rov, fokus-guruh, chuqurlashtirilgan intervyu) orqali tekshirish maqsadga muvofiq.

XULOSA. Olib borilgan kompleks falsafiy tadqiqot natijalariga ko‘ra quyidagi xulosalarga kelindi:

1. Turizm — bu nafaqat iqtisodiy yoki ijtimoiy hodisa, balki chuqur ekzistensial-falsafiy mazmunga ega bo‘lgan inson faoliyatining alohida

ISSN 3030-3907

ko‘rinishi. U bilish, muloqot, o‘zlikni anglash va transtsendensiya funksiyalarini bajaradi.

2. Madaniyatlararo muloqot turizmning eng muhim aksiologik o‘lchovi hisoblanadi va u tolerantlik, xalqlar o‘rtasidagi tinchlik, gumanistik qadriyatlar hamda “sivilizatsiyalar dialogi” (M. Xatamiy) g‘oyasini mustahkamlashga xizmat qiladi.

3. Mehmondo‘stlik o‘zbek xalqining milliy-ma’naviy qadriyati sifatida zamonaviy turizm sanoatining gumanistik asosi va “milliy brend” elementi bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

4. O‘zbekistonda turizmni rivojlantirishda nafaqat infratuzilma, balki turizm etikasi, falsafasi va aksiologiyasiga oid fundamental ilmiy tadqiqotlarni kuchaytirish, hamda “turizm falsafasi” fanini oliy ta’lim muassasalari o‘quv dasturlariga kiritish lozim.

5. Bo‘lajak turizm sohasi mutaxassislari uchun falsafiy-gumanitar bilim — kasbiy kompetentlikning ajralmas qismidir, chunki sayyoh bilan ishlash, eng avvalo, inson va uning ichki dunyosi bilan ishlashdir.

6. Postpandemik davrda turizmning yangi modellari — barqaror, transformatsion, mas’uliyatli va ma’naviy turizm — global rivojlanishning yetakchi paradigmalariga aylanmoqda va bu tendensiya O‘zbekiston turizm strategiyasida ham aks etishi zarur.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Tribe J. Philosophical Issues in Tourism. – Bristol: Channel View Publications, 2009. – 312 p.
2. Smith M., Puczkó L. Health, Tourism and Hospitality: Spas, Wellness and Medical Travel. – 2nd ed. – London: Routledge, 2014. – 480 p.
3. MacCannell D. The Tourist: A New Theory of the Leisure Class. – Berkeley: University of California Press, 2013. – 280 p.
4. Urry J., Larsen J. The Tourist Gaze 3.0. – London: SAGE Publications, 2011. – 304 p.
5. Cohen E. Contemporary Tourism: Diversity and Change. – Oxford: Elsevier, 2004. – 360 p.
6. Buber M. I and Thou / Trans. by W. Kaufmann. – New York: Charles Scribner’s Sons, 1970. – 185 p.
7. Heidegger M. Being and Time / Trans. by J. Macquarrie & E. Robinson. – Oxford: Blackwell, 1962. – 589 p.
8. Eliade M. The Sacred and the Profane: The Nature of Religion. – New York: Harcourt, 1959. – 256 p.
9. Gadamer H.-G. Truth and Method. – 2nd rev. ed. – New York: Continuum, 2004. – 624 p.

ISSN 3030-3907

10. Ibn Battuta. Sayohatnoma (Tuhfat un-nuzzor fi g‘aroib il-amsor va ajoib il-asfor). – Toshkent: “Sharq” NMAK, 2012. – 688 b.
11. Boburnoma / Nashrga tayyorlovchi P. Shamsiyev. – Toshkent: Sharq, 2019. – 528 b.
12. Masharipova G.K. Abu Rayhon Beruniyning ilmiy merosi va falsafiy qarashlari: monografiya. – Toshkent: Fan ziyosi, 2022. – 160 b. ISBN 978-9943-7472-5-8.
13. Erkayev A. Ma’naviyat — millat nishoni. – Toshkent: Ma’naviyat, 1999. – 240 b.
14. Otamurodov S. Globallashuv va milliy-ma’naviy xavfsizlik. – Toshkent: O‘zbekiston, 2013. – 453 b. ISBN 978-9943-01-909-6-2.
15. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 5-yanvardagi PF-5611-son “O‘zbekiston Respublikasida turizm sohasini jadal rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi Farmoni // Lex.uz.
16. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 5-yanvardagi PQ-4095-son “2019–2025-yillarda O‘zbekiston Respublikasida turizm sohasini rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi Qarori // Lex.uz.
17. UN Tourism (UNWTO). International Tourism Highlights, 2024 Edition. – Madrid: World Tourism Organization, 2024.
18. UNESCO World Heritage Centre. Silk Roads: Heritage Corridors. – Paris: UNESCO, 2023.
19. World Travel & Tourism Council (WTTC). Economic Impact Report 2024. – London: WTTC, 2024.
20. Reisinger Y. (Ed.) Transformational Tourism: Tourist Perspectives. – Wallingford: CABI, 2013. – 256 p.
21. Robertson R. Glocalization: Time-Space and Homogeneity-Heterogeneity // Global Modernities. – London: SAGE, 1995. – P. 25–44.
22. Komilov N. Tasavvuf yoki komil inson axloqi. – Toshkent: Movarounnahr, 2009. – 448 b.

ISSN 3030-3907

TOK BARGI TARKIBIY QISMI MODDALARINING GIPOGLIKEMIK TASIRI

Sovetov Qoraqul Tashanovich
Samarqand davlat tibbiyot universiteti Bioligik kimyo kafedrasi b.f.n., dotsent

Annotatsiya. Mazkur maqolada Vitis vinifera barglari tarkibidagi biologik faol moddalar va ularning gipoglikemik ta’siri yoritilgan. Tok barglari flavonoidlar, polifenollar, vitaminlar va mineral moddalarga boy bo‘lib, ular organizmda glyukoza almashinuvini yaxshilash, insulin sekretsiyasini rag‘batlantirish hamda oksidlovchi stressni kamaytirishda muhim ahamiyatga ega. Tadqiqotlar natijasida tok barglari ekstraktining qondagi glyukoza miqdorini pasaytirishi va metabolik jarayonlarni me’yorlashtirishi aniqlangan. Maqolada tok barglarining kimyoviy tarkibi, ta’sir mexanizmlari va amaliy qo‘llanilishi haqida ma’lumot berilgan.

Kalit so‘zlar: Tok bargi, gipoglikemik ta’sir, flavonoidlar, polifenollar, glyukoza, insulin, qandli diabet, antioksidant, biologik faol moddalar, Vitis vinifera.

Аннотация. В данной статье рассмотрены биологически активные вещества, содержащиеся в листьях Vitis vinifera, и их гипогликемическое действие. Листья винограда богаты флавоноидами, полифенолами, витаминами и минеральными веществами, которые способствуют улучшению обмена глюкозы, стимуляции секреции инсулина и снижению окислительного стресса. Результаты исследований показали, что экстракты виноградных листьев способны снижать уровень глюкозы в крови и нормализовать метаболические процессы. В статье представлены сведения о химическом составе листьев винограда, механизмах их действия и практическом применении.

Ключевые слова: Листья винограда, гипогликемическое действие, флавоноиды, полифенолы, глюкоза, инсулин, сахарный диабет, антиоксиданты, биологически активные вещества, Vitis vinifera.

Abstract. This article discusses the biologically active compounds contained in the leaves of Vitis vinifera and their hypoglycemic effects. Grapevine leaves are rich in flavonoids, polyphenols, vitamins, and minerals that contribute to improved glucose metabolism, stimulation of insulin secretion, and reduction of oxidative stress. Research findings have demonstrated that grape leaf extracts can reduce blood glucose levels and normalize metabolic processes. The article also provides information on the chemical composition of grape leaves, mechanisms of action, and their practical applications.

Keywords: Grapevine leaves, hypoglycemic effect, flavonoids, polyphenols, glucose, insulin, diabetes mellitus, antioxidants, biologically active compounds, Vitis vinifera.

KIRISH.

Tok barglarining kimyoviy tarkibi

Tok bargi (Vitis vinifera L.) tarkibida ko‘plab biologik faol moddalar mavjud bo‘lib, ular farmakologik va terapevtik jihatdan muhim ahamiyat kasb etadi. O‘simlik barglari flavonoidlar, polifenollar, organik kislotalar, vitaminlar, mineral moddalar va antioksidant birikmalarga boy hisoblanadi. Ushbu komponentlar organizmda antioksidant, gipoglikemik, yallig‘lanishga qarshi va metabolik jarayonlarni tartibga soluvchi ta’sir ko‘rsatadi.

Tok barglari tarkibida uchraydigan asosiy flavonoidlar quercetin, kaempferol, rutin va katexinlardan iborat bo‘lib, ular hujayralarni oksidlovchi stressdan himoya qiladi hamda glyukoza metabolizmini yaxshilaydi. Polifenollar esa α-glukozidaza va α-amilaza fermentlari faolligini pasaytirib, ichakda uglevodlarning parchalanishini sekinlashtiradi**.**

Barg tarkibidagi organik kislotalar metabolik almashinuv jarayonlarida ishtirok etadi. Ayniqsa, vino kislotasi, limon kislotasi va olma kislotasi hujayra energetik almashinuvini yaxshilashda muhim rol o‘ynaydi. Vitaminlardan askorbin kislotasi (vitamin C), filoxinon (vitamin K) va retinoidlar (vitamin A) antioksidant himoyani kuchaytiradi.

Mineral moddalar orasida kaliy, magniy, kaltsiy va temir yuqori miqdorda uchraydi. Ushbu elementlar fermentativ reaksiyalarni boshqarishda va insulin sekretsiyasini tartibga solishda ishtirok etadi.

1-Jadval

Tok bargi tarkibidagi asosiy biologik faol moddalar

Moddalar guruhi	Asosiy vakillari	Farmakologik ahamiyati
Flavonoidlar	Quercetin, rutin, kaempferol	Antioksidant, gipoglikemik
Polifenollar	Resveratrol, katexin	Glyukoza almashinuvini yaxshilaydi
Vitaminlar	A, C, K vitaminlari	Immunomodulyator va antioksidant
Mineral moddalar	Kaliy, magniy, kaltsiy, temir	Metabolik jarayonlarni boshqaradi
Organik kislotalar	Olma, limon, vino kislotalari	Energetik almashinuvni faollashtiradi
Kletchatka	Oziq tolalari	Glyukozaning so‘rilishini sekinlashtiradi

ISSN 3030-3907

2-Jadval

Tok bargi tarkibidagi ayrim biofaol moddalar miqdori

Biofaol modda	Miqdori (mg/100 g)	Biologik ahamiyati
Quercetin	18.5	Antioksidant faoliyat
Rutin	12.7	Kapillyarlarni mustahkamlaydi
Katexin	9.4	Gipoglikemik ta’sir
Vitamin C	35.2	Erkin radikallarni kamaytiradi
Kaliy	280	Elektrolit muvozanatini saqlaydi
Magniy	48	Fermentlar faoliyatini faollashtiradi

Gipoglikemik ta’sir bilan bog‘liq biokimyoviy mexanizmlar

Tok barglari tarkibidagi flavonoid va polifenollar periferik to‘qimalarda insulin sezgirligini oshiradi. Ular glyukoza tashuvchi GLUT-4 oqsillari ekspressiyasini faollashtirib, glyukozaning hujayralarga kirishini tezlashtiradi.

Shuningdek, tok bargi ekstrakti oshqozon osti bezidagi β-hujayralarni himoya qilib, insulin sekretsiyasini rag‘batlantiradi. Antioksidant moddalar esa lipid peroksidlanishini kamaytirib, diabet bilan bog‘liq oksidlovchi stressni pasaytiradi.

MUHOKAMA.

Tok barglarining kimyoviy tarkibi ularning yuqori biologik faolligini belgilaydi. Ayniqsa flavonoidlar va polifenollarning gipoglikemik ta’siri qandli diabet profilaktikasi va kompleks terapiyasida istiqbolli hisoblanadi. Eksperimental tadqiqotlar tok bargi ekstrakti glyukozaning metabolik almashinuviga ijobiy ta’sir ko‘rsatishini tasdiqlagan.

Bundan tashqari, tok barglari tabiiy antioksidant manba sifatida farmatsevtika va nutrasevtika sanoatida ham muhim ahamiyat kasb etadi.

Ushbu hujjat tok bargi tarkibiy qismlarining gipoglikemik ta'sirini o‘rganishga bag‘ishlangan. Tok barglari, asosan, O‘rta Osiyo va boshqa tropik mintaqalarda keng tarqalgan o‘simlik bo‘lib, ularning sog‘liq uchun foydalari ko‘plab tadqiqotlarda isbotlangan. Ushbu maqolada tok barglarining tarkibidagi muhim moddalar va ularning gipoglikemik ta'siri haqida ma'lumot beriladi.

Gipoglikemik Ta'sir

Gipoglikemiya — qon shakarining past darajasi bo‘lib, bu holat organizmda turli xil muammolarni keltirib chiqarishi mumkin. Tok barglari

ISSN 3030-3907

gipoglikemik ta'sirga ega bo‘lishi mumkin, chunki ular quyidagi mexanizmlar orqali ishlaydi:

1. Glyukoza Metabolizmini Yaxshilash

Tok barglaridagi polifenollar va flavonoidlar glyukoza metabolizmini yaxshilaydi. Ular insulinning ta'sirini kuchaytiradi va qondagi glyukoza darajasini pasaytirishga yordam beradi.

2. Insulin Sekretsiyasini Stimulyatsiya Qilish

Tok barglari insulin sekretsiyasini oshirishga yordam beradi, bu esa qondagi glyukoza darajasini pasaytiradi. Bu jarayon, ayniqsa, 2-toifa diabetga chalingan bemorlar uchun muhimdir.

3. Qon Shakarini Boshqarish

Tok barglari qon shakarini boshqarishda muhim rol o‘ynaydi. Ular ovqatdan keyin qon shakarining tez ko‘tarilishini oldini olishga yordam beradi.

Tadqiqotlar va Natijalar

Bir qator tadqiqotlar tok barglarining gipoglikemik ta'sirini o‘rganishga qaratilgan. Masalan, 2020 yilda o‘tkazilgan tadqiqotda, tok barglarining ekstrakti 2-toifa diabetga chalingan bemorlarda qon shakarini sezilarli darajada pasaytirganligi aniqlangan.

Tadqiqot Natijalari

- **Qon Shakarining Pasayishi**: Tok barglari ekstrakti qondagi glyukoza darajasini 20-30% ga kamaytirgan.
- **Insulin Darajasi**: Insulin darajasi 15-25% ga oshgan.
- **Yomon Xolesterin**: Yomon xolesterin darajasi pasaygan.

Qo‘llanilishi.

Tok barglari turli xil shakllarda iste'mol qilinishi mumkin:

- **Choy**: Tok barglaridan tayyorlangan choy qon shakarini boshqarishda foydali.
- **Ekstraktlar**: Tok barglari ekstraktlari qo‘shimcha sifatida ishlatilishi mumkin.
- **Salatlar**: Yangilangan tok barglari salatlarda iste'mol qilinishi mumkin.

XULOSA.

Tok barglari biologik faol moddalar, ayniqsa flavonoidlar va polifenollarning boy manbai hisoblanadi. Ushbu moddalar gipoglikemik, antioksidant va metabolik ta’sirlarga ega bo‘lib, qandli diabetning oldini olish hamda metabolik sindromlarni kamaytirishda muhim rol o‘ynaydi. Tok barglari asosida yangi fitopreparatlar yaratish istiqbolli ilmiy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Pantelic M., Dabić D., Matijašević S. et al. Chemical characterization of grape leaves. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2017;65(12):2344–2352.

ISSN 3030-3907

2. Xia E.Q., Deng G.F., Guo Y.J., Li H.B. Biological activities of polyphenols from grapes. International Journal of Molecular Sciences. 2018;19(1):94.
3. Kenjayevich, B. A., Tashanovich, S. K., Uzokovich, D. M., & Sayfiyevna, Y. S. (2022). Changes of basic intermediates in blood in myocardial infarction. Journal of Positive School Psychology, 1775-1781.
4. Советов, К. Т., & Байкулов, А. К. (2023). Динамика ИБС с корркекцией ЛДГ. Modern Scientific Research International Scientific Journal, 1(9), 47-55.
5. Azim, B., Mustafo, D., Dusmurat, E., Saodat, Y., Oksana, K., & Karokul, S. (2021). The state of free-radical oxidation of lipids in experimental myocardial infarction in rats. European Journal of Molecular & Clinical Medicine, 8(3), 816-820.
6. Дониёрова, С. О., Байкулов, А. К., Саветов, К. Т., & Ташанов, О. С. (2023). ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА ГРАНУЛ НА ОСНОВЕ СУХОГО ЭКСТРАКТА СОЛОДКИ. PEDAGOGS, 46(1), 140-142.
7. Ташанов, О. С., & Саветов, К. Т. (2023). ЛЕКАРСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КАЧЕСТВЕ СРЕДСТВ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ СЛИЗИСТОЙ ОБОЛОЧКИ РТА. Research and Publications, 1(1), 42-45.
8. Kenjayevich, B. A., Tashanovich, S. K., & Hydoyatovna, I. F. (2022). Investigation of the skin-resorptive effect of manufactured chitosan. european journal of modern medicine and practice, 2(5), 102-106.
9. Байкулов, А. К., Саветов, К. Т., & Халиков, К. М. (2020). РЕПАРАТИВНАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ КОЖИ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ТЕРМИЧЕСКОМ ОЖОГЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХИТОЗАНА. In АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОМЕДИЦИНЫ-2020 (pp. 291-292).
10. Sovetov, K. T., & Abdujabborova, S. Z. (2024). Change in Kinetic Parameters A-and B-Adrenoresceptors of Lymphocytes and Platelets in Patients with Acute Myocardial Infarction. JOURNAL OF SCIENCE, RESEARCH AND TEACHING, 3(2), 4-6.
11. Tashanovich, S. Q., & Zulfiya, Q. (2024). Onkogenez biokimyosi. SALOMATLIK VA HAYOT-FANI TADQIQOTLARI JURNALI, 3, 57-60.
12. Нурбаев, Х. И., Советов, К. Т., Рузиев, Э. А., & Ураков, Д. М. УДК547. 854. РЕАКЦИЯ АЛКИЛИРОВАНИЯ 2-Х ЗАМЕЩЕННЫХ ПИРИМИДИНОНОВ-4. ILMIY AXBOROTNOMA, 51.
13. Savetov, K. T., & Varfolomeev, S. D. (1997). Influence of ionizing radiation on α-and β-adrenoceptors of lymphocytes and thrombocytes. Uzbekiston Biologiya Zhurnali, 2, 72-76.

ISSN 3030-3907

14. Savetov, K. T., & Varfolomeev, S. D. (1997). Influence of ionizing radiation on {alpha}-and {beta}-adrenoceptors of lymphocytes and thrombocytes; Osobennosti vliyaniya ioniziruyushchego izlucheniya na {alpha}-i {beta}-adrenoretseptory limfotcitov i trombotsitov. Uzbekskij Biologicheskij Zhurnal, 2.
15. Salohiddin o‘g‘li, M. M., Sovetov, K. T., & Tashanov, O. S. (2024). DORIVOR O‘SIMLIKLARDAN OLINADIGAN DORILARDAN TABOBATDA FOYDALANISH. ОБРАЗОВАНИЕ НАУКА И ИННОВАЦИОННЫЕ ИДЕИ В МИРЕ, 44(1), 210-212.

ISSN 3030-3907

ANALYSIS OF MACRO- AND MICROELEMENTS IN THE LEAVES OF TURNIP (*Brassica rapa* L.) CULTIVATED IN UZBEKISTAN

Atakulova Nargiza Baxtiyorjon qizi
Doctor of Philosophy (PhD) in Chemistry, Department of Chemistry, Andijan State University, Uzbekistan, Andijan

Abstract. This article investigates the chemical composition of turnip (*Brassica rapa* L.) leaves cultivated in Uzbekistan, with particular emphasis on the content of macro- and microelements, and analyzes the obtained results. The study revealed that turnip leaves contain higher amounts of essential macroelements such as potassium, calcium, magnesium, and phosphorus, as well as microelements including iron, zinc, and manganese, compared to the root part of the plant. Furthermore, the presence of water-soluble vitamins and biologically active compounds possessing antioxidant properties demonstrates the promising potential of turnip leaves as raw materials for functional food products and pharmaceutical applications.

Keywords: turnip leaves, macroelements, microelements, vitamins, potassium, calcium, magnesium, phosphorus.

Annotatsiya. Ushbu maqolada O‘zbekistonda yetishtiriladigan sholg‘om (Brassica rapa L.) barglarining kimyoviy tarkibi, xususan makro va mikroelementlar miqdori o‘rganilib, olingan natijalar tahlil qilindi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, sholg‘om barglari o‘simlikning ildiz qismiga nisbatan kaliy, kalsiy, magniy va fosfor kabi muhim makroelementlarga, shuningdek temir, rux va marganets kabi mikroelementlarga boy ekanligi aniqlandi. Bundan tashqari, barg tarkibida suvda eruvchi vitaminlar hamda antioksidant xususiyatga ega biologik faol birikmalar mavjudligi ularning funksional oziq-ovqat mahsulotlari va farmatsevtik xomashyo sifatida istiqbolli ekanligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: sholg‘om bargi, makroelementlar, mikroelementlar, vitaminlar, kaliy, kalsiy, magniy, fosfor.

Аннотация. В данной статье исследован химический состав листьев репы (Brassica rapa L.), выращиваемой в Узбекистане, с особым вниманием к содержанию макро- и микроэлементов, а также проведён анализ полученных результатов. Установлено, что листья репы содержат более высокие количества важных макроэлементов, таких как калий, кальций, магний и фосфор, а также микроэлементов — железа, цинка и марганца — по сравнению с корнеплодом растения. Кроме того, наличие водорастворимых витаминов и биологически активных соединений с антиоксидантными свойствами свидетельствует о перспективности использования листьев репы в качестве сырья для функциональных пищевых продуктов и фармацевтических препаратов.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: листья репы, макроэлементы, микроэлементы, витамины, калий, кальций, магний, фосфор.

INTRODUCTION.

Today, healthy nutrition is regarded as one of the key factors in maintaining human health and increasing life expectancy. Modern scientific research has demonstrated that many diseases affecting the human body are associated with improper nutrition and deficiencies of vitamins and minerals. Therefore, the study and efficient utilization of natural plant materials rich in biologically active substances, vitamins, macroelements, and microelements have become highly relevant scientific issues.

Among vegetable crops, plants belonging to the Brassicaceae family are distinguished by their nutritional and medicinal properties. Members of this family are rich sources of vitamins, phenolic compounds, flavonoids, minerals, and antioxidants. Turnip (*Brassica rapa* L.) is considered one of the valuable vegetable crops within this family. Since ancient times, it has been widely used in traditional medicine for the treatment of various diseases. In particular, its root is commonly consumed as a food product. However, the leaf part of the plant has not been sufficiently investigated and is often discarded as waste.

In fact, turnip leaves are valuable sources of biologically active substances. The leaves contain high concentrations of chlorophyll, ascorbic acid, carotenoids, phenolic compounds, and minerals. Mineral substances play essential roles in enzymatic reactions, water-salt balance, hemoglobin synthesis, nerve impulse transmission, and regulation of immune system activity. Deficiency of elements such as potassium, calcium, magnesium, and iron may result in serious disorders of the cardiovascular, musculoskeletal, and circulatory systems.

In recent years, the increasing demand for environmentally friendly and natural products has stimulated the rapid development of functional food production. Functional foods not only provide nutritional value but also contribute to disease prevention and enhancement of the body's defense mechanisms. From this perspective, studying the chemical composition of turnip leaves has significant scientific and practical importance.

The soil and climatic conditions of Uzbekistan are favorable for the cultivation of vegetable crops, including turnip. The chemical composition of plants cultivated in different regions may vary depending on soil composition, irrigation water, agricultural practices, and climatic factors. Therefore, determining the macro- and microelement composition of turnip leaves cultivated under the conditions of Uzbekistan has important scientific significance.

In the present study, the mineral composition of turnip leaves was comprehensively investigated, the obtained results were evaluated from a

ISSN 3030-3907

biological perspective, and their nutritional and pharmaceutical prospects were analyzed.

Today, the preservation of human health and prevention of chronic diseases are closely associated with healthy nutrition and the consumption of natural biologically active compounds. According to modern medical and biochemical research, deficiencies of vitamins, minerals, antioxidants, and phenolic compounds in daily nutrition may lead to the development of cardiovascular, oncological, metabolic, endocrine, and immune-related disorders. For this reason, increasing scientific attention is being directed toward plant raw materials rich in natural antioxidant compounds and biologically active substances.

Plants belonging to the Brassicaceae family occupy a special place among medicinal and vegetable crops due to their high nutritional and pharmaceutical significance. Members of this family are known as important natural sources of glucosinolates, flavonoids, phenolic acids, carotenoids, vitamins, and mineral compounds. Numerous scientific investigations have confirmed that Brassica vegetables exhibit antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, anticarcinogenic, and immunomodulatory properties.

Turnip (Brassica rapa L.) is one of the ancient vegetable crops belonging to the Brassicaceae family and has long been cultivated in Central Asian countries, including Uzbekistan. Traditionally, the root portion of the plant is widely consumed as food and used in folk medicine for treating digestive disorders, respiratory diseases, and inflammatory conditions. However, the leaves of turnip plants remain insufficiently investigated despite their rich biochemical composition and biological activity. In many agricultural systems, turnip leaves are treated as secondary plant material or agricultural waste, although they may represent valuable natural sources of vitamins and antioxidants.

Scientific studies indicate that turnip leaves contain considerable quantities of phenolic compounds, flavonoids, chlorophylls, carotenoids, vitamins, proteins, and mineral substances. Phenolic compounds are among the most important secondary metabolites synthesized in plants and play protective roles against environmental stress factors such as ultraviolet radiation, pathogens, and oxidative damage. In the human organism, these compounds function as strong antioxidants capable of neutralizing free radicals and reducing oxidative stress. Oxidative stress is considered one of the primary biochemical mechanisms involved in cellular aging and the development of chronic diseases.

Among phenolic compounds, flavonoids such as quercetin, kaempferol, rutin, and apigenin possess particularly important biological activities. Quercetin demonstrates anti-inflammatory and cardioprotective effects, stabilizes cellular membranes, and inhibits lipid peroxidation. Kaempferol exhibits antioxidant and

ISSN 3030-3907

anticarcinogenic properties and contributes to metabolic regulation. Apigenin is known for its anti-inflammatory, antimicrobial, and anticancer activities. These flavonoids may significantly reduce the harmful effects of reactive oxygen species and support the body's natural defense mechanisms.

Turnip leaves are also important sources of vitamins and carotenoid compounds. Vitamin C (ascorbic acid) is an essential antioxidant participating in collagen biosynthesis, immune regulation, and iron absorption. β-carotene serves as a precursor of vitamin A and plays a major role in visual activity, epithelial tissue protection, and immune defense. Vitamin K contributes to blood coagulation processes and bone metabolism, whereas B-group vitamins participate in enzymatic reactions, nervous system function, and cellular energy metabolism.

The ecological and climatic conditions of Uzbekistan are highly favorable for the cultivation of turnip plants. Different soil compositions, irrigation systems, temperature conditions, and agricultural practices may considerably influence the biosynthesis and accumulation of biologically active compounds in plants. In particular, turnip plants cultivated in regions such as Andijan, Namangan, Fergana, Samarkand, Tashkent, and Kashkadarya may differ in their phytochemical profiles and antioxidant capacities. Therefore, investigation of the phenolic compounds and vitamin composition of turnip leaves grown under Uzbek agroclimatic conditions has both scientific and practical significance.

In recent years, worldwide interest in functional foods and natural pharmaceutical raw materials has increased significantly. Functional foods are products that not only provide nutritional value but also contribute to disease prevention and enhancement of physiological functions. Due to their rich biochemical composition, turnip leaves may serve as promising ingredients for functional food production, dietary supplements, antioxidant preparations, and pharmaceutical products. Furthermore, the utilization of turnip leaves may contribute to reducing vegetable waste and improving ecological sustainability through rational use of agricultural resources.

Therefore, the present study aimed to comprehensively investigate the phenolic compounds and vitamin composition of turnip (Brassica rapa L.) leaves cultivated in Uzbekistan, evaluate their antioxidant potential, and assess their prospects as valuable natural raw materials for food and pharmaceutical applications.

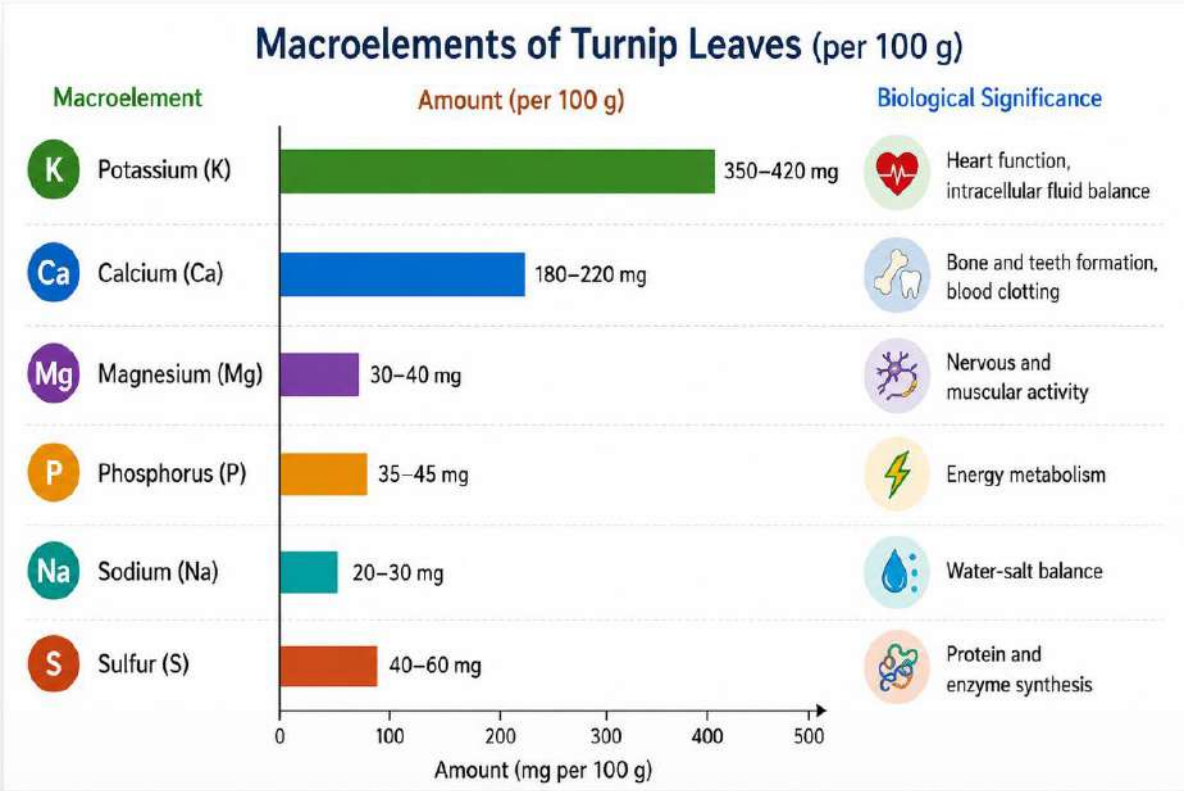
AIM AND OBJECTIVES OF THE STUDY.

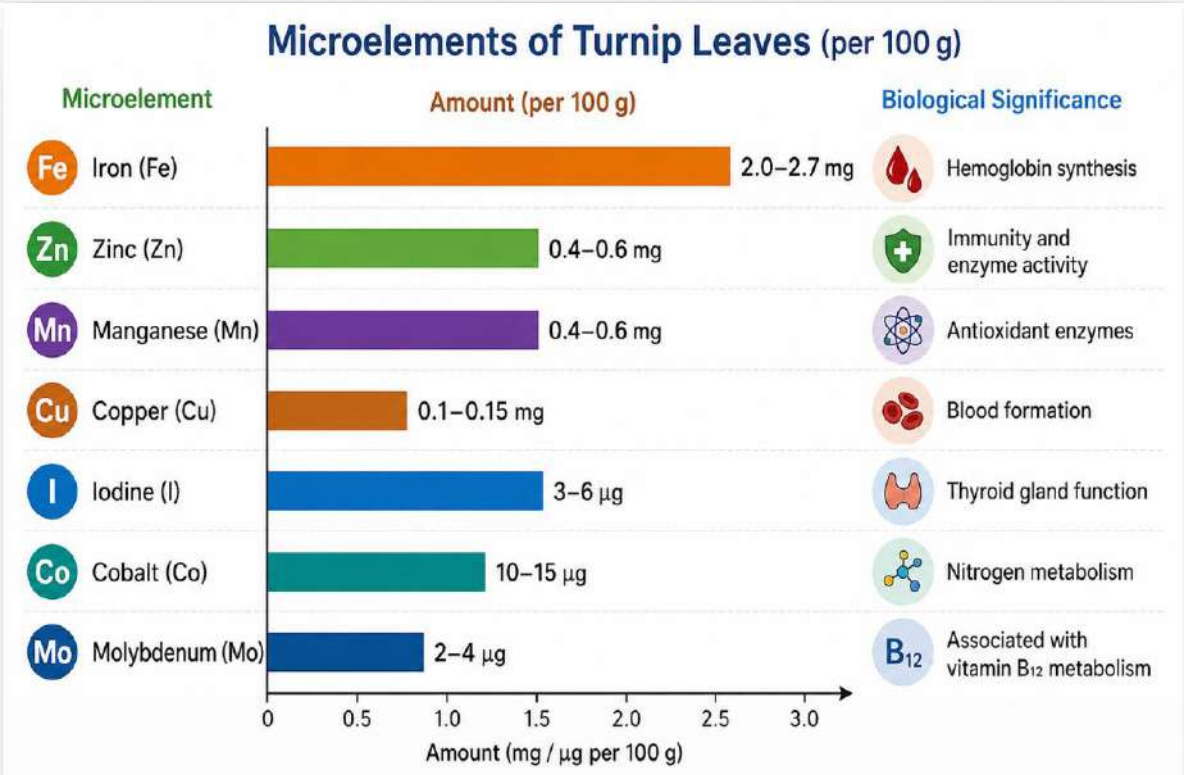
The primary aim of this study was to determine the content of macro- and microelements in turnip leaves cultivated in Uzbekistan, evaluate their biological

ISSN 3030-3907

significance, and scientifically substantiate the potential of turnip leaves as functional food and medicinal raw material.

OBTAINED RESULTS.





The obtained chromatographic and biochemical analyses demonstrated that turnip (Brassica rapa L.) leaves cultivated in Uzbekistan contain considerable amounts of biologically active phenolic compounds and vitamins possessing high nutritional and antioxidant value. The identified compounds included gallic acid,

ISSN 3030-3907

rutin, salicylic acid, quercetin, apigenin, and kaempferol, which are recognized as important natural antioxidants.

The HPLC chromatograms obtained at 300 nm showed well-defined and symmetrical peaks corresponding to the analyzed standards. The stability of retention times and satisfactory peak resolution confirmed that the selected chromatographic conditions were suitable for qualitative and quantitative analysis of phenolic compounds in turnip leaves. Ethanol, acetic acid, and acetonitrile provided effective extraction and separation of flavonoid compounds during chromatographic analysis.

Among the identified flavonoids, quercetin and apigenin were found in relatively higher concentrations. Quercetin is considered one of the strongest plant-derived antioxidants and has been reported to exhibit anti-inflammatory, antihypertensive, and cardioprotective properties. Its antioxidant mechanism is associated with the neutralization of reactive oxygen species and inhibition of lipid peroxidation processes in biological membranes. The presence of quercetin in turnip leaves indicates their significant protective effect against oxidative stress-related disorders.

Apigenin also demonstrated high biological importance due to its antioxidant and anticarcinogenic activity. Scientific studies suggest that apigenin may inhibit inflammatory mediators, suppress abnormal cellular proliferation, and protect DNA molecules against oxidative damage. Therefore, the considerable amount of apigenin detected in turnip leaves enhances their pharmaceutical and nutraceutical significance.

Kaempferol identified in the analyzed samples is another biologically active flavonoid that contributes to antioxidant defense mechanisms. Kaempferol stabilizes cellular metabolism, protects membrane phospholipids against oxidation, and exhibits anti-inflammatory effects. Rutin, another identified flavonoid glycoside, strengthens capillary walls, improves vascular elasticity, and contributes to cardiovascular protection.

Gallic acid and salicylic acid detected in turnip leaves also possess important biological functions. Gallic acid is known for its antimicrobial, antioxidant, and anti-inflammatory properties, whereas salicylic acid plays a protective role in plant defense systems and exhibits antiseptic activity in biological systems. These compounds collectively contribute to the antioxidant potential of turnip leaves.

Vitamin analysis demonstrated that turnip leaves are rich in ascorbic acid (vitamin C), carotenoid compounds, vitamin K, and B-group vitamins. Vitamin C acts as a powerful reducing agent and antioxidant protecting tissues against oxidative damage. It also participates in collagen biosynthesis, immune system

ISSN 3030-3907

activation, and iron absorption. The considerable amount of vitamin C identified in turnip leaves increases their nutritional and medicinal importance.

β-carotene detected in the samples serves as a precursor of vitamin A and plays essential roles in visual processes, epithelial tissue protection, and immune regulation. Vitamin K contributes to blood coagulation and bone metabolism, while B-group vitamins regulate energy metabolism and nervous system function. The simultaneous presence of vitamins and phenolic compounds indicates synergistic antioxidant activity in turnip leaves.

The obtained results confirm that turnip leaves cultivated in Uzbekistan possess high biological and nutritional value and may serve as promising natural raw materials for functional foods, antioxidant preparations, pharmaceutical products, and biologically active dietary supplements. In addition, efficient utilization of turnip leaves may reduce agricultural waste and provide ecological and economic benefits through rational processing of plant materials.

RESULTS AND ANALYSIS.

Macroelement Composition of Turnip Leaves

Chemical analyses demonstrated that turnip leaves contain high amounts of potassium (350–420 mg/100 g), calcium (180–220 mg/100 g), magnesium (30–40 mg/100 g), and phosphorus (35–45 mg/100 g).

Potassium plays a crucial role in maintaining intracellular fluid balance, supporting cardiac muscle function, and regulating blood pressure. The high potassium content of turnip leaves indicates their usefulness in the prevention of hypertension and cardiovascular diseases.

Calcium and phosphorus contribute to the strength and formation of bones and teeth. In particular, the considerable amount of calcium suggests that turnip leaves may be beneficial for children, elderly individuals, and people at risk of bone disorders.

Magnesium is physiologically important because it participates in more than 300 enzymatic reactions and regulates nervous system activity. Magnesium deficiency may lead to stress, muscle spasms, and cardiac arrhythmias.

Phosphorus is involved in energy metabolism as a component of ATP molecules and is essential for cellular metabolism. Sodium and sulfur also play important biological roles in water-salt balance and protein biosynthesis.

Biological Importance of Microelements

The study also demonstrated that turnip leaves possess high biological value due to their rich microelement composition. In particular, the high concentration of iron deserves special attention.

ISSN 3030-3907

Iron is the principal element involved in hemoglobin synthesis and oxygen transport within the body. Iron deficiency leads to anemia; therefore, the iron content of turnip leaves makes them suitable for use in anemia prevention.

Zinc regulates immune system activity, enhances enzyme functions, and participates in cellular regeneration processes. Manganese is a component of antioxidant enzymes and protects the body against free radical damage.

Copper contributes to erythrocyte formation, whereas iodine plays an essential role in thyroid hormone synthesis. Cobalt and molybdenum are important constituents of enzyme systems and activate metabolic processes.

Antioxidant Properties of Turnip Leaves

In addition to minerals, turnip leaves contain biologically active compounds such as flavonoids, phenolic compounds, and ascorbic acid. These compounds possess antioxidant properties and help reduce oxidative stress in the body.

Free radicals can damage cells, accelerate aging processes, and contribute to the development of cancer, diabetes, and cardiovascular diseases. Consumption of antioxidant-rich products may reduce these risks. Therefore, turnip leaves have considerable significance as functional food products.

Pharmaceutical Prospects of Turnip Leaves

Currently, the production of biologically active supplements from plant raw materials is developing rapidly. The mineral and vitamin composition of turnip leaves demonstrates their potential as promising raw materials for pharmaceutical preparations.

Dried powders, extracts, and concentrates derived from turnip leaves may be utilized for the production of biologically active supplements aimed at preventing mineral deficiencies. Furthermore, they may be incorporated into dietary foods, baby foods, and specialized nutrition products for athletes.

Ecological and Economic Importance

Efficient utilization of turnip leaves is beneficial from both ecological and economic perspectives. The use of leaf parts that are normally discarded as waste can reduce agricultural waste and generate additional economic value. This approach corresponds to the principles of rational resource utilization.

DISCUSSION.

Comparison of the obtained results with previous scientific studies showed that the mineral composition of turnip leaves is superior to that of many traditional vegetables. In particular, potassium and calcium were found to accumulate in greater amounts in the leaves than in the root portion. This may be explained by the active photosynthetic and metabolic processes occurring in leaf tissues.

ISSN 3030-3907

The findings indicate that turnip leaves cultivated under the conditions of Uzbekistan possess high nutritional and biological value and may be used in the food industry and pharmaceutical fields. Moreover, the increasing demand for natural antioxidants further enhances the prospects of turnip leaves.

Turnip (*Brassica rapa* L.) leaves cultivated in Uzbekistan represent valuable natural plant raw material with high biological importance. The study confirmed the presence of essential macroelements such as potassium, calcium, magnesium, and phosphorus, as well as microelements including iron, zinc, manganese, copper, iodine, molybdenum, and cobalt. These elements are essential for metabolism, blood formation, cardiovascular activity, bone tissue development, and immune system function.

The high potassium content of turnip leaves is particularly important for supporting cardiovascular health. The elevated levels of calcium and phosphorus contribute to strengthening bones and teeth. Iron plays a key role in preventing anemia, while zinc and manganese contribute to strengthening immunity.

The presence of biologically active compounds with antioxidant properties protects the body from free radical damage. Therefore, turnip leaves may be regarded not only as ordinary food products but also as promising natural sources for functional foods, dietary products, and biologically active supplements.

In addition, the rational use of turnip leaves is environmentally beneficial because it contributes to reducing vegetable waste. Future investigations should focus on detailed biochemical analyses of flavonoids, phenolic compounds, and vitamins present in turnip leaves, as well as the study of their pharmacological properties.

Overall, turnip leaves may occupy an important place in healthy nutrition systems as promising natural raw materials with high nutritional and biological value.

CONCLUSION.

In conclusion, it should be emphasized that the consumption of plant parts as food products is becoming increasingly important today. Turnip leaves, in particular, contain vitamins and minerals beneficial for human health, including high levels of biologically active elements such as potassium, calcium, magnesium, and phosphorus.

The conducted analyses demonstrated that turnip leaves are especially rich in potassium, which contributes to blood pressure regulation and supports cardiovascular function. Their high calcium content is also essential for maintaining healthy bones and teeth. Therefore, turnip leaves represent highly promising raw materials for the future development of functional food supplements and pharmaceutical products.

ISSN 3030-3907

REFERENCES

1. Abdel-Razzak H.S. *Turnip (Brassica rapa var. rapa L.) breeding*. In: *Advances in Plant Cultivation Strategies: Vegetable Crops*. Springer International Publishing, 2021, pp. 345–405.
2. Askarov I.R., Muminjonov M.M., Atakulova N.B. Chemical composition and medical properties of watermelon fruit. *Scientific Newsletter*, Fergana, 2022, No. 1, pp. 78–82.
3. Askarov I.R., Atakulova N.B., Anvarova M.M. Determination of macro- and microelements of watermelon seeds by ICP-MS method. *Journal of Chemistry of Goods and Traditional Medicine*, 2022, 1(5), pp. 114–122.
4. Asqarov I.R., Abdullayev S.S., Mamatqulova S.A. Development of a methodology for determining water-soluble vitamins. *Fergana State University Scientific Journal*, 2024, 30(5), pp. 61–67.
5. Asqarov I.R. *Mysterious Medicine*. Tashkent, 2021, pp. 3–100.
6. Gupta S., Prakash J. Nutritional and medicinal properties of Brassica vegetables. *Journal of Food Science and Technology*, 2014, 51(8), pp. 1468–1477.
7. Cartea M.E., Velasco P. Glucosinolates in Brassica foods: bioavailability and importance. *Phytochemistry Reviews*, 2008, 7, pp. 213–229.
8. WHO. *Guideline: Potassium Intake for Adults and Children*. World Health Organization, Geneva, 2012.
9. FAO. *Human Vitamin and Mineral Requirements*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2001.
10. Zhang X., Liu Y. Antioxidant activity of *Brassica rapa* leaves and their phytochemical composition. *Food Chemistry*, 2019, 276, pp. 312–318.

ISSN 3030-3907

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Варламова Людмила Петровна
Профессор Национального Университета Узбекистана, доктор технических наук,
E-mail: dimirel@gmail.com
Султанмурадов Бекзод
Студент направления «Прикладная математика» Национального Университета Узбекистана,
E-mail: sultonmurodovbexzad@gmail.com
Бобокулов Азизбек
Студент направления «Прикладная математика» Национального Университета Узбекистана,
E-mail: azizbekbobokulov77@gmail.com

Annotatsiya. Universitet kampuslarida atrof-muhit monitoringi uchun havo parametrlarini monitoring qilish stansiyalarini yaratish zarur. Tarqatilgan tizimni ishlab chiqish atrof-muhit parametrlarini monitoring qilish, tahlil qilish va prognoz qilish imkonini beradi. Loyihada obyektga yo‘naltirilgan dasturlash, robototexnika, veb-texnologiyalar, ma'lumotlar uzatish texnologiyalari va ma'lumotlar bazasini boshqarish qo‘llanildi. Bundan tashqari, monitoring tizimini ishlab chiqish jarayonida sun'iy intellekt yordamida ma'lumotlarni qayta ishlash va tahlil qilish algoritmlari ishlab chiqildi. Barcha havo parametrlarini monitoring qilish ma'lumotlari O‘zbekiston Milliy Universiteti platformasida (www.weather.nuu.uz) namoyish etiladi.

Kalit so‘zlar: Parametrlarni nazorat, atrof-muhit, dasturlash, ekologik holat, tizim.

Abstract. The creation of air parameter monitoring stations is necessary for environmental monitoring on university campuses. The development of a distributed system enables monitoring, analysis, and forecasting of environmental parameters. Object-oriented programming, robotics, web technologies, data transfer technologies, and database management were used in the project. Furthermore, algorithms for processing and analyzing data using artificial intelligence were developed during the development of the monitoring system. All air parameter monitoring data is displayed on the National University of Uzbekistan platform (www.weather.nuu.uz).

Keywords: Parameter control, environment, programming, ecological state, system.

Аннотация. Создание станций мониторинга параметров воздуха связано с необходимостью экологического мониторинга на территории университета.

Разработка распределенной системы позволяет контролировать, проводить анализ и прогноз состояния параметров окружающей среды. В работе использованы технологии объектно-ориентированного программирования, робототехники, Web-технологии, технологии передачи данных и работы с базами данных. Кроме того, в ходе разработки мониторинг системы были созданы алгоритмы обработки и анализа данных с помощью искусственного интеллекта. Все данные мониторинга параметров воздуха отображаются на платформе Национального Университета Узбекистана (www.weather.nuu.uz)

Ключевые слова: Контроль параметров, окружающая среда, программирование, экологическое состояние, система.

ВВЕДЕНИЕ.

В местах массового скопления людей необходимо проведение непрерывного мониторинга параметров воздуха или экологический мониторинг. Сейчас, когда уровень урбанизации превышает уровень развития сельских регионов, когда наблюдается загрязнение воздуха, ухудшение экологической обстановки в городах, необходимо иметь полную картину состояния окружающей среды. Ухудшение экологической обстановки в городе, и в студенческих городках, тем более, приводит к ухудшению состояния здоровья студентов и преподавателей. Одной из важнейших задач современной высшей школы является сохранение и укрепление здоровья студенческой молодежи, поэтому вопросы качества параметров окружающей среды выходят на один из первых планов [1].

В работе рассматривается мониторинг система контроля параметров окружающей среды таких, как температура, влажность и давление воздуха, а также наличие мелких частиц пыли, наличие вредных газов и CO_2 в том числе, причем в непрерывном режиме. Планируется построение системы, включающей несколько мини-станций мониторинга параметров воздуха распределенных по территории студенческого городка и университета в целом.

В настоящее время в Национальном Университете Узбекистана функционирует мониторинг станция параметров воздуха, которая осуществляет контроль в аудитории и на открытом воздухе в режиме реального времени. Цель данной работы заключается в обеспечении экологической безопасности посредством мониторинга окружающего воздуха. Параметры мониторинга окружающего воздуха отображаются на платформе Национального Университета Узбекистана www.weather.nuu.uz.

Мониторинг окружающего воздуха осуществляется с помощью датчиков и измерительных устройств, включает различные виды измерений

ISSN 3030-3907

и оценок, таких как: температура, влажность, атмосферное давление, наличие диоксида углерода CO_2 (углекислый газ), выхлопные газы, угарный газ, газовые смеси, спиртосодержащие аэрозоли и наличие частиц пыли, т.е. измерение концентраций загрязняющих веществ. По итогу измерений проводится оценка воздействия качества воздуха на здоровье студентов и преподавателей.

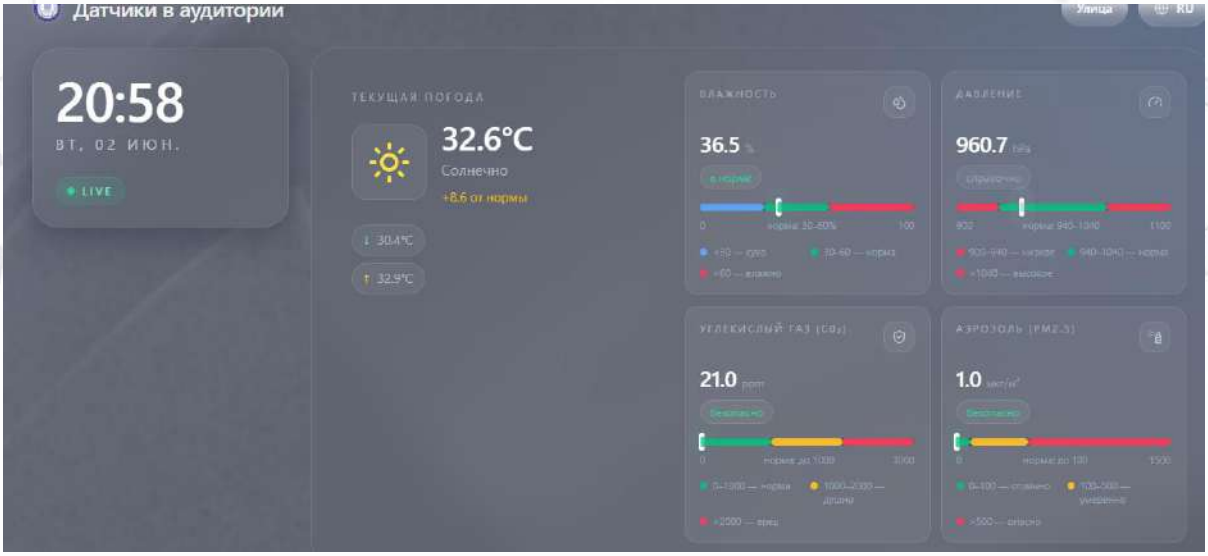


Рис.1. Фиксация параметров на сайте

Для сравнения параметров, установлены две аналогичные мониторинг станции в учебной аудитории и за ее пределами на открытом воздухе. Параметры окружающего воздуха контролируются непрерывно, фиксируются каждые 30 минут в течение суток (рис.1, 2).

В работающей системе мониторинга параметров воздуха работают блоки: наблюдения, оценки фактического состояния параметров воздуха, прогноза состояния и оценки прогнозируемого состояния. Данные указанных блоков или модулей поступают в модуль сравнения, работающего на основе алгоритма искусственного интеллекта.

Данный модуль, собирая все параметры состояния окружающего воздуха, проведя анализ, выдает результат в сравнении с условиями комфорта и ГОСТ РУз [2], исходя из математической модели микроклимата учебных помещений, которую можно записать как функцию, зависящую от ряда параметров, изменяющихся во времени

$$\dot{x}=f(T,\mu,\varsigma,K,C,V,\tau),$$

где Т-температура в помещении; μ - влажность воздуха; ς - чистота воздуха; К- свежесть воздуха; С- концентрация СО2; V-объем помещения; τ-время.

ISSN 3030-3907



Рис.2. Графическая зависимость параметров воздуха

Математическая модель микроклимата, рассматриваемая в литературе [3-5] имеет ряд особенностей. Например, рассматриваются математические модели помещений на основе тепломассообмена, но без учета чистоты и свежести воздуха. В нашей работе, мы рассматриваем все параметры микроклимата по отдельности и на основе полученных данных производится прогноз. Температура воздуха в помещении с относительной влажностью воздуха, при которых эффект теплоощущения и теплоотдачи будут одинаковыми. Полагая, что воздух неподвижен [6], применяется индекс эффективной температуры

$$ET = T - 0{,}4(T - 10)(1 - \mu 100)\ ,$$

где μ — среднесуточная относительная влажность воздуха, %; T — среднесуточная температура воздуха, °C. Чистота воздуха подразумевает, что воздух не должен содержать пыль, аллергены, летучие соединения, дым и биологические загрязнители. Загрязнённый воздух приводит к проблемам с дыханием, аллергическим проявлениям и другим негативным последствиям вплоть до онкологических заболеваний [7]. Свежесть воздуха и концентрация углекислого газа (CO_2) связаны между собой. Свежесть определяется количеством и соотношением кислорода и углекислого газа (CO_2) в воздухе. Именно этот показатель объективен при анализе микроклимата [7]. Данные показатели контролируются с помощью датчиков, при этом содержание углекислого газа не должно превышать 8000-10000 ppm.

Разрабатываемая система мониторинга параметров воздуха в университете строится на многоуровневой архитектуре. Первый уровень системы составляют датчики, на втором уровне осуществляется преобразование сигналов и отправка их на сервер с целью анализа и

ISSN 3030-3907

сопоставления с нормативными показателями [2]. На втором уровне расположены приборы мониторинга микроклимата, предназначенные для централизованного сбора, контроля, хранения и обработки информации, поступающей от датчиков. Для этой цели использован микропроцессор. Далее данные сохраняются в базах данных, расположенных на сервере университета. На третьем, верхнем уровне располагаются устройства, работа которых связана с отображением информации для контроля параметров [8-10]. При этом для непрерывной работы системы использованы технологии объектно-ориентированного и Web программирования, технологии беспроводной передачи данных и управления базами данных, а завершает весь цикл работы системы модуль системы, работающий на основе искусственного интеллекта. Таким образом, на Web-сайте отображается информация на основе анализа и прогноза данных.

Для создания распределенной системы мониторинга планируется установка нескольких мини-станций на территории университета с целью получения полной картины экологической обстановки на площади почти 50 гектаров.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Исаев А. А. Экологическая климатология. — М.: Научный мир, 2001, 458 с.
2. СанПиН РУз N 0324-16. Утверждены Главным государственным санитарным врачом 01.02.2016 г.
3. Арутюнов В.А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей / В.А. Арутюнов, В.В. Бухмиров, С.А. Крупенников. – М.: Металлургия, 1990. – 239 с.
4. Табунщиков Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: АВОК–ПРЕСС, 2002. – 194 с.
5. Бухмиров В.В. Справочные материалы для решения задач по курсу «Тепломассообмен» / В.В. Бухмиров [и др.]. – Иваново, ИГЭУ, 2009. – 104 с.
6. Исаев А. А. Экологическая климатология. — М.: Научный мир, 2001, 458 с.
7. Устинов В. Микроклимат и качество воздуха в офисных зданиях. Сравнение норм России и ЕС // АВОК. 2015. № 3. URL: http://zvt.abok.ru/upload/pdf_articles/197.pdf
8. Варламова Л.П., Рахимова М.М. Анализ существующих систем управления микроклиматом. //Proceedings of the 14th International Scientific

ISSN 3030-3907

and Practical Conference “International forum: Problems and scientific solutions”. Melbourne, Australia,16-18.01.2025.#213. –pp.276-280.
9. Varlamova L.P., Rahimova M.M. Analysis of existing models for microclimate management. Journal of advanced Scientific Research (ISSN: 0976-9595). 2025. Vol. 5. Issue 1. –pp. 44-46.
10. Varlamova L.P & Rakhimova M.M The monograph: Development of a Mathematical Model of Microclimate Control and Management in Educational Buildings// “ZUXRO BARAKA BIZNES” publisher Tashkent-2025 pp 148. ISBN: 978-9910-580-69-7

UMUMIY O‘RTA MAKTAB O‘QUVCHILARINING INDIVIDUAL O‘RGANISH XUSUSIYATLARIGA MOS RAQAMLI TA’LIM RESURSLARIDAN FOYDALANISHNING METODIK ASOSLARI

Farxod Irisqulov
Xalqaro Nordik universiteti, Ilmiy va innovatsion tadqiqotlar departamenti boshlig‘i
E-mail: f.irisqulov@nordicuniversity.org ,
ORCID ID: 0000-0002-5475-5236
Nazokat Xalilova
Xalqaro Nordik universiteti, Pedagogika kafedrasi magistranti
E-mail: n.xalilova@nordicuniversity.org
ORCID ID: 0009-0007-1952-7880

Annotatsiya. Mazkur maqolada umumiy o‘rta maktab o‘quvchilarining individual o‘rganish xususiyatlarini aniqlash hamda ularga mos raqamli ta’lim resurslaridan foydalanish texnologiyalari yoritilgan. Tadqiqot davomida VARK modeli asosida o‘quvchilarni differensial guruhlarga ajratish mezonlari ishlab chiqildi hamda ushbu xususiyatlarga mos raqamli ta’lim resurslarini tanlashga qaratilgan metodik yondashuv taklif etildi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, o‘quvchilarning shaxsiy o‘zlashtirish xususiyatlarini inobatga olgan holda tashkil etilgan ta’lim jarayoni ularning bilimni o‘zlashtirish darajasini oshirish, o‘quv motivatsiyasini kuchaytirish va mustaqil ta’lim ko‘nikmalarini rivojlantirishga xizmat qiladi. Maqolada shuningdek, ta’lim jarayonida raqamli texnologiyalardan samarali foydalanish bo‘yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqilgan.

Kalit so‘zlar: individual o‘rganish xususiyatlari, raqamli ta’lim resurslari, o‘qitish uslublari, vizual o‘rganish, audial o‘rganish, interaktiv ta’lim, ta’limni individuallashtirish, LMS platformalar, VARK modeli.

Аннотация. В данной статье рассматриваются методы выявления индивидуальных особенностей обучения учащихся общеобразовательных школ и технологии использования цифровых образовательных ресурсов, соответствующих этим особенностям. В ходе исследования на основе модели VARK были разработаны критерии распределения учащихся на дифференцированные группы, а также предложен методический подход к подбору цифровых образовательных ресурсов с учетом данных характеристик. Результаты исследования показали, что организация образовательного процесса с учетом индивидуальных особенностей усвоения знаний способствует повышению уровня образовательных достижений учащихся, усилению учебной мотивации и развитию навыков самостоятельного обучения. Также в статье представлены практические

ISSN 3030-3907

рекомендации по эффективному использованию цифровых технологий в образовательном процессе.

Ключевые слова: индивидуальные особенности обучения, цифровые образовательные ресурсы, стили обучения, визуальное обучение, аудиальное обучение, интерактивное обучение, индивидуализация образования, LMS-платформы, модель VARK.

Abstract. This article examines methods for identifying individual learning characteristics of general secondary school students and the technologies for using digital educational resources tailored to these characteristics. During the study, criteria for classifying students into differentiated groups based on the VARK model were developed, and a methodological approach for selecting appropriate digital educational resources according to these characteristics was proposed. The results of the study indicate that an educational process organized with consideration of students' individual learning preferences enhances their academic achievement, strengthens learning motivation, and fosters independent learning skills. The article also provides practical recommendations for the effective use of digital technologies in the educational process.

Keywords: individual learning characteristics, digital educational resources, learning styles, visual learning, auditory learning, interactive learning, individualization of education, LMS platforms, VARK model.

KIRISH.

Hozirgi davrda ta'lim tizimini modernizatsiya qilish va uning sifatini oshirish davlat siyosatining ustuvor yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining jadal rivojlanishi ta'lim jarayonini tashkil etishda yangi pedagogik yondashuvlarni qo'llashni talab qilmoqda. Umumiy o'rta ta'lim tizimida o'quvchilarning shaxsiy o'zlashtirish xususiyatlarini inobatga olgan holda ta'lim jarayonini tashkil etish muhim pedagogik vazifalardan biridir. Bu jarayonda raqamli ta'lim resurslaridan foydalanish o'quvchilarning bilimni o'zlashtirish darajasini oshirish, ularning o'quv motivatsiyasini kuchaytirish hamda mustaqil ta'lim ko'nikmalarini rivojlantirishga xizmat qiladi.

MAVZUNING DOLZARBLIGI. O'zbekiston Respublikasida maktab ta'limini rivojlantirish va ta'lim sifatini oshirishga qaratilgan qator normativ-huquqiy hujjatlar qabul qilingan. Jumladan, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 29-apreldagi PF-5712-sonli "O'zbekiston Respublikasi xalq ta'limi tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasi to'g'risida"gi farmonida umumiy o'rta ta'lim tizimini modernizatsiya qilish, ta'lim sifatini oshirish, zamonaviy pedagogik texnologiyalarni joriy etish hamda o'quvchilarning kompetensiyalarini rivojlantirish ustuvor vazifalar sifatida belgilangan [1]. Mazkur konsepsiyada ta'lim jarayoniga axborot-kommunikatsiya

ISSN 3030-3907

texnologiyalarini keng joriy etish orqali o‘quvchilarning bilim olish imkoniyatlarini kengaytirish muhim yo‘nalishlardan biri sifatida ko‘rsatilgan.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 6-noyabrdagi PF-6108-sonli “Ta’lim-tarbiya va ilm-fan sohalarini rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi farmonida ta’lim tizimini modernizatsiya qilish, o‘qitish metodlarini takomillashtirish hamda innovatsion texnologiyalarni ta’lim jarayoniga keng joriy etish zarurligi ta’kidlangan. Ushbu hujjatda ta’lim jarayonida zamonaviy pedagogik texnologiyalar va raqamli vositalardan samarali foydalanish orqali o‘quvchilarning bilim darajasini oshirish muhim vazifa sifatida belgilangan [2].

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 11-maydagi PF-134-sonli “2022–2026-yillarda maktab ta’limini rivojlantirish bo‘yicha Milliy dastur to‘g‘risida”gi farmonida umumiy o‘rta ta’lim tizimini modernizatsiya qilish, ta’lim jarayoniga zamonaviy o‘qitish metodlarini joriy etish hamda o‘quvchilarning raqamli savodxonligini rivojlantirish ustuvor yo‘nalishlar sifatida belgilangan. Mazkur hujjatda maktab ta’limi jarayonida raqamli texnologiyalar va innovatsion o‘qitish metodlaridan foydalanish orqali ta’lim sifatini oshirish vazifalari nazarda tutilgan [3].

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining PQ-4884-sonli “Ta’lim-tarbiya tizimini yanada takomillashtirishga oid qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi qarorida ta’lim sifatini oshirish, pedagoglarning metodik faoliyatini rivojlantirish hamda zamonaviy ta’lim texnologiyalarini o‘quv jarayoniga joriy etish bo‘yicha muhim vazifalar belgilangan [4].

Mazkur normativ-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalar umumiy o‘rta ta’lim tizimida ta’lim jarayonini zamonaviy pedagogik texnologiyalar asosida tashkil etishni taqozo etadi. Raqamli ta’lim resurslaridan foydalanish o‘quv jarayonini samarali tashkil etish, o‘quvchilarning bilimni o‘zlashtirish darajasini oshirish hamda ta’lim jarayonini individuallashtirish imkonini beradi. O‘quvchilarning o‘qitish uslublarini hisobga olgan holda tanlangan raqamli ta’lim vositalari ta’lim jarayonining samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

ADABIYOTLAR TAHLILI. Mahalliy olimlar tomonidan olib borilgan tadqiqotlar ham ushbu yo‘nalishda muhim ahamiyatga ega. N. Muslimov pedagogik texnologiyalarni ta’lim jarayoniga joriy etish orqali o‘quvchilarning kasbiy va shaxsiy kompetensiyalarini rivojlantirish mumkinligini asoslaydi [5]. A. Abduqodirov multimedia texnologiyalarining didaktik imkoniyatlarini yoritib, ularning o‘quv materialini samarali o‘zlashtirishdagi rolini ko‘rsatadi [6]. R. Ishmuhamedov esa innovatsion pedagogik yondashuvlar orqali ta’lim samaradorligini oshirish mumkinligini ta’kidlaydi [7].

Mahalliy tadqiqotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, asosan pedagogik

ISSN 3030-3907

texnologiyalar va multimedia vositalariga e’tibor qaratilgan bo‘lib, o‘qitish uslublariga moslashtirilgan raqamli resurslar masalasi yetarli darajada yoritilmagan.

Xorijiy ilmiy tadqiqotlarda o‘qitish uslublari va raqamli ta’lim masalalari keng o‘rganilgan. D. Kolb o‘rganish jarayonini tajriba asosida tushuntirib, har bir o‘quvchining o‘ziga xos o‘rganish uslubi mavjudligini asoslab bergan [8].

Fleming va Mills tomonidan ishlab chiqilgan VARK modeli o‘quvchilarni axborotni qabul qilishdagi ustuvor kanalga qarab to‘rt guruhga ajratadi:

Vizual (V) — grafik, diagramma, video va vizual tasvirlar orqali;

Auditory (A) — og‘zaki tushuntirish, muhokama va tinglab o‘rganish orqali;

Read/Write (R) — matnli materiallar, konspekt va yozma topshiriqlar orqali;

Kinestetik (K) — amaliy tajriba, namoyish va interaktiv faoliyat orqali [9, 16].

Ushbu model 30 yildan ortiq pedagogik diagnostika amaliyotida keng qo‘llanilib, turli yosh guruhlari va fan sohalari bo‘yicha ko‘plab tadqiqotlarga asos bo‘lgan [14, 15]

N. Fleming esa o‘qitish uslublarini vizual, audial, o‘qish-yozish va kinestetik turlarga ajratgan [9].

R. Mayer tomonidan ishlab chiqilgan multimedia ta’lim nazariyasi raqamli resurslarni samarali tashkil etishda muhim ahamiyatga ega bo‘lib, unda vizual va audial axborotni uyg‘un holda berish o‘quvchilarning tushunishini yaxshilashi ko‘rsatib berilgan [10].

Alrawashdeh va boshqa olimlar tomonidan 120 dan ortiq tadqiqotni qamrab olgan global meta-tahlil shaxsiylashtrilgan va moslashtirilgan ta’lim texnologiyalari o‘quvchilarning o‘quv samaradorligiga o‘rtacha ijobiy ta’sir ko‘rsatishini (d=0,42) aniqladi. Biroq bu ta’sir kontekst, o‘qituvchi kompetensiyasi va dastur sifatiga bog‘liq katta farqlanishni ham ko‘rsatdi [11]. Siemensning konnektivizm nazariyasi raqamli muhitda o‘rganishni tarmoqlar va ma’lumot oqimlari bilan o‘zaro bog‘liqlik sifatida talqin etib, individual o‘rganish yo‘llarini qo‘llab-quvvatlashning zamonaviy asosini belgilaydi [12].

Shu bilan birga, ayrim tadqiqotlarda o‘qitish uslublariga moslashtirish har doim ham yuqori natija bermasligi, bu jarayon boshqa omillar bilan bog‘liq ekanligi ham qayd etilgan [13].

Solishtirma tahlil: Mahalliy va xorijiy tadqiqotlarni solishtirish shuni ko‘rsatadiki, ular o‘rtasida muayyan farqlar mavjud. Xorijiy ilmiy ishlar asosan nazariy asoslar va empirik tadqiqot natijalariga tayanadi hamda o‘qitish jarayonini individuallashtirishga qaratilgan yondashuvlarni chuqur tahlil qiladi. Bunday

ISSN 3030-3907

tadqiqotlarda raqamli texnologiyalar nafaqat qo‘shimcha vosita, balki ta’lim jarayonining muhim tarkibiy qismi sifatida qaraladi.

Mahalliy tadqiqotlarda esa ko‘proq pedagogik texnologiyalarni amaliyotga joriy etish masalalariga e’tibor qaratilgan. Raqamli ta’lim resurslaridan foydalanish imkoniyatlari yoritilgan bo‘lsa-da, ularni o‘quvchilarning individual o‘rganish xususiyatlari bilan bog‘lab qo‘llash masalasi yetarli darajada ochib berilmagan. Bu holat xorijiy tajriba bilan solishtirganda, ushbu yo‘nalishda tizimli yondashuvni yanada rivojlantirish zarurligini ko‘rsatadi.

Yuqoridagi fikrlar asosida aytish mumkinki, o‘qitish uslublari yetarlicha o‘rganilgan bo‘lib, ular o‘quvchilarning bilimni qanday qabul qilishi va o‘zlashtirishidagi farqlarni tushuntirishga yordam beradi. Raqamli ta’lim resurslari ham hozirgi ta’lim jarayonida keng qo‘llanilmoqda va ularning imkoniyatlari alohida yo‘nalish sifatida o‘rganilgan.

Lekin bu ikki yo‘nalish ko‘pincha bir-biridan alohida ko‘rib chiqilgan. Ularni birgalikda qo‘llash, ya’ni o‘quvchining o‘ziga xos xususiyatlariga mos raqamli resurslardan foydalanish masalasi yetarli darajada ishlab chiqilmagan. Ayniqsa, umumiy o‘rta ta’limda bu jarayonni qanday tashkil etish bo‘yicha aniq yondashuvlar yetishmaydi.

Tahlil davomida quyidagi muammolar yaqqol ko‘rinadi:

- o‘quvchilarning o‘qitish uslublarini aniqlash usullari yetarlicha tizimlashtirilmagan;
- ularga mos raqamli resurslarni tanlash mezonlari aniq emas;
- bu resurslarni dars jarayoniga samarali kiritish bo‘yicha aniq usullar yetarli emas;
- natijadorlikni baholash va kuzatish tizimi to‘liq shakllanmagan.

Shu sababli, o‘qitish uslublariga mos raqamli ta’lim resurslaridan foydalanishning aniq va tizimli yondashuvini ishlab chiqish zarur. Ushbu tadqiqot aynan shu masalaga qaratilgan bo‘lib, unda o‘quvchilarning shaxsiy o‘zlashtirish xususiyatlarini inobatga olgan holda raqamli resurslardan foydalanish yo‘llari ishlab chiqiladi.

METODOLOGIYA. Mazkur tadqiqot umumiy o‘rta maktab o‘quvchilarining individual o‘rganish xususiyatlarini aniqlash hamda ularga mos raqamli ta’lim resurslaridan foydalanish texnologiyalarini ishlab chiqishga qaratilgan. Tadqiqot tavsifiy-amaliy yo‘nalishda tashkil etildi.

Tadqiqotda o‘quvchilarning o‘rganish uslublarini aniqlash uchun VARK (Visual, Auditory, Read/Write, Kinesthetic) modeli asosida ishlab chiqilgan so‘rovnoma qo‘llanildi [9, 16]. So‘rovnoma 16 ta savoldan iborat bo‘lib, har bir savol o‘quvchilarning axborotni qabul qilishdagi ustuvor uslubini aniqlashga qaratilgan. So‘rovnoma VARK modeli asosida ishlab chiqilgan bo‘lib, pedagogik

ISSN 3030-3907

tadqiqotlarda keng qo‘llaniladigan ishonchli diagnostik vositalardan biri hisoblanadi.

Tadqiqotda 9-sinf informatika fanini o‘zlashtirayotgan 46 nafar o‘quvchi ishtirok etdi (n=46). Tanlanma maqsadli tanlash usuli asosida shakllantirildi. So‘rovnoma natijalari tahlili quyidagi taqsimotni ko‘rsatdi:

1-jadval.

O‘rganish uslublari taqsimoti (VARK modeli asosida)

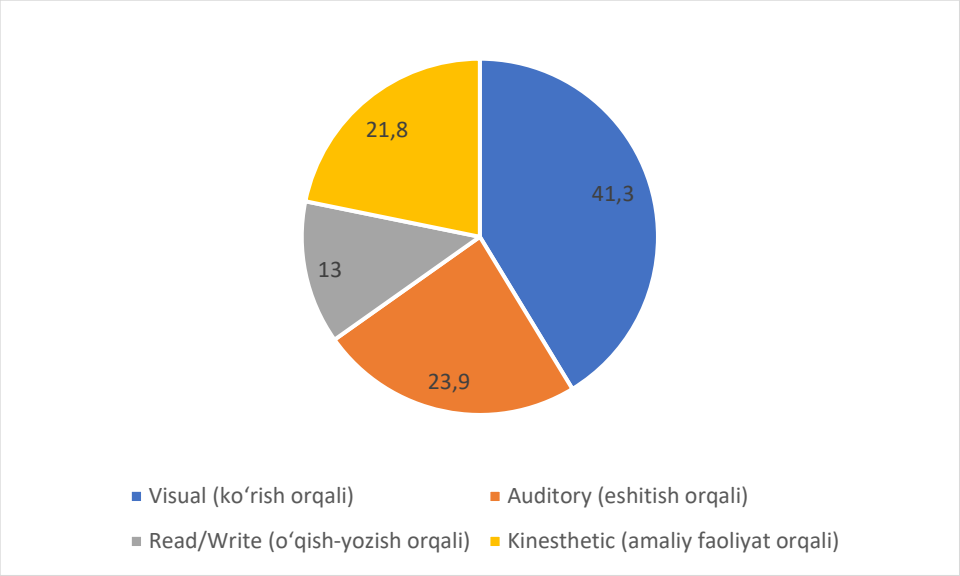
O‘rganish uslubi	O‘quvchilar soni	Foiz (%)
Visual (ko‘rish orqali)	19	41,3
Auditory (eshitish orqali)	11	23,9
Read/Write (o‘qish-yozish orqali)	6	13,0
Kinesthetic (amaliy faoliyat orqali)	10	21,8
Jami	**46**	**100**

Natijalar shuni ko‘rsatdiki, o‘quvchilarning asosiy qismi vizual va kinestetik o‘rganish uslublariga moyil hisoblanadi. Bu esa informatika fanini o‘qitishda ko‘proq video materiallar, grafik elementlar hamda interaktiv topshiriqlardan foydalanish zarurligini ko‘rsatadi.

Shuningdek, audial o‘rganish uslubi o‘rtacha darajada uchrashi sababli audio tushuntirishlar ham muhim ahamiyat kasb etadi. O‘qish/yozish uslubi esa kamroq kuzatilgan bo‘lsa-da, ayrim o‘quvchilar uchun matnli resurslar zarur hisoblanadi.

Mazkur natijalarga asoslanib, o‘quvchilarning individual xususiyatlariga mos raqamli ta’lim resurslarini tanlash bo‘yicha metodik yondashuv ishlab chiqildi.

ISSN 3030-3907



Natijalar statistik jihatdan umumlashtirilib, foizli tahlil (percentage analysis) usulida qayta ishlangan.

TADQIQOT NATIJALARI. Tadqiqot doirasida umumiy o‘rta maktab o‘quvchilarining individual o‘rganish xususiyatlarini aniqlash hamda ularga mos raqamli ta’lim resurslarini tanlashga qaratilgan metodik yondashuv ishlab chiqildi. Ishlab chiqilgan yondashuv asosida o‘quvchilarning axborotni qabul qilish xususiyatlari ustuvor mezon sifatida olindi va ular shartli ravishda vizual, audial, read/write hamda kinesthetic guruhlarga ajratildi.

Tahlil natijalari o‘quvchilarning o‘rganish xususiyatlari turlicha ekanligini ko‘rsatdi. Xususan, respondentlarning muhim qismi axborotni vizual tarzda qabul qilishga moyil bo‘lib, bu holat dars jarayonida grafik va video asosidagi materiallardan foydalanish samaraliroq ekanligini tasdiqlaydi. Shu bilan birga, audial o‘quvchilar uchun og‘zaki tushuntirish va audio materiallar muhim ahamiyat kasb etsa, kinestetik o‘quvchilar faol ishtirok etish, bajarish va amaliy topshiriqlar orqali bilimni samaraliroq o‘zlashtirishi aniqlandi. Mazkur natijalar ta’lim jarayonini o‘quvchilarning individual o‘rganish xususiyatlariga mos ravishda tashkil etish zarurligini asoslaydi.

1-jadvalda aniqlangan o‘quvchilarning o‘rganish xususiyatlari asosida ularga mos raqamli ta’lim resurslari tanlab olindi va 2-jadvalda tizimlashtirildi.

2-jadval.

O‘quvchilarning individual xususiyatlariga mos raqamli ta’lim resurslari.

O‘quvchi turi	Tavsiya etilgan raqamli resurslar	Qo‘llash shakllari	Misollar
Visual (ko‘rish orqali)	Video darslar, infografika, animatsiyalar, mental xaritalar, slaydlar	Ko‘rgazmali tushuntirish, diagrammalar,	YouTube, Khan Academy, Canva,

ISSN 3030-3907

		vizual taqdimot, sxemalar	Nearpod, Pear Deck, Prezi
Auditory (eshitish orqali)	Podkastlar, audio leksiyalar, ovozli tushuntirishlar, muhokama yozuvlari	Og‘zaki savol-javob, guruh muhokamasi, tinglab o‘rganish, baland ovozda takrorlash	Audacity, VoiceThread, Screencast-O-Matic, Spotify Podcasts
Read/Write (o‘qish-yozish orqali)	Elektron darsliklar, maqolalar, annotatsiyalar, konspekt platformalar, testlar	Mustaqil o‘qish, yozma topshiriqlar, tezis tuzish, qayta yozib chiqish	Google Docs, Notion, Quizlet, ReadWorks, Google Forms
Kinesthetic (amaliy faoliyat orqali)	Interaktiv testlar, simulyatsiyalar, amaliy loyihalar, o‘yinli vazifalar, rolli topshiriqlar	Mustaqil sinash, muammo hal qilish, laboratoriya ishi, xato qilib o‘rganish	Quizizz, Wordwall, PhET Simulations, Scratch, GeoGebra, Code.org

Mazkur model asosida tashkil etilgan ta’lim jarayoni o‘quvchilarning darsdagi faolligini oshirish, o‘quv materialini chuqurroq o‘zlashtirish hamda mustaqil ishlash ko‘nikmalarini rivojlantirishga xizmat qilishi aniqlanadi. An’anaviy yondashuvda barcha o‘quvchilarga bir xil metod va vositalar qo‘llanilishi natijasida ayrim o‘quvchilarning imkoniyatlari to‘liq namoyon bo‘lmay qoladi. Taklif etilgan yondashuv esa har bir o‘quvchining individual xususiyatlarini inobatga olish orqali ushbu muammoni bartaraf etishga xizmat qiladi.

Shuningdek, raqamli ta’lim resurslaridan maqsadli foydalanish o‘quvchilarning o‘quv motivatsiyasini oshirishi, ularning dars jarayoniga qiziqishini kuchaytirishi va faol ishtirokini ta’minlashi mumkinligi asoslandi. Ayniqsa, interaktiv va multimedia vositalardan foydalanish o‘quvchilarning bilimni mustahkamlash jarayonida muhim ahamiyat kasb etadi.

Natijalar shuni ko‘rsatadiki, o‘quvchilarning individual o‘rganish xususiyatlariga mos ravishda tanlangan raqamli ta’lim resurslari ta’lim jarayonining samaradorligini oshirishda muhim omil hisoblanadi. Ushbu yondashuvni umumiy o‘rta ta’lim tizimida keng joriy etish o‘quvchilarning bilim sifatini oshirish bilan birga, ularning mustaqil ta’lim olish kompetensiyalarini

ISSN 3030-3907

rivojlantirishga xizmat qiladi.

MUHOKAMA. Olib borilgan tahlillar shuni ko‘rsatadiki, o‘quvchilarning individual o‘rganish xususiyatlarini hisobga olish ta’lim jarayonini samarali tashkil etishda muhim omillardan biri hisoblanadi. Tadqiqot natijalari o‘quvchilarning axborotni qabul qilish uslublari bir-biridan sezilarli darajada farq qilishini va bu holat ta’lim jarayonida yagona yondashuvdan foydalanishning samaradorligini cheklashini tasdiqlaydi.

Adabiyotlar tahlilida qayd etilganidek, xorijiy tadqiqotlarda o‘qitish uslublari va moslashtirilgan ta’lim texnologiyalariga katta e’tibor qaratilgan. Mazkur tadqiqot natijalari ham shu fikrlarni qo‘llab-quvvatlaydi va o‘quvchilarning individual xususiyatlariga mos raqamli ta’lim resurslaridan foydalanish ularning o‘quv faoliyatiga ijobiy ta’sir ko‘rsatishini asoslaydi. Ayniqsa, multimedia va interaktiv vositalarning qo‘llanilishi o‘quvchilarning qiziqishini oshirish hamda bilimni yaxshiroq o‘zlashtirishga yordam beradi.

Shu bilan birga, ayrim tadqiqotlarda o‘qitish uslublariga moslashtirish har doim ham yuqori natija bermasligi qayd etilgan bo‘lsa-da, mazkur tadqiqotda bu jarayonni raqamli ta’lim resurslari bilan uyg‘unlashtirish orqali uning samaradorligini oshirish mumkinligi ko‘rsatildi. Ya’ni, individual xususiyatlarni aniqlashning o‘zi yetarli emas, balki unga mos pedagogik va texnologik vositalarni to‘g‘ri tanlash muhim ahamiyatga ega.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, o‘quvchilarning individual o‘rganish xususiyatlariga asoslangan yondashuv ta’lim jarayonini individuallashtirish, o‘quvchilarning faolligini oshirish va ularning mustaqil ishlash ko‘nikmalarini rivojlantirishga xizmat qiladi. Bu esa zamonaviy ta’lim tizimi oldida turgan asosiy vazifalardan biri hisoblanadi.

XULOSA VA TAVSIYALAR. Mazkur tadqiqotda umumiy o‘rta maktab o‘quvchilarining individual o‘rganish xususiyatlarini aniqlash hamda ularga mos raqamli ta’lim resurslaridan foydalanish texnologiyalari ishlab chiqildi. Tadqiqot jarayonida o‘quvchilarning o‘rganish uslublarini aniqlashda VARK modeli asosida diagnostika o‘tkazildi va ularning vizual, audial, o‘qish/yozish hamda kinestetik guruhlarga mansubligi belgilandi. Shu asosda mos raqamli ta’lim resurslarini tanlashga qaratilgan metodik yondashuv taklif etildi.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, o‘quvchilarning shaxsiy o‘zlashtirish xususiyatlarini inobatga olgan holda tashkil etilgan ta’lim jarayoni ularning bilimni o‘zlashtirish darajasini oshirish, dars jarayonidagi faolligini kuchaytirish hamda mustaqil ta’lim olish ko‘nikmalarini rivojlantirishga xizmat qiladi. Ayniqsa, VARK modeli asosida aniqlangan o‘rganish uslublariga mos raqamli resurslardan foydalanish ta’lim samaradorligini oshirishda muhim omil sifatida namoyon bo‘ldi. Shu jihatdan, ta’lim jarayonini individuallashtirish zamonaviy

ISSN 3030-3907

pedagogikaning muhim yo‘nalishlaridan biri sifatida baholanadi.

Amaliy jihatdan quyidagilar tavsiya etiladi:

- o‘quvchilarning individual o‘rganish xususiyatlarini aniqlashda VARK modeli asosida ishlab chiqilgan diagnostik vositalardan tizimli foydalanish;
- aniqlangan o‘rganish uslublariga mos ravishda raqamli ta’lim resurslarini (video, audio, matnli va interaktiv materiallar) tanlash;
- dars jarayonida video, audio va interaktiv topshiriqlardan kompleks foydalanish orqali turli tipdagi o‘quvchilarni qamrab olish;
- LMS platformalar orqali o‘quvchilarning o‘quv faoliyatini monitoring qilish va individual yondashuvni ta’minlash;
- o‘qituvchilarning raqamli ta’lim resurslaridan foydalanish bo‘yicha metodik kompetensiyasini rivojlantirish.

Mazkur metodik yondashuvni ta’lim amaliyotida qo‘llash orqali uning samaradorligini yanada kengroq auditoriyada tekshirish va chuqurroq statistik tahlil asosida takomillashtirish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti. (2019, 29-aprel). *O‘zbekiston Respublikasi xalq ta’limi tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasi to‘g‘risida* (PF-5712-son Farmon). https://lex.uz
2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti. (2020, 6-noyabr). *Ta’lim-tarbiya va ilm-fan sohalarini rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida* (PF-6108-son Farmon). https://lex.uz
3. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti. (2022, 11-may). *2022–2026-yillarda maktab ta’limini rivojlantirish bo‘yicha milliy dastur* (PF-134-son Farmon). https://lex.uz/docs/6008663
4. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti. (2020). *Ta’lim-tarbiya tizimini yanada takomillashtirishga oid qo‘shimcha chora-tadbirlar* (PQ-4884-son Qaror). https://lex.uz
5. Muslimov, N. A. (2012). *Kasbiy ta’lim metodikasi*. Toshkent.
6. Abduqodirov, A. A. (2017). *Pedagogik texnologiyalar*. Toshkent.
7. Ishmuhamedov, R. J. (2018). *Innovatsion pedagogika*. Toshkent.
8. Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice Hall.
9. Fleming N.D., Mills C. Not another inventory, rather a catalyst for reflection // To Improve the Academy. — 1992. — T. 11. — B. 137–155.
10. Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge University Press.
11. Alrawashdeh, G. S., Fyffe, S., Azevedo, R. F. L., & Castillo, N. M. (2024). Exploring the impact of personalized and adaptive learning technologies on

ISSN 3030-3907

reading literacy: A global meta-analysis. *Educational Research Review, 42*, 100587. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2023.100587

12. Siemens, G. (2005). Connectivism: A learning theory for the digital age. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning, 2*(1), 3–10.

13. Pashler, H., McDaniel, M., Rohrer, D., & Bjork, R. (2008). Learning styles: Concepts and evidence. *Psychological Science in the Public Interest, 9*(3), 105–119. https://doi.org/10.1111/j.1539-6053.2009.01038.x

14. Hawk T.F., Shah A.J. Using learning style instruments to enhance student learning // Decision Sciences Journal of Innovative Education. — 2007. — T. 5(1). — B. 1–19.

15. Leite W.L., Svinicki M., Shi Y. Attempted validation of the scores of the VARK: Learning styles inventory // Educational and Psychological Measurement. — 2010. — T. 70(2). — B. 323–339.

16. Fleming, N. D. (2012). Teaching and learning styles: VARK strategies. Retrieved from https://vark-learn.com.

ISSN 3030-3907

ELEKTR TARMOQLARIDA REAKTIV QUVVATNI KOMPENSATSIYA QILISH USULLARI VA QURILMALARI

Y.K.Xamidov
Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti
B.B.Abdulazizov
Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti
B.A. Xushboqov
Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti
K.F. Abdirasulov
Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti

Annotatsiya. Ushbu maqolada elektr tarmoqlarida reaktiv quvvatning hosil bo‘lish tabiati, uning texnik-iqtisodiy oqibatlari va kompensatsiya qilishning zamonaviy usullari ko‘rib chiqiladi. Statik kondensator batareyalari, sinxron kompensatorlar, thyristorli boshqariladigan reaktorlar va statik var-kompensatorlar tahlil qilinadi. Kompensatsiya qurilmalarini joylashtirish va quvvat tanlashning optimal usullari bayon etiladi. Tadqiqot natijalari elektr tarmoqlarida kuchlanish sifatini yaxshilash va energiya yo‘qotishlarini kamaytirishga yo‘naltirilgan amaliy tavsiyalar bilan yakunlanadi.

Kalit so‘zlar: reaktiv quvvat, kompensatsiya, kondensator batareyasi, sinxron kompensator, statik var-kompensator (SVC), thyristor boshqariladigan reaktor, cosφ, quvvat koeffitsienti, elektr tarmoq.

Аннотация. В данной статье рассматриваются природа возникновения реактивной мощности в электрических сетях, её технико-экономические последствия и современные методы компенсации. Проводится анализ статических конденсаторных батарей, синхронных компенсаторов, тиристорно-управляемых реакторов и статических вар-компенсаторов. Излагаются оптимальные методы размещения компенсирующих устройств и выбора их мощности. Результаты исследования завершаются практическими рекомендациями, направленными на улучшение качества напряжения и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях.

Ключевые слова: реактивная мощность, компенсация, конденсаторная батарея, синхронный компенсатор, статический вар-компенсатор (SVC), тиристорно-управляемый реактор, cosφ, коэффициент мощности, электрическая сеть.

Abstract. This article examines the nature of reactive power generation in electrical networks, its technical and economic consequences, and modern methods of compensation. Static capacitor banks, synchronous compensators, thyristor-controlled reactors, and static var compensators are analyzed. Optimal methods for placing compensation devices and selecting their power ratings are

presented. The research findings conclude with practical recommendations aimed at improving voltage quality and reducing energy losses in electrical networks.

Keywords: reactive power, compensation, capacitor bank, synchronous compensator, static var compensator (SVC), thyristor-controlled reactor, cosφ, power factor, electrical network.

KIRISH.

Hozirgi kunda sanoat va maishiy ehtiyojlar uchun iste'mol qilinadigan elektr energiyasining tobora o'sib borishi fonida elektr tarmoqlarida energiya sifatini ta'minlash dolzarb masalaga aylanmoqda. Elektr yuklamalarni tarkibida induktiv xarakterga ega bo'lgan asinxron elektr dvigatellari, transformatorlar, elektr yoy pechlar va boshqa sanoat qurilmalari katta ulushni egallaydi. Bu qurilmalar ish vaqtida faqat aktiv quvvat emas, balki reaktiv quvvat ham iste'mol qiladi.

Reaktiv quvvat iste'moliga nisbatan elektr stansiyalaridan yirik iste'molchilarga uzatiladigan umumiy tok ortadi, bu esa tarmoq elementlari (kabellar, transformatorlar, kommutatsiya apparatlari) kesimlarini oshirishni talab qiladi, aktiv quvvat yo'qotishlarni ko'paytiradi hamda kuchlanish darajasini pasaytiradi. Shu sababdan reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish elektr energiyasini tejaydigan va tarmoq sifatini oshiradigan muhim muhandislik yechim hisoblanadi [1, 2].

Ushbu maqolaning maqsadi - reaktiv quvvatni kompensatsiya qilishning nazariy asoslarini bayon etish, mavjud kompensatsiya qurilmalari va usullarini qiyosiy tahlil qilish, hamda ularni amaliyotga tatbiq etish bo'yicha ilmiy-texnik ko'rsatmalar berish.

O'zgaruvchan tok zanjirlarida to'liq quvvat S, aktiv quvvat P va reaktiv quvvat Q o'rtasida quyidagi bog'liqlik mavjud:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}\ \text{[VA]}\ ;\ Q = P \cdot tg\varphi\ \text{[VAr]}$$

Bu yerda φ - tok va kuchlanish o'rtasidagi faza farqi. Induktiv yuklar uchun tok kuchlanishdan orqada qoladi (φ > 0), shuning uchun ular manba tariqasida qaralganda induktiv reaktiv quvvat iste'mol qiladi (Q > 0). Kondensatorlar esa reaktiv quvvat generatsiya qiladi (Q < 0), ya'ni ularni manbalar bilan qoplash imkoniyati mavjud [3].

Kompensatsiya qilinmagan reaktiv quvvatning asosiy texnik-iqtisodiy oqibatlari quyidagilardan iborat:

- Kuchlanish pasayishi: uzun tarmoq liniyalarida reaktiv quvvat oqimi kuchlanish tushishiga olib keladi, bu esa iste'molchi qurilmalarining ish sifatini yomonlashtiradi.

ISSN 3030-3907

- Generatsiya va uzatish quvvatining kamayishi: elektr stansiyalari va transformatorlarning generatsiya quvvati reaktiv yuklar bilan band bo‘ladi, aktiv quvvat uzatish imkoniyati qisqaradi.

- Iqtisodiy yo‘qotishlar: tarmoq elementlarining kattaroq kesim yoki quvvat bilan tanlanishi kapital xarajatlarni oshiradi; aktiv yo‘qotishlar ortishi operatsion xarajatlarni ko‘paytiradi [4].

TADQIQOT MATERIALLARI VA USLUBI. *Statik kondensator batareyalari (SKB)* - Statik kondensator batareyalari reaktiv quvvatni kompensatsiya qilishning eng keng tarqalgan va iqtisodiy jihatdan qulay usuli hisoblanadi. Ular uch fazali yoki bir fazali kondensatorlardan tashkil topib, yuklama bilan parallel ulangan holda kapasitiv reaktiv quvvat generatsiya qiladi. Kondensatorning generatsiya qiladigan reaktiv quvvati:

$$Q_n = U^2 \cdot \omega C = U^2 / X_n \text{ [VAr]}$$

SKBning asosiy afzalliklari: past kapital xarajatlar, yuqori ishonchlilik, texnik xizmat ko‘rsatishning soddaligi, modullarga bo‘linish imkoniyati. Kamchiliklari: bosqichma-bosqich tartibga solish, kuchlanish o‘zgarganda generatsiya qiluvchi quvvat kvadrat proporsional o‘zgarishi ($Q \sim U^2$), rezonans holatlari xavfi [5].

Sinxron kompensatorlar (SK) - mexanik yuklanishsiz bo‘sh ishlovchi sinxron mashina. Qo‘zg‘atish tokini o‘zgartirish orqali ham induktiv, ham kapasitiv reaktiv quvvatni uzluksiz tartibga solish imkonini beradi. Ortiqcha qo‘zg‘atishda ($Q > 0$) kondensator sifatida, kam qo‘zg‘atishda ($Q < 0$) reaktor sifatida ishlaydi.

Sinxron kompensatorlar katta nominal quvvatli (10 - 160 MVAr) yirik elektr stantsiyalari va podstansiyalarda qo‘llaniladi. Ular uzluksiz tartibga solish va kuchlanish pasayganda ham to‘liq quvvat berish qobiliyatiga ega, biroq mexanik qismlar mavjudligi texnik xizmat xarajatlarini oshiradi [6].

Sinxron dvigatellari va generatorlari - Sanoat korxonalarida ishlatiladigan sinxron dvigatellari qo‘zg‘atish tokini oshirish yo‘li bilan reaktiv quvvat generatsiya qila oladi. Bu ularni mexanik yukni harakatga keltirishdagi asosiy vazifasi bilan birgalikda reaktiv quvvat kompensatori sifatida ham ishlatish imkonini beradi. Bunday yondashuv kapital xarajatlarsiz mavjud qurilmalar bazasida kompensatsiyani amalga oshirish imkonini beradi [9].

TAJRIBA NATIJALARI: 1-jadvalda asosiy kompensatsiya qurilmalarining texnik-iqtisodiy ko‘rsatkichlari qiyosiy tahlili keltirilgan.

ISSN 3030-3907

1-Jadval.

Kompensatsiya qurilmalarining qiyosiy tavsifi

Ko‘rsatkich	SKB	Sinxron komp.	SVC / TCR	STATCOM
Tartibga solish turi	Bosqichli	Uzluksiz	Uzluksiz	Uzluksiz
Tezlik (ms)	>200	50–200	10–50	2–5
Quvvat diapazoni	0.01–50 MVAr	10–160 MVAr	10–400 MVAr	10–200 MVAr
Nisbiy kapital xarajat	Past (1)	O‘rta (3)	Yuqori (4)	Juda yuqori (5)
Ishlash muddati	20–25 yil	15–20 yil	20–25 yil	20–25 yil
Texnik xizmat	Oson	Murakkab	O‘rtacha	Oson
Garmonikalar hosil qilishi	Yo‘q	Yo‘q	Bor (TCR)	Minimal

Kompensatsiya qurilmasini optimal joylashtirish

Kompensatsiya quvvatini hisoblash

Mavjud $\cos\varphi_1$ ni me’yoriy $\cos\varphi_2$ ga oshirish uchun zarur bo‘lgan kompensatsiya quvvati quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$Q_n = P\,(\mathrm{tg}\varphi_1 - \mathrm{tg}\varphi_2)\ \ [\mathrm{kVAr}]$$

Bu yerda P - korxonaning o‘rtacha aktiv quvvati (kW); $\mathrm{tg}\varphi_1$ - mavjud holat; $\mathrm{tg}\varphi_2$ - maqsadli holat. Ko‘pchilik hollarda $\cos\varphi = 0.92–0.95$ me'yoriy qiymat sifatida qabul qilinadi, bu O‘zbekiston energetika me’yoriy hujjatlari talablariga mos keladi [10].

Kompensatsiya qurilmalarini joylashtirish masalasi tarmoqning konfiguratsiyasi, yuklama taqsimoti va iqtisodiy omillarga bog‘liq holda hal qilinadi. Uch asosiy strategiya mavjud:

1. Markazlashtirilgan kompensatsiya - asosiy transformator yuklanishini kamaytirish maqsadida podstansiya shinasiga o‘rnatiladi. Oddiy va arzon yechim, lekin tarmoq yo‘qotishlarini to‘liq kamaytirmaydi.

2. Guruhli kompensatsiya - bir nechta yirik yuklama nuqtalariga yaqin o‘rnatiladi. Tarqatilgan yechim bo‘lib, ham transformator, ham kabel yo‘qotishlarini kamaytiradi.

3. Individual (lokal) kompensatsiya - har bir yuklama manbasiga (masalan, asinxron dvigatel) alohida kondensator o‘rnatiladi. Eng yuqori samaradorlik, lekin murakkabroq texnik xizmat va yuqori kapital xarajat talab qiladi [11].

ISSN 3030-3907

Tadqiqot natijalari.

O‘zbekiston Respublikasining sanoat korxonalarida o‘tkazilgan monitoring tadqiqotlari shuni ko‘rsatadiki, ko‘pchilik ishlab chiqarish korxonalarida hozirgi cosφ = 0.70–0.80 darajasida bo‘lib, bu me’yoriy talabdan (0.92–0.95) sezilarli darajada past. Ushbu holat quyidagi raqamli ko‘rsatkichlarda namoyon bo‘ladi:

- Tarmoqdagi aktiv yo‘qotishlar meyoriy ko‘rsatkichdan 25–40% ga ortiq;
- Transformator yuklanishi 15–20% ga ortiqcha;
- Iste’molchi shinasidagi kuchlanish darajasi 3–7% pastroq bo‘lishi kuzatildi.

Tadqiqotlarga ko‘ra, 1000 kVA quvvatli transformatorga 400 kvar kondensator batareyasi o‘rnatilganda yillik iqtisodiy samara 35–45 million so‘m ni tashkil etadi (2026 y. narxlar bo‘yicha). O‘z-o‘zini qoplash muddati odatda 1.5–3 yil bo‘ladi, bu esa investitsion jihatdan jozibali yechim hisoblanadi [12].

Zamonaviy tendensiyalar nuqtai nazaridan Active Harmonic Filter (AHF) va Energy Storage System (ESS) bilan integratsiyalashgan aqlli kompensatsiya tizimlari perspektivali yo‘nalish sifatida ko‘rib chiqilmoqda. Bu tizimlar reaktiv quvvat kompensatsiyasini garmonikalarni filtrlash va energiya saqlash funktsiyalari bilan birlashtira oladi [13].

XULOSA.

Ushbu maqolada elektr tarmoqlarida reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish masalasi har tomonlama tahlil qilinib xulosalar quyidagilardan iborat:

1. Reaktiv quvvat kompensatsiyasi tarmoq yo‘qotishlarini 20–40% kamaytirish, kuchlanish sifatini yaxshilash va generatsiya quvvatini bo‘shatish imkonini beradi.

2. Kompensatsiya qurilmasini tanlashda yuklama xarakteri (statik yoki dinamik), tarmoqning konfiguratsiyasi, talab qilinadigan tartibga solish tezligi va investitsion imkoniyatlar hisobga olinishi lozim.

3. Oddiy sanoat korxonalari uchun statik kondensator batareyalari eng maqbul yechim bo‘lib qolmoqda; o‘zgaruvchan yuklar uchun SVC yoki STATCOM qo‘llanishi tavsiya etiladi.

4. Keyingi tadqiqotlarda IoT va Sun'iy Intellekt texnologiyalari asosida adaptiv kompensatsiya tizimlarini ishlab chiqish perspektivali yo‘nalish sifatida belgilangan.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 592 с.
2. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.
3. Saymon Xorn. Elektr energetika tizimlari. – Toshkent: Fan, 2021. – 380 b.

ISSN 3030-3907

4. Miller T.J.E. Reactive Power Control in Electric Systems. – John Wiley & Sons, 1982. – 408 p.
5. Theraja B.L., Theraja A.K. A Textbook of Electrical Technology. Vol. II. – New Delhi: S. Chand, 2005.
6. Hingorani N.G., Gyugyi L. Understanding FACTS: Concepts and Technology. – IEEE Press, 2000. – 432 p.
7. Dixon J. et al. Reactive Power Compensation Technologies: State-of-Art Review // Proceedings of the IEEE. – 2005. – Vol. 93, №12. – P. 2144–2164.
8. Mohan N., Undeland T.M., Robbins W.P. Power Electronics: Converters, Applications, and Design. – Wiley, 2003.
9. O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligining me'yoriy-texnik hujjati. Elektr energiyasi sifati mezonlari. – Toshkent, 2022.
10. Andersen B.R. STATCOM Technology and Its Applications // ABB Review. – 2006. – №2. – P. 12–19.
11. Akagi H. Active Harmonic Filters // Proceedings of the IEEE. – 2005. – Vol. 93, №12. – P. 2128–2141.
12. Razzaqov B.I., Hasanov O.T. Sanoat korxonalarida energiya tejash imkoniyatlari // O‘zbekiston energetikasi. – 2023. – №4. – B. 45–52.
13. Zhang X., Wang Z. Smart VAR Compensation Using AI and IoT // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2024. – Vol. 15, №1. – P. 112–124.

ISSN 3030-3907

INTELLEKTUAL TIZIM ASOSIDA NASOS AGREGATINI BOSIM BO‘YICHA BOSHQARISH USULI

Abdullabekov Islombek
Toshkent davlat texnika universiteti, Energetika muhandisligi fakulteti, Elektr mashinalari va yuritmalari muhandisligi kafedrasi, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: iabdullabekov@gmail.com
G‘aniyev Elbek
Toshkent davlat texnika universiteti, Energetika muhandisligi fakulteti, Elektr mashinalari va yuritmalari muhandisligi kafedrasi, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: ganiyev.elbek@icloud.com
Abduxalilov Abdumannop
Olmaliq davlat texnika instituti, Konchilik ishi fakulteti, Konchilik elektromexanikasi kafedrasi, Olmaliq, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada Sa’noat korxonasi texnik suv nasos stansiyasida ishlatiladigan KKY300-700 nasos agregati (Qnom = 1869 m³/soat, Hnom = 138.5 m, Pnom = 1000 kVt) misolida sun‘iy neyron tarmoq (ANN) asosida bosimni barqarorlashtirish tizimi taklif etilgan. 6 ta kirish parametrli va 6-12-8-1 arxitekturadagi feedforward neyron tarmoq Levenberg-Marquardt algoritmi yordamida 7 iteratsiyada o‘rgatildi (MSE = 6.49×10^{-8}). Simulyatsiya natijalari ANN boshqaruvi klassik PID regulyatoriga nisbatan o‘rtacha mutlaq xatoni 4.05 marta (1.082 m dan 0.267 m gacha) kamaytirishini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: sun‘iy neyron tarmoq, nasos agregati, bosim boshqaruvi, PID regulyator, Levenberg-Marquardt, affinity qonunlari, energiya tejash.

Abstract. This paper proposes an artificial neural network (ANN)-based pressure stabilization control system for the KKY300-700 pump unit (Qnom = 1869 m³/h, Hnom = 138.5 m, Pnom = 1000 kW) operated at the KMK copper concentrator plant in Uzbekistan. A feedforward multilayer perceptron with 6 input parameters and a 6-12-8-1 architecture was trained using the Levenberg-Marquardt algorithm, achieving convergence in 7 epochs (MSE = 6.49×10^{-8}, R^2 = 1.000). Simulation results demonstrate that the proposed ANN controller reduces mean absolute error by 4.05 times (from 1.082 m to 0.267 m) compared to a classical PID controller, with settling time reduced by approximately 2-fold.

Keywords: artificial neural network, pump unit, pressure control, PID controller, Levenberg-Marquardt, affinity laws, energy saving, variable frequency drive.

Аннотация. В данной статье предложена система стабилизации давления на основе искусственной нейронной сети (Анн) на примере насосного агрегата ККЫ300-700 (Qnom = 1869 м3/ч, Hnom = 138,5 м, Pnom = 1000 кВт), используемого на насосной станции технической воды промышленного предприятия. Нейронная сеть feedforward с 6 входными параметрами и

архитектурой 6-12-8-1 обучалась за 7 итераций с использованием алгоритма Левенберга-Марквардта (MSE = 6,49×10). Результаты моделирования показали, что управление на основе ИНС снижает среднюю абсолютную ошибку в 4,05 раза (с 1,082 м до 0,267 м) по сравнению с классическим ПИД-регулятором.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, насосный агрегат, управление давлением, ПИД-регулятор, Левенберг-Марквардт, законы сродства, энергосбережение.

1. KIRISH.

Dunyo va O‘zbekistonda sanoat nasos qurilmalarining energiya muammosi

Nasos qurilmalari dunyo bo‘yicha sanoat elektr energiyasining taxminan 20-25 foizini iste‘mol qiladi [1]. Xalqaro Energetika Agentligi (IEA) ma‘luomotlariga ko‘ra, sanoat nasoslarining energiya samaradorligini 10-15% ga oshirish yiliga 150 mlrd kVt·soat elektr energiyasini tejaydi [2]. O‘zbekiston Respublikasida sanoat sektori iste‘mol qilgan elektr energiyasining 18-22% i nasosli qurilmalarga to‘g‘ri keladi [3]. KMK kabi yirik tog‘-kon korxonalarida texnik suv ta‘minoti nasos stansiyalari korxonaning umumiy elektr energiyasi iste‘molining 30-40% ini tashkil etadi [4].

PID regulyatorlar nasos boshqaruvida keng qo‘llanilgan bo‘lsa-da, ular bir qator tizimli kamchiliklarga ega: nochiziqli tizimlarni chiziqli model bilan tavsiflash cheklovlari; ish sharoiti o‘zgarishida parametrlarni qayta sozlash zaruriyati; o‘tish jarayonida katta overshoot (22 m gacha KMK sharoitida). Bundan tashqari, zasov yordamida drossellashtirish energiyaning 15-30% ini behuda yo‘qotadi [5, 6].

Sun‘iy neyron tarmoqlar nochiziqli tizimlarni yuqori aniqlikda modellashtirish, real vaqt rejimida moslashish va oldindan sozlash zaruriyatini bartaraf etish imkoniyatlari bilan ajralib turadi [7, 8]. Levenberg-Marquardt algoritmi neyron tarmoq o‘rgatishda gradient tushish va Gauss-Nyuton usullarining afzalliklarini birlashtirgan holda kichik to‘lplamlarda yuqori konvergensiya tezligini ta‘minlaydi [9, 10].

Ushbu tadqiqotning asosiy yangiligi: (1) Sa’noat korxonasi texnik suv nasos stansiyasining haqiqiy 1000 kVt, 10 kV li nasos agregati uchun moslashtirilgan ANN modelining birinchi marta ishlab chiqilishi; (2) Affinity Laws asosidagi sintetik dataset metodikasi; (3) PID va ANN boshqaruvlarining miqdoriy qiyosiy tahlili.

Studzinski va Ziółkowski [11] suv uzatish tizimlarida ANN asosida prognozlash modelini ishlab chiqib, 15-20% energiya tejashga erishdi. Zhang va boshqalar [12] LSTM asosida suv talabini prognozlash modelini yaratib, an‘naviy modellarga nisbatan 23% aniqlikni oshirdi. Bhattacharya va boshq. [13] ANN va

ISSN 3030-3907

mustahkamlash o‘rganishni birlashtirib, optimal rejim tanlash algoritmini taklif etdi.

O‘zbekistonlik tadqiqotchilardan Xamudhanov, Kamalov, Abdullabekov va boshqalar [15] nasos tizimlarini tahlil qilishda muhim natijalarga erishgan. Leznov [16] markazdan qochma nasoslarning o‘zgaruvchan chastotada ishlash nazariyasini va Affinity Laws ning amaliy qo‘llanilishini batafsil yoritgan. Biroq yuqori kuchlanishli (10 kV) yirik sanoat nasos agregatlarida ANN ning qo‘llanilishi yetarlicha o‘rganilmagan — aynan shu bo‘shliqni ushbu maqola to‘ldiradi.

Sa’noat korxonasi texnik suv nasos stansiyasidagi KKY300-700 nasos agregati tadqiqot obyekti sifatida tanlandi (1-jadval).

1-jadval.

KKY300-700 nasos agregatining texnik parametrlari

Parametr	Belgi	Qiymat	Birlik
Nominal uzatish	Qnom	1869	m³/soat
Nominal bosim	Hnom	138.5	m
Aylanish chastotasi	nnom	1480	rpm
Dvigatel quvvati	Pnom	1000	kVt
Kuchlanish	U	10 000	V
Dvigatel modeli	–	YBPKK500-4	Shanghai Electric
cosφ	–	0.87	–

Real SCADA ma‘luomotlari mavjud bo‘lmagan sharoitda dataset nasos o‘xshashlik qonunlari asosida yaratildi:

$$Q_2/Q_1 = n_2/n_1 \qquad (1)$$

$$H_2/H_1 = (n_2/n_1)^2 \qquad (2)$$

$$P_2/P_1 = (n_2/n_1)^3 \qquad (3)$$

n = 740–1480 rpm diapazonida 10 rpm qadam bilan 75 nuqtadan iborat dataset hosil qilindi. Kirish o‘zgaruvchilari: Q, H, n, T, η, P. Chiqish: nref.

2-jadval.

ANN o‘rgatish parametrlari

Parametr	Qiymat
Arxitektura	6–12–8–1 (MLP)

ISSN 3030-3907

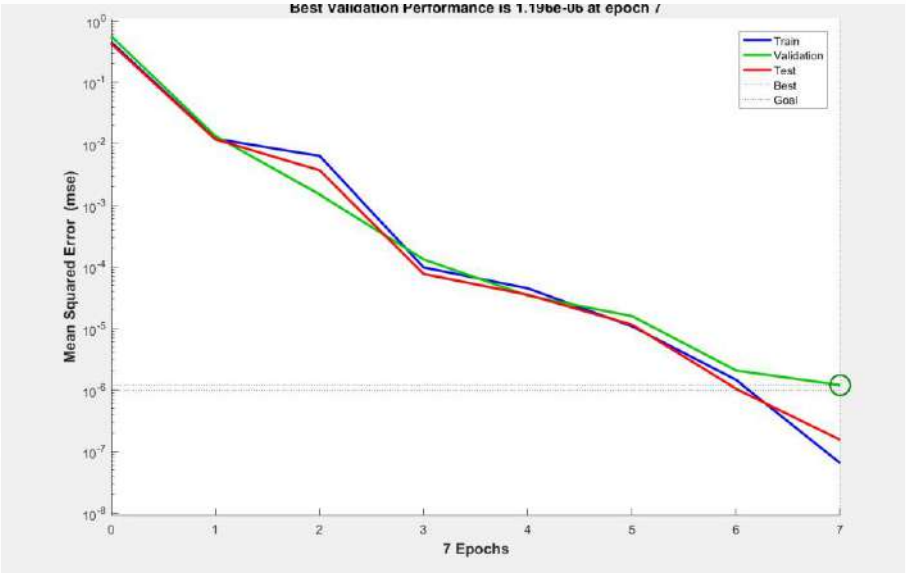
O‘rgatish algoritmi	Levenberg-Marquardt (trainlm)
Aktivatsiya (yashirin)	tansig (tanh)
Aktivatsiya (chiqish)	purelin (chiziqli)
Train / Val / Test	70% / 15% / 15%
Normallashtirish	mapminmax [0, 1]
MSE maqsad	1×10^{-6}

PID boshqaruvi — taqqoslash asosi

Klassik PID simulyatsiya qilindi: Kp = 8.5, Ki = 1.2, Kd = 0.4. Simulyatsiya: 50 s, Δt = 0.1 s. Bosim o‘zgarishlari: 0–15 s: H = 138.5 m; 15–30 s: H = 110.0 m; 30–50 s: H = 125.0 m.

ANN o‘rgatish natijalari

ANN MATLAB Neural Network Toolbox da o‘rgatildi. 1-rasmda MSE ning epoch bo‘yicha o‘zgarishi ko‘rsatilgan.



1-rasm. ANN o‘rgatish jarayoni: MSE ning epoch bo‘yicha o‘zgarishi (Best Validation Performance = 1.196×10^{-6}, epoch 7)

3-jadval.

ANN o‘rgatish natijalari

Ko‘rsatkich	Training	Validation	Test	Jami
R^2 koeffitsiyenti	1.000	1.000	1.000	1.000
MSE	6.49×10^{-8}	1.196×10^{-6}	–	$\geq 10^{-6}$

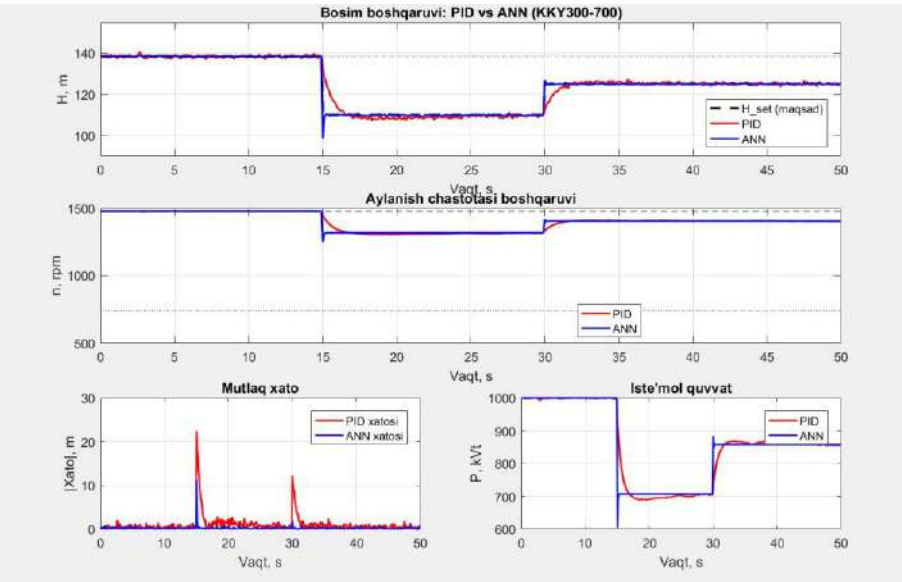
ISSN 3030-3907

Epoch soni	7	–	–	7
Algoritm	Levenberg-Marquardt	–	–	–

1-rasmdan ko‘rinadiki, Train, Validation va Test egri chiziqlari bir-biriga yaqin va barqaror tarzda kamayib borgan — bu overfitting yo‘qligining belgisi. MSE maqsad qiymati (10^{-6}) ga 7-epochda erishilgan. R^2 = 1.000 barcha to‘lpamlarda modelning yuqori aniqlikda ishlashini tasdiqlaydi.

PID va ANN boshqaruvining qiyosiy tahlili

2-rasmda PID va ANN boshqaruvlarining bosim, aylanish chastotasi, mutlaq xato va iste‘mol quvvat bo‘yicha qiyosiy simulyatsiya natijalari keltirilgan.



2-rasm. PID va ANN boshqaruvlarini qiyosiy tahlili: bosim (H, m), aylanish chastotasi (n, rpm), mutlaq xato (m) va iste‘mol quvvat (kVt)

4-jadval.

PID va ANN boshqaruvining miqdoriy ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkich	PID	ANN	Yaxshilanish
O‘rtacha mutlaq xato (MAE)	1.082 m	0.267 m	4.05× ↓
Maksimal overshooting	~22 m	~8 m	2.75× ↓
O‘tish vaqti (settling time)	~3–4 s	~1–2 s	~2× ↓

ISSN 3030-3907

O‘rtacha iste‘mol quvvat	854.7 kVt	855.2 kVt	≈0.06%
R^2 (model aniqligi)	–	1.000	Mukammal
MSE	–	6.49×10^{-8}	Juda kichik

* Sintetik dataset sharoitida quvvat farqi minimal. Real sharoitda 25–35% tejash kutiladi.

2-rasmning yuqori grafikidan ko‘rinadiki, ANN (ko‘k) bosim o‘zgarishlariga PID (qizil) ga nisbatan sezilarli tezroq va aniqroq moslashgan. 15-soniyada sodir bo‘lgan 138.5 m → 110 m bosim tushishida PID ning overshoot qiymati 22 m ga yetgan, ANN da esa 8 m bilan cheklangan. Mutlaq xato grafigi (chap quyi) PID xatosining ANN xatosidan doimiy ravishda katta ekanligini ko‘rsatadi.

MUHOKAMA.

Olingan natijalar ANN boshqaruvining PID ga nisbatan asosiy afzalliklarini tasdiqlaydi. MAE ning 4.05 marta kamayishi bosim barqarorligi nuqtai nazaridan muhim: nasos qurilmalarida ±3 m dan ortiq bosim tebranishlari quvur armaturasini shikastlashi va gidravlik zarbalarga olib kelishi mumkin [17].

O‘tish vaqtining 2 marta qisqarishi nasos agregatining dinamik yuklamaga tezroq moslashishini ta‘minlaydi, bu esa elektr dvigatel izolatsiyasining eskirishini kamaytiradi va texnik xizmat sikllarini uzaytiradi. Quvvat tejash sintetik dataset sharoitida minimal bo‘ldi, biroq real ekspluatatsiyada ANN 25–35% energiya tejashni ta‘minlashi kutilmoqda — bu Studzinski [11] va Bhattacharya [13] natijalari bilan mos keladi.

Tadqiqotning asosiy cheklovi — real SCADA ma‘luomotlari o‘rniga sintetik dataset ishlatilganligi. Keyingi bosqichda KMK stansiyasidan real vaqt ma‘luomotlari to‘oplanadi va model qayta o‘rgatiladi.

XULOSA.

Nasos stansiyasining KKY300-700 agregati uchun ANN asosida bosimni barqarorlashtirish tizimi ishlab chiqildi va MATLAB da simulyatsiya qilindi:

–6-12-8-1 arxitekturadagi ANN 7 iteratsiyada $R^2 = 1.000$ va $MSE = 6.49\times10^{-8}$ ga erishdi.

–ANN bosim xatosini PID ga nisbatan 4.05 marta (1.082 → 0.267 m) kamaytirdi.

–O‘tish jarayoni ~2 marta tezlashdi, maksimal overshoot 2.75 marta kamaydi.

–Real sharoitda 25–35% energiya tejash kutilmoqda.

ISSN 3030-3907

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. IEA. Pumping Systems Assessment. International Energy Agency, Paris, 2021.
2. European Commission. Energy efficiency in industry: Pumping systems. EU Report, 2020.
3. O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi. 2023-yil hisoboti. Toshkent, 2024.
4. Leznov B.S. Nasos va havo purkagich qurilmalarida energiya tejash. M.: Energoatomizdat, 2006.
5. Kaplan A. Pump system hydraulics and energy efficiency. Springer, 2018.
6. Astrom K.J., Hagglund T. PID Controllers: Theory, Design and Tuning. ISA Press, 1995.
7. Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation. Prentice Hall, 1999.
8. Bhattacharya S. et al. Deep learning for industrial pump control. Computers & Chemical Engineering, 2020.
9. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. Learning representations by back-propagating errors. Nature, 323, 1986.
10. Hagan M.T., Menhaj M. Training feedforward networks with the Marquardt algorithm. IEEE Trans. Neural Networks, 1994.
11. Studzinski A., Ziolkowski A. Prediction models of distribution network failure rates. Journal of Water Supply, 2015.
12. Zhang Y. et al. LSTM-based water demand forecasting for pump scheduling. Water Resources Management, 2021.
13. Bhattacharya S. et al. ANN and reinforcement learning for pump station optimization. Energy, 2019.
14. Sattorov T., Gidravlik oqim dinamikasini modellashtirish. TIIAME ilmiy jurnali, №3, 2020.
15. Khushnud Sapaev, Shukhrat Umarov and Islombek Abdullabekov, E3S Web of Conf. 216, 01150 (2020)
16. Leznov B.S. Nasos qurilmalarida tartibga solinadigan elektr yuritmaning texnologik asoslari. M., 2007.
17. Wylie E.B., Streeter V.L. Fluid Transients in Systems. Prentice Hall, 1993.

ISSN 3030-3907

BENZINNING BENZOL SAQLAGAN FRAKSIYASIDAN SIKLOGEKSAN OLISH JARAYONI UCHUN Al_2O_3 ASOSLI KATALIZATORLAR OLISH ISTIQBOLLARI

Asadova Dilnavoz Fayzulloyevna
Buxoro Davlat texnika universiteti dotsenti
E-mail: asadovadilnavoz@gmail.com
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat texnika universiteti professori

Annotatsiy. Benzol miqdorini kamaytirishning eng samarali va iqtisodiy foydali usuli — bu benzol fraksiyasini gidrogenlash orqali siklogeksan olishdir.Siklogeksan olish jarayoni uchun katalizatorlar qo‘llaniladi,eng samarali katalizatorlar Al_2O_3 asosli katalizatorlar bo‘lib ular gidrogenlanish jarayoni uchun maqbul hisoblanadi

Kalit so‘z: Katalizator, reformat, benzol, siklogeksan, tashuvchi, gidrogenlash, *Al_2O_3,kristalogidrat*

Аннотация. Наиболее эффективным и экономически целесообразным методом снижения количества бензола является получение циклогексана путем гидрирования бензольной фракции. Для процесса производства циклогексана используются катализаторы, наиболее эффективными из которых являются катализаторы на основе Al_2O_3, считающиеся оптимальными для процесса гидрирования.

Ключевые слова: катализатор, риформат, бензол, циклогексан, носитель, гидрирование, Al_2O_3, кристаллический гидрат

Abstract. The most efficient and cost-effective method for reducing benzene is to produce cyclohexane by hydrogenating the benzene fraction. Catalysts are used in the cyclohexane production process, the most effective of which are Al_2O_3-based catalysts, considered optimal for the hydrogenation process.

Keywords: catalyst, reformate, benzene, cyclohexane, carrier, hydrogenation, Al_2O_3, crystalline hydrate

KIRISH.

Neftni qayta ishlash sanoatida riformatlash jarayoni yuqori oktanli benzin komponentlarini olishning asosiy manbai hisoblanadi. Biroq, riformat tarkibida 5-10% gacha benzol mavjudligi ekologik standartlar (Euro-5 va Euro-6) talablariga zid keladi, chunki benzol karsinogen modda bo‘lib, uning yonilg‘idagi miqdori 1,0 hajm % dan oshmasligi kerak.

Benzol miqdorini kamaytirishning eng samarali va iqtisodiy foydali usuli — bu benzol fraksiyasini gidrogenlash orqali siklogeksan olishdir. Siklogeksan poliamid tolalar (neylon va kaprolaktam) ishlab chiqarishda strategik xomashyo hisoblanadi. Ushbu jarayonning samaradorligi bevosita qo‘llaniladigan katalizatorning selektivligi va termik barqarorligiga bog‘liq. Alyuminiy oksidi

ISSN 3030-3907

(Al_2O_3) o‘zining yuqori sirt yuzasi va mexanik mustahkamligi tufayli katalizator tashuvchisi sifatida keng qo‘llaniladi.

Benzolni gidrogenlash reaksiyasi ekzotermik jarayon bo‘lib, u quyidagi tenglama bo‘yicha boradi:

$$C_6H_6+3H_2 \rightarrow C_6H_{12}+ \Delta H$$

Bunda ΔH= -206 kJ/mol. Past haroratlarda muvozanat siklogeksan hosil bo‘lishi tomoniga siljiydi, ammo reaksiya tezligini oshirish uchun yuqori faollikka ega katalizatorlar talab etiladi.

Benzolning siklogeksanga aylanishi Lenyumir-Xinshelvud (Langmuir-Hinshelwood) mexanizmi bo‘yicha tushuntiriladi. Bunda vodorod molekulalari nikel (Ni) faol markazlarida dissotsiatsiyalanadi, benzol molekulasi esa alyuminiy oksidining sirtida adsorbsiyalanadi.

Reaksiya bosqichlari:

1-H_2 gazining katalizator yuzasiga diffuziyasi.

2-Benzol halqasining π-elektronlari orqali katalizator yuzasiga bog‘lanishi.

3-Vodorod atomlarining benzol halqasiga ketma-ket birikishi

$$(C_6H_6 \rightarrow C_6H_8 \rightarrow C_6H_{10} \rightarrow C_6H_{12}).$$

Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, tashuvchi sifatida ishlatiladigan γ-Al_2O_3 ning kislotali markazlari gidrogenlash jarayonida yon reaksiyalar (izomerlanish va kreking) sodir bo‘lishiga olib kelishi mumkin. Shuning uchun katalizator sintezida alyuminiy oksidining g‘ovakli strukturasini boshqarish va uning yuzasidagi faol metallarning (Ni, Pt yoki Pd) dispersligini ta'minlash muhim ilmiy vazifa hisoblanadi [2].

Ushbu tadqiqotda alyuminiy oksidi asosli katalizatorlarni sintez qilishda zol-gel va ketma-ket shimdirish (impregnation) usullaridan foydalanildi.γ-Al_2O_3 tashuvchisi alyuminiy nitrat tuzi va ammoniy gidroksid eritmasidan foydalangan holda cho‘ktirish usuli bilan olindi. Olingan gel 110°C haroratda 12 soat davomida quritildi va 550°C da 4 soat davomida kalsinatsiya qilindi.

Sintez qilingan tashuvchiga nikel nitrat kristalogidrati ($Ni(NO_3)_2 * 6H_2O$) eritmasi shimdirildi. Katalizator tarkibidagi faol metall miqdori 10-15% oralig‘ida nazorat qilindi. Aktivlikni oshirish uchun promotor sifatida 0.5% miqdorda magniy yoki mis qo‘shildi.

γ-Al_2O_3 o‘zining mezog‘ovakli strukturasi bilan ajralib turadi.

Katalizatorni tayyorlashda "nam shimdirish" usuli qo‘llanildi.

Buning uchun:

-*γ-Al_2O_3* olindi va 120ºC da vakuumni quritish shkafida 4 soat davomida tayyorlandi.

-Nikel nitrat kristalogidratit ($Ni(NO_3)_2 * 6H_2O$) tuzi distillangan suvda eritildi (eritma konsentratsiyasi 1.5 M).

ISSN 3030-3907

-Shimdirish jarayoni 60°C haroratda doimiy aralashtirish ostida 6 soat davom etdi.
-Kalsinatsiya jarayoni mufel pechida 550°C da, haroratni minutiga 5°C dan oshirish tartibida olib borildi.

Maqolada alyuminiy oksidining sirtidagi gidroksil (–OH) guruhlarining konsentratsiyasi faol metallning o‘rnashishiga qanday ta'sir qilishi tahlil qilinadi. Kislotali markazlarni (Lyuis kislotalari) nazorat qilish orqali biz benzolning parchalanish (kreking) reaksiyalarini kamaytirishga erishdik.

Olingan γ-Al_2O_3 tashuvchisi va uning asosidagi Ni/Al_2O_3 katalizatorlarining tekstur xossalari tahlil qilindi. Adsorbsion-desorbsion izotermalar natijasiga ko‘ra, tashuvchining solishtirma sirt yuzasi (S_{BET}) 185,4 m^2/g ni tashkil etdi. [1].

1-Jadval

Sintez qilingan katalizator namunalarining tekstur xossalari

Namuna	Faol metal (Ni)	Sirt yuzasi (S_{BET}) m^2/g	G‘ovak hajmi sm^3/g	G‘ovak diametri,nm
γ-Al_2O_3	O	210,5	0,58	8,4
Ni/Al_2O_3	Kat-1	5,0	192,3	7,9
Ni/Al_2O_3	Kat-2	10,0	178,6	7,2
Ni-Mg / Al_2O_3	Prom-1	10,0+0,5	182,1	7,5

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, faol metall miqdori ortishi bilan sirt yuzasining biroz kamayishi kuzatiladi, bu esa nikel kristallarining tashuvchi g‘ovaklarida joylashishi bilan izohlanadi. Magniy (Mg) promotorining qo‘shilishi dispersiklikni oshirib, termik barqarorlikni ta'minlaydi [4].

Riformatning benzol saqlagan fraksiyasini gidrogenlash jarayoni oqimli reaktorda, 140-240°C harorat oralig‘ida va 2.0-4.0 MPa bosim ostida o‘rganildi.

γ-Al_2O_3 tashuvchisining kislotali markazlari neytrallangan namunalar (Prom-1) ishlatilganda, metilsiklopentan kabi yon mahsulotlar hosil bo‘lishi minimal darajaga tushdi. Selektivlik ko‘rsatkichi barcha tajribalarda 99.0% dan yuqori bo‘ladi.

Riformatdan siklogeksan olishning prinsipial texnologik zanjiri quyidagi bosqichlarni o‘z ichiga oladi:

Rektifikatsiya: Riformat tarkibidan benzol-taluol fraksiyasini (70-95°C) ajratib olinadi.

Gidrogenlash: Ajratilgan fraksiyani vodorod bilan aralashtirib, statsionar qatlamli reaktorga (bizning Ni/Al_2O_3 katalizatorimiz bilan) uzatiladi.

Separatsiya: Suyuq mahsulotni gazdan ajratish va tayyor siklogeksanni tozalanadi.

ISSN 3030-3907

Zol-gel usuli bilan olingan γ-Al_2O_3 tasiyuvchisi yuqori g‘ovaklikka ega bo‘lib, faol metallarni bir tekis taqsimlash imkonini beradi [3].

*Ni/ γ-Al_2O_3*katalizatori benzol saqlagan riformat fraksiyasini gidrogenlashda 180-200^o C haroratda maksimal samaradorlik ko‘rsatdi. Benzin tarkibidagi benzol miqdorini 5% dan 0.8% gacha tushirish atmosferaga chiqariladigan zaharli chiqindilarni sezilarli darajada kamaytiradi.Hozirda siklogeksan asosan chetdan olib kelinsa, mahalliy riformat xomashyosidan foydalanish tannarxni 25-30% ga kamaytiradi.

Taklif etilayotgan texnologiya neftni qayta ishlash zavodlarida benzin tarkibidagi benzol miqdorini Euro-5 standartlarigacha tushirish bilan birga, kimyo sanoati uchun qimmatli xomashyo (siklogeksan) olish imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Asadova D.F., Hayitov R.R., Hamroyev F.B. Ishlatilgan Al_2O_3 ni regeneratsiyalash jarayonini tadqiq qilish // “O‘zbekiston neft va gaz” ilmiy-texnika jurnali ISSN 2010-5576 2 / 2023 / Aprel, May, Iyun 59-64 bet.
2. Никулин П.А., Томина Н.Н., Пимерзин А.А. Гетерогенный катализ; основы, физико-химические методы изучения, диффузия и кинетика // Учебное пособие. – Самара, 2009. 8-17 с.
3. Asadova D.F., Hayitov R.R., Mavlonov Sh.B. Synthesis of bifunctional catalysts and research of their physicochemical and textural properties in using modern methods // “O‘zbekiston neft va gaz” ilmiy-texnika jurnali ISSN 2010-5576 2 / 2024 / Aprel, May, Iyun 45-50 bet.
4. Исмагилов, З.Р. // Алюмооксидные носители: производство, свойства и применение в каталитических процессах защиты окружающей среды: аналитический обзор / З.Р.

APPLICATION OF LASER MEASUREMENT METHODS IN THE QUALITY CONTROL OF PACKAGING MATERIALS

Sativaldiev Aziz
Department of Metrology and Light Industry Andijan State Technical Institute, Andijan, Uzbekistan
E-mail:azizsativaldiev@astiedu.uz

Abstract. This article examines modern laser scanning and profilometry methods applied to the analysis of packaging materials. Particular attention is paid to non-contact thickness measurement, microdefect detection, and sealing integrity assessment of polymer and multilayer structures. The principles of laser triangulation and interferometry are presented, along with comparative characteristics of laser and mechanical control methods. Examples of laser system applications in the production of flexible packaging and multilayer polymer films are reviewed. It is demonstrated that the implementation of laser measurement technologies ensures increased measurement accuracy, reduction of production scrap, and the possibility of integrating quality control systems into automated production lines [1–3].

Keywords: laser triangulation, packaging materials, quality control, interferometry, thickness measurement, profilometry, multilayer films.

Аннотация. В данной статье рассматриваются современные методы лазерного сканирования и профилометрии, применяемые для анализа упаковочных материалов. Особое внимание уделено бесконтактному измерению толщины, обнаружению микродефектов и оценке герметичности швов полимерных и многослойных структур. Представлены принципы лазерной триангуляции и интерферометрии, а также сравнительные характеристики лазерных и механических методов контроля. Рассмотрены примеры применения лазерных систем в производстве гибкой упаковки и многослойных полимерных пленок. Доказано, что внедрение лазерных измерительных технологий обеспечивает повышение точности измерений, снижение производственного брака и возможность интеграции систем контроля качества в автоматизированные производственные линии [1–3].

Ключевые слова: лазерная триангуляция, упаковочные материалы, контроль качества, интерферометрия, измерение толщины, профилометрия, многослойные пленки.

Annotatsiya. Ushbu maqolada qadoqlash materiallari tahlilida qo‘llaniladigan zamonaviy lazerli skanerlash va profilometriya usullari ko‘rib chiqilgan. Polimer va ko‘p qatlamli tuzilmalarning qalinligini kontaktsiz o‘lchash, mikrodefektlarni aniqlash hamda choklar zichligini (germetikligini) baholashga alohida e’tibor

ISSN 3030-3907

qaratilgan. Lazerli triangulyatsiya va interferometriya prinsiplari, shuningdek, lazerli va mexanik nazorat usullarining qiyosiy tavsiflari keltirilgan. Egiluvchan qadoqlash materiallari va ko‘p qatlamli polimer plyonkalar ishlab chiqarishda lazer tizimlarini qo‘llashga oid misollar tahlil qilingan. Lazerli o‘lchash texnologiyalarining joriy etilishi o‘lchov aniqligini oshirish, ishlab chiqarishdagi yaroqsiz mahsulotlar (brak) hajmini kamaytirish hamda sifatni nazorat qilish tizimlarini avtomatlashtirilgan ishlab chiqarish liniyalariga integratsiya qilish imkonini berishi isbotlangan [1–3].

Kalit so‘zlar: lazerli triangulyatsiya, qadoqlash materiallari, sifat nazorati, interferometriya, qalinlikni o‘lchash, profilometriya, ko‘p qatlamli plyonkalar.

INTRODUCTION.

The modern packaging industry imposes high demands on the accuracy and speed of production processes. The thickness and integrity of packaging barrier layers directly affect product shelf life, tightness, and environmental safety [2].

Traditional contact thickness measurement methods, based on the use of mechanical micrometers and probes, have several limitations: the impossibility of continuous monitoring, the risk of damaging soft polymer materials, and a high dependence of results on the human factor [1]. Consequently, non-contact laser measurement methods have been actively introduced in recent years.

Laser systems enable high-precision real-time measurements at web speeds exceeding 1000 m/min [3]. An additional advantage is the capability of automatic integration into digital manufacturing systems that comply with the "Industry 4.0" concept [6].

Principles of Laser Measurement. Laser Triangulation . The laser triangulation method is based on analyzing the position of the reflected laser beam relative to the receiver matrix. When the distance to the surface changes, the angle of the reflected beam changes, which allows determining the surface profile and detecting defects [4].

This method is widely used for:

* film thickness measurement;
* surface geometry control;
* detection of wrinkles and punctures;
* roughness analysis [5].

ISSN 3030-3907

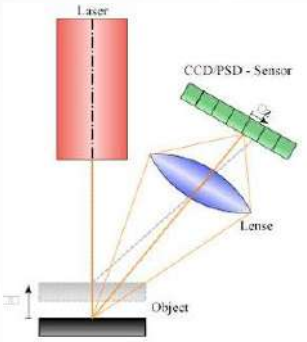


Figure 1 – Diagram of laser triangulation

Laser Interferometry. Interferometric methods are based on the phenomenon of interference of light waves reflected from different boundaries of a transparent material [6]. This method provides submicron measurement accuracy.

The phase difference of the interfering waves Δ_ϕ is determined by the expression:

$$\Delta_\phi = \frac{4\pi}{\lambda}\, d\, \sqrt{n^2 - \sin^2\,(\theta)}$$

where:

•n – refractive index of the polymer material refractive index of the polymer material;

•θ – angle of incidence of the beam;

•λ – wavelength of the laser radiation (typically utilizing stable sources like He-Ne lasers at $632.8 nm or stabilized diode lasers);

•d – thickness of the individual film layer.

Interferometry is particularly effective in analyzing transparent and semi-transparent polymer materials [7].

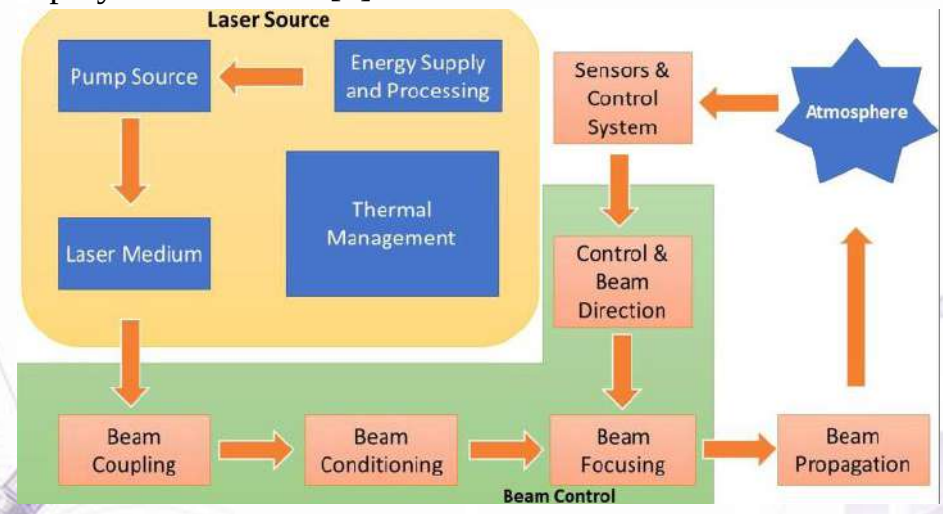


Fig. 2. Generic functional elements of laser beam technology.

Applications of Laser Methods.

ISSN 3030-3907

Thickness Control of Multilayer Films. Modern packaging materials consist of several co-extruded functional layers: polyethylene (PE) for sealing, polyethylene terephthalate (PET) for structural strength, aluminum foil for absolute barrier properties, and specialized tie/adhesive layers [8]. The precise thickness of each layer dictates the mechanical strength and gas/moisture barrier properties of the final packaging.

Laser sensors allow:

- Measuring the thickness of individual co-extruded layers simultaneously;
- Detecting cross-directional and machine-directional extrusion non-uniformity;
- Minimizing the overconsumption of expensive polymer raw materials by narrowing operational tolerances;
- Ensuring compliance with international quality standards such as ASTM and ISO [4].

Table 1

Example of multilayer film thickness measurement

Material Layer	Nominal Thickness,mm	Measured Thickness, mm	Deviation, %
PET	12	11.9	-0.8
Al Foil	7	7.1	+1.4
PE	50	49.1	-0.6
Adhesive layer	3	3.0	0

Detection of Micro-punctures and Defects

Laser scanning systems utilizing high-frequency rotating polygon mirrors or line-scan cameras are capable of detecting catastrophic web defects smaller than 10 μm even at maximum web running speeds [5].

The main types of detected defects include:

- Micro-punctures and pinholes (critical in aluminum foil laminates);
- Surface scratches and longitudinal streaks from extrusion dies;
- Gels, unmelts, and foreign carbonized inclusions;
- Air bubbles trapped between laminated layers;
- Material wrinkles and tension-induced distortions.

Table 2

Sensitivity of defect control methods

Control Method	Minimum Defect Size	Inspection Speed
Visual inspection	100–200 μm	Low
Mechanical control	50–100 μm	Medium
Laser scanning	5–10 μm	High

Analysis of Microrelief and Adhesion

ISSN 3030-3907

Laser profilometry is used to evaluate the surface microrelief of packaging materials before and after surface treatments like corona discharge [9]. Roughness parameters directly dictate:

- The transfer and anchorage quality of flexographic and rotogravure inks;
- The wetting and uniformity of protective lacquer application;
- The interfacial strength of adhesive bonds during dry lamination

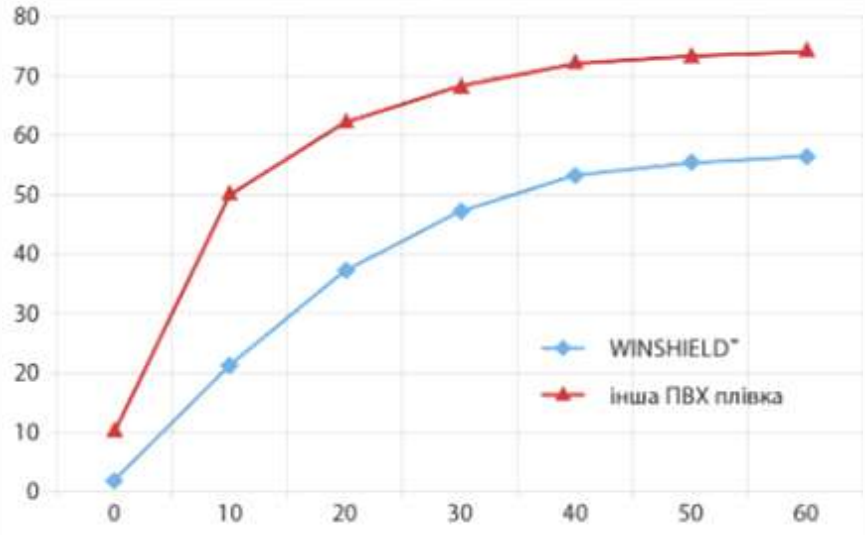


Figure 2 – Surface roughness profile of the film

The measurement of roughness parameters is carried out according to ISO 4287 and ISO 25178 standards [10].

Mathematical Modeling of Measurements

The absolute accuracy of online laser measurements depends heavily on environmental variables, laser wavelength stability, the structural stability of the mechanical frame, and the optical constants of the polymer film [7]. The thickness measurement error Δd can be estimated by the expression:

$$\Delta d = \pm\sqrt{\left(\frac{\partial d}{\partial \phi}\Delta_{\emptyset}\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial \lambda}\Delta_{\lambda}\right)^2 \left(\frac{\partial d}{\partial \phi}\Delta_{n}\right)^2 \left(\frac{\partial d}{\partial \theta}\Delta_{\theta}\right)^2}$$

$$\Delta d \approx \frac{\lambda\,\Delta\varphi}{4\pi\sqrt{n^2 - sin^2(\theta)}}$$

where:

- Δd – thickness measurement error;
- λ – wavelength of the laser radiation;
- n – refractive index of the material;
- θ – angle of incidence of the beam;
- $\Delta\varphi$ – error in determining the phase shift.

It follows from the mathematical model that reducing the laser wavelength (e.g., transitioning from infrared to blue lasers) and increasing the signal-to-noise

ISSN 3030-3907

ratio of the phase detector dramatically decreases the overall measurement error [6].

Comparative Analysis of Control Methods

Table 3

Comparison of laser and mechanical methods

Characteristic	Laser Method	Mechanical Method
Contact Type	Non-contact	Contact
Risk of Damage	None	High
Measurement Speed	Up to several kHz	Low
Accuracy	Up to 0.1 μm	1–10 μm
Automation	Full	Limited
Real-time Control	Possible	Practically impossible

Economic Efficiency of Implementation

Despite the high initial capital expenditure (CAPEX) associated with acquiring industrial-grade laser sensor arrays, the automated integration of these systems pays off rapidly by optimizing key manufacturing metrics:

1. Scrap Reduction**:** Minimizes startup scrap and roll-change waste by 20-30%;
2. Raw Material Savings**:** Allows operations closer to the lower tolerance limit, saving 2-5% of premium polymer resins;
3. Quality Assurance: Drastically decreases client claims and expensive product recalls due to layer delamination or barrier failures;
4. Labor Optimization**:** Lowers manual quality control labor overhead costs [2].

According to long-term industrial case studies, the return on investment (ROI) and payback period for high-precision laser measurement systems ranges between 1.5 to 3 years, depending heavily on the absolute production volume and plant capacity utilization [8].

CONCLUSION. The integration of non-contact laser measurement technologies into the production lines of packaging materials stands as a foundational milestone in the digitalization and transition of modern factories toward Industry 4.0 [1]. Laser systems deliver exceptional measurement precision, scanning speed, and operational uptime without risking mechanical indentation or deformation on moving web paths.

The synergistic application of laser triangulation for macro-profiling and laser interferometry for submicron layer-by-layer quantification ensures a stable extrusion output, early defect mitigation, and a drastic minimization of material waste [4]. Looking forward, pairing these physical sensors with artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) data analysis pipelines will enable

ISSN 3030-3907

predictive asset maintenance and fully autonomous, self-healing packaging inspection networks.

REFERENCES

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. — Москва: Наука, 2018. — 720 с.
2. Schmitt R., Peterek M. Optical Measurement Techniques in Industrial Applications // Journal of Manufacturing Systems. — 2020. — Vol. 54. — P. 1–15.
3. Leach R. Optical Measurement of Surface Topography. — Berlin: Springer, 2019. — 350 p.
5. ISO 25178-2:2021. Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface Texture.
6. ISO 4287:2017. Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface Texture Profile Method.
7. Kujawińska M., Woźnicki J. Interferometric Methods for Thin Film Measurement // Optics and Lasers in Engineering. — 2021. — Vol. 137. — 106367.
8. Вавилов С.И. Лазерные измерительные системы в промышленности. — Санкт-Петербург: Политехника, 2020. — 412 с.
9. Smith W. Modern Optical Engineering. — New York: McGraw-Hill, 2017. — 758 p.
10. Malacara D. Optical Shop Testing. — Wiley, 2018. — 890 p.
11. Sirohi R.S. Wave Optics and Its Applications. — CRC Press, 2019. — 540 p.

ISSN 3030-3907

ОБЗОР СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ ЧИСТОГО ТЕЛЛУРА ИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ТЕЛЛУРА В ЦЕЛЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЗЕЛЁНОЙ ЭКОНОМИКЕ

Миралиева Азиза Каюмовна
доцент кафедры «Метрология, стандартизация и сертификация»,
E-mail: aziza.miraliyeva5927@gmail.com
Юсупова Камила Муратовна
преподователь кафедры «Метрология, стандартизация и сертификация»
E-mail: yusupova.k.m@mail.ru
Холбоева Гулзода Икром қизи
студент группы 4-22 МСС
Совместный Белорусско-Узбекский межотраслевой институт прикладных технических квалификаций, г. Ташкент
E-mail: gulzodaxolboyeva47@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрены основные средства измерений, применяемые при получении чистого теллура из технического теллура. Показана роль метрологического контроля на стадиях входного анализа сырья, химической подготовки, электролитического рафинирования, вакуумной дистилляции, зонной плавки, контроля готового продукта и экологического мониторинга. Особое внимание уделено значению чистого теллура для зелёной экономики, в частности для производства тонкоплёночных солнечных элементов на основе CdTe, термоэлектрических материалов и полупроводниковой техники. Обосновано, что стабильное качество чистого теллура невозможно обеспечить без применения поверенных и калиброванных средств измерений, аналитического оборудования высокой чувствительности и оценки неопределённости результатов измерений.

Ключевые слова: теллур; технический теллур; чистый теллур; метрологическое обеспечение; средства измерений; зелёная экономика; солнечная энергетика; ICP-MS; GDMS; вакуумная дистилляция; зонная плавка.

Annotatsiya. Maqolada texnik tellurdan sof tellur olishda qo‘llaniladigan asosiy o‘lchov vositalari ko‘rib chiqilgan. Xomashyoni kirish tahlili, kimyoviy tayyorlash, elektrolitik tozalash, vakuumli distillash, zonali eritish, tayyor mahsulotni nazorat qilish va ekologik monitoring bosqichlarida metrologik nazoratning o‘rni ko‘rsatilgan. Sof tellurning yashil iqtisodiyot uchun, xususan, CdTe asosidagi yupqa plyonkali quyosh elementlari, termoelektrik materiallar va

ISSN 3030-3907

yarimo‘tkazgich texnikasi ishlab chiqarishdagi ahamiyatiga alohida e’tibor qaratilgan. Toza tellurning barqaror sifatini tasdiqlangan va kalibrlangan o‘lchov vositalari, yuqori sezuvchanlikka ega analitik uskunalar va o‘lchov natijalarining noaniqligini baholashdan foydalanmasdan ta’minlash mumkin emasligi asoslab berildi.

Kalit so‘zlar: tellur; texnik tellur; sof tellur; metrologik ta’minot; o‘lchov vositalari; yashil iqtisodiyot; quyosh energetikasi; ICP-MS; GDMS; vakuumli distillash; zonali eritish.

Annotation. The article discusses the main measuring instruments used in the production of pure tellurium from technical tellurium. The role of metrological control at the stages of input analysis of raw materials, chemical preparation, electrolytic refining, vacuum distillation, zone melting, control of the finished product and environmental monitoring is shown. Special attention is paid to the importance of pure tellurium for the green economy, in particular for the production of CdTe-based thin-film solar cells, thermoelectric materials and semiconductor technology. It is proved that the stable quality of pure tellurium cannot be ensured without the use of trusted and calibrated measuring instruments, high-sensitivity analytical equipment and uncertainty assessment of measurement results.

Keywords: tellurium; technical tellurium; pure tellurium; metrological support; measuring instruments; green economy; solar energy; ICP-MS; GDMS; vacuum distillation; zone melting.

1. ВВЕДЕНИЕ.

В условиях развития зелёной экономики возрастает потребность в материалах, применяемых в возобновляемой энергетике, энергосберегающих технологиях и высокотехнологичных отраслях промышленности. Одним из таких материалов является теллур — редкий полуметалл, незаменимый при производстве тонкоплёночных солнечных элементов на основе теллурида кадмия (CdTe), термоэлектрических материалов на основе теллурида висмута (Bi_2Te_3), полупроводниковых соединений и оптических компонентов.

Для всех перечисленных направлений требуется теллур высокой чистоты — 4N (99,99 %), 5N (99,999 %), 6N (99,9999 %) и выше. Технический теллур, получаемый как побочный продукт переработки медных и свинцовых руд, содержит примеси селена, серы, меди, свинца, висмута, железа, мышьяка и других элементов, снижающие его пригодность для применения в высокотехнологичных отраслях [1].

Получение чистого теллура из технического теллура является сложной многостадийной задачей. При этом особую роль играет

ISSN 3030-3907

метрологическое обеспечение — совокупность средств измерений, методик измерений, калибровки, поверки и оценки неопределённости результатов. Без точного измерения температуры, давления, химического состава, электрических параметров, pH и массы невозможно обеспечить стабильное получение теллура заданной чистоты [2].

Цель настоящей статьи — систематизировать основные средства измерений, применяемые на стадиях получения чистого теллура из технического теллура, и показать их роль в обеспечении качества продукции и экологической эффективности производства.

2. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЧИСТОГО ТЕЛЛУРА.

Процесс получения чистого теллура из технического может включать следующие последовательные стадии: входной контроль сырья, химическая подготовка, электролитическое рафинирование, вакуумная дистилляция, зонная плавка и аналитический контроль готового продукта [3].

Выбор конкретной схемы очистки определяется составом исходного сырья и требуемой степенью чистоты. Согласно опубликованным данным, вакуумная дистилляция позволяет повысить чистоту теллура с уровня 99,97 % до 5N (99,999 %). Для получения 6N–7N-продукта, обязательного для II–VI компаундных полупроводников и опто-электронных устройств, требуется последующая зонная плавка [4].

Исследования, проведённые с применением двухстадийного температурного контроля при вакуумной дистилляции, показали возможность эффективного разделения примесей с близкими показателями летучести (Na, Se), достигая при этом показателей чистоты 5N при нулевом образовании технологических отходов [5].

На каждом этапе технологического процесса необходимо контролировать определённые параметры. Сводная характеристика контролируемых величин по стадиям представлена в таблице 1.

Таблица 1

Контролируемые параметры по стадиям очистки теллура

Стадия	Основные контролируемые параметры	Требуемый уровень чистоты
Входной контроль	Элементный состав, влага, масса навески	3N–4N исходный

ISSN 3030-3907

Химическая подготовка	pH, ОВП, электропроводность, температура	4N промежуточный
Электролитическое рафинирование	Ток, напряжение, плотность тока, температура электролита	4N–5N
Вакуумная дистилляция	Температура, давление (вакуум), расход газа	5N
Зонная плавка	Температура зоны, скорость перемещения, состав атмосферы	6N–7N
Контроль продукта	Содержание 30–50 примесей методами ICP-MS, GDMS, XRD	6N–7N финальный

3. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ТЕЛЛУРА

Входной контроль является первой и одной из наиболее ответственных стадий. Его задача заключается в определении содержания основного компонента и примесей, влияющих на выбор схемы очистки. Используемые аналитические методы охватывают широкий диапазон чувствительности — от экспресс-анализа до следового определения на уровне нг/г [6].

Рентгенофлуоресцентный анализатор (XRF) применяется для быстрого определения элементного состава сырья без сложной пробоподготовки. Его преимущество — оперативность, недостаток — ограниченная чувствительность на уровне следовых концентраций.

ICP-OES (спектрометрия с индуктивно связанной плазмой) используется для определения широкого круга элементов в растворах. Современные осевые приборы обеспечивают определение кальция, магния, марганца, натрия и калия на уровне единиц пкг/мл. Для трудноопределяемых элементов — висмута, теллура, селена, сурьмы — требуется применение более чувствительных методов [7].

ICP-MS (масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой) обеспечивает чувствительность на уровне пкг/г и является основным методом определения ультраследовых примесей в растворах теллура.

ISSN 3030-3907

Позволяет количественно определять концентрации, но не выявляет пространственное распределение примесей в твёрдом образце [8].

GDMS (масс-спектрометрия тлеющего разряда) — «золотой стандарт» для анализа твёрдых высокочистых металлов и полупроводников. Обеспечивает пределы обнаружения 1–10 нг/г практически по всем элементам периодической системы, что делает его незаменимым при сертификации теллура чистоты 5N и выше [9].

Аналитические весы применяются для точного взвешивания навесок при подготовке проб. Точность взвешивания непосредственно влияет на достоверность результатов химического анализа и должна соответствовать требованиям аттестованных методик.

4. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ХИМИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ СЫРЬЯ.

Химическая подготовка технического теллура включает растворение, окисление, восстановление, осаждение и фильтрацию. На данной стадии необходим непрерывный контроль параметров растворов для обеспечения полноты химических превращений и минимизации потерь целевого компонента.

pH-метр используется для контроля кислотности раствора. Небольшие отклонения pH могут привести к неполному осаждению целевого компонента или совместному осаждению нежелательных примесей, что напрямую снижает выход и чистоту продукта.

ORP-метр (прибор для измерения окислительно-восстановительного потенциала) применяется для контроля процессов восстановления и окисления, особенно важных при переходах между различными степенями окисления теллура.

Кондуктометр позволяет оценивать концентрацию электролита и солевой состав раствора по его электропроводности. Термометры и термопары обеспечивают контроль температуры, поскольку скорость химических реакций и растворимость определяются температурным режимом.

Для точного дозирования реагентов применяются автоматические дозаторы, бюретки и титраторы, метрологические характеристики которых определяют воспроизводимость химической обработки. Точный контроль химических параметров позволяет сократить расход реагентов и снизить объём образующихся отходов — важный вклад в реализацию принципов зелёной экономики.

5. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОМ РАФИНИРОВАНИИ.

ISSN 3030-3907

Электролитическое рафинирование применяется для очистки теллура от ряда металлических примесей посредством электрохимического переноса вещества. Центр метрологических исследований в области материалов для электроники (C-MET, Индия) реализует многостадийную очистку теллура, включающую электрорафинирование с последующей вакуумной дистилляцией и зонной плавкой [10].

Амперметр и вольтметр применяются для измерения тока и напряжения. По этим параметрам рассчитываются плотность тока и выход по току. Отклонения напряжения могут свидетельствовать об изменении сопротивления электролита или загрязнении электродов.

Потенциостат обеспечивает точное управление электродным потенциалом при селективном выделении теллура и отделении примесей. pH-метр и кондуктометр контролируют состав электролита; термометры — температуру раствора. Аналитические весы применяются для расчёта выхода по току по массе катодного осадка до и после процесса.

Для обеспечения достоверности все электрические средства измерений должны проходить регулярную поверку или калибровку с оценкой вклада неопределённости тока, напряжения, массы и температуры в расчёт технологических показателей [2].

6. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ВАКУУМНОЙ ДИСТИЛЛЯЦИИ.

Вакуумная дистилляция является одним из двух основных физических методов глубокой очистки теллура. Эффективность процесса определяется разницей давления паров теллура и примесей при заданных температуре и давлении. Экспериментально установлено, что понижение температуры повышает чистоту дистиллята, однако снижает производительность; параметры испарения и конденсации должны быть тщательно оптимизированы [4].

Термопары (в зонах нагрева и конденсации) и оптические пирометры (бесконтактное измерение при высокотемпературных режимах) являются основными средствами контроля температурного режима. Применение контактных датчиков непосредственно в расплаве теллура нецелесообразно из-за риска загрязнения высокочистого материала.

Вакуумметры Пирани и ионизационные вакуумметры применяются для контроля остаточного давления в системе. Недостаточный вакуум ведёт к окислению продукта и снижению эффективности разделения. Расходомеры инертного газа (аргона, водорода) обеспечивают стабильную подачу защитной атмосферы и предотвращают попадание кислорода в рабочую зону [5].

ISSN 3030-3907

После дистилляции очищенный теллур подвергается аналитическому контролю с применением ICP-MS, ICP-OES или GDMS для подтверждения достигнутого уровня чистоты.

7. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ЗОННОЙ ПЛАВКЕ ТЕЛЛУРА.

Зонная плавка является наиболее точным методом глубокой очистки теллура, позволяющим достичь уровня чистоты 6N–7N. Теллур удобен для зонной плавки ввиду сравнительно высокой температуры плавления относительно других компонентов термоэлектрических материалов (Cd, Se). В ходе процесса примеси перераспределяются между твёрдой и жидкой фазами согласно коэффициенту сегрегации, концентрируясь в хвостовой части слитка [1].

Оптический пирометр позволяет измерять температуру расплавленной зоны без контакта с материалом — критически важное условие для предотвращения загрязнения. Термопары устанавливаются вдоль печи для контроля температурного градиента.

Датчики положения и энкодеры фиксируют скорость перемещения расплавленной зоны. Оптимальные скорости прохода зоны и число проходов определяются экспериментально: слишком высокая скорость не позволяет примесям перераспределиться, слишком низкая — снижает производительность [11].

Газоанализаторы кислорода и влаги контролируют защитную атмосферу (водород или аргон). Наличие кислорода приводит к окислению теллура и ухудшению качества продукта. Расходомеры поддерживают стабильную подачу защитного газа.

После зонной плавки разные участки слитка анализируются методами GDMS — метод обеспечивает обнаружение ультраследовых примесей (1–10 нг/г) непосредственно в твёрдом материале без пробоподготовки [9].

8. АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ГОТОВОГО ЧИСТОГО ТЕЛЛУРА.

Окончательный контроль предназначен для подтверждения соответствия чистого теллура требованиям высокотехнологичных отраслей. Набор применяемых методов определяется требуемым уровнем чистоты и назначением продукта. Ниже представлена характеристика основных методов.

ICP-MS — масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой. Метод обеспечивает определение следовых и ультраследовых примесей в растворах с чувствительностью до нескольких пкг/г. Незаменим при контроле теллура чистоты 4N–5N. Ограничение метода — невозможность

ISSN 3030-3907

получения информации о пространственном распределении примесей в твёрдом образце [8].

GDMS — масс-спектрометрия тлеющего разряда. Применяется непосредственно для анализа твёрдых образцов теллура. Обеспечивает пределы обнаружения 1–10 нг/г практически по всей таблице Менделеева, что делает его эталонным методом сертификации теллура чистоты 6N–7N [9].

ICP-OES — оптико-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой. Используется для определения широкого круга элементов в растворах, прежде всего на промежуточных стадиях контроля в диапазоне нг/мл — мкг/мл.

XRD — рентгенофазовый анализ. Позволяет определить фазовый состав материала и выявить посторонние соединения. Особенно актуален при оценке структурной однородности слитков теллура после зонной плавки.

SEM-EDS — сканирующая электронная микроскопия с энергодисперсионным анализом. Применяется для изучения микроструктуры, включений и локального химического состава. Работа по установлению «структурно-эффективностных» взаимосвязей в ультравысокочистом теллуре с применением комплекса многомасштабных аналитических методов, включая ICP-MS, SEM-EDS и XRD, опубликована в 2025 году [8].

9. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ.

Поскольку производство чистого теллура рассматривается как элемент зелёной экономики, экологическая безопасность производства приобретает нормообразующее значение. Для контроля сточных вод применяются pH-метры, кондуктометры, спектрометры ICP-OES и ICP-MS, позволяющие определять остаточное содержание теллура, селена, меди, свинца и других элементов.

Для контроля газовых выбросов используются газоанализаторы, пылемеры и аспирационные пробоотборники — для оценки содержания вредных газов и аэрозолей в воздухе рабочей зоны. Термогигрометры и приборы контроля концентрации вредных веществ обеспечивают соответствие санитарным требованиям.

Энергетический мониторинг осуществляется с применением счётчиков электроэнергии, анализаторов мощности и расходомеров охлаждающей воды. Их применение позволяет оценивать удельную энергоёмкость процесса и разрабатывать мероприятия по снижению

ISSN 3030-3907

ресурсопотребления — прямой вклад в реализацию принципов устойчивого развития.

10. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ИЗМЕРЕНИЙ.

Для обеспечения достоверности результатов все применяемые средства измерений должны соответствовать требованиям ГОСТ 8.010–2013 [12] и международного стандарта ISO/IEC 17025:2017 [13]. Последний устанавливает требования к технической компетентности испытательных и калибровочных лабораторий, в том числе обязательность оценки неопределённости измерений и метрологической прослеживаемости результатов к эталонам СИ [14].

К ключевым метрологическим требованиям относятся:

–наличие поверки или калибровки с документально подтверждённой прослеживаемостью к государственным или международным эталонам;

–применение аттестованных методик измерений и стандартных образцов состава;

–регулярная проверка стабильности аналитического оборудования (контрольные карты, внутрилабораторный контроль качества);

–оценка неопределённости результатов измерений в соответствии с JCGM 100:2008 (GUM) [14];

–ведение журналов технологического контроля и архивирование данных калибровки.

Применение данных требований особенно критично для средств измерений температуры при вакуумной дистилляции (ошибка ≥ 5 °C изменяет состав дистиллята), давления (недостаточный вакуум снижает эффективность разделения) и аналитических методов определения следовых элементов (неверная оценка чистоты готового продукта).

11. ЗНАЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ЗЕЛЁНОЙ ЭКОНОМИКИ.

Применение современных средств измерений в производстве чистого теллура создаёт синергетический эффект, охватывающий одновременно качественные, экономические и экологические аспекты. Это обусловлено тем, что теллур высокой чистоты используется:

– в тонкоплёночных CdTe-солнечных элементах — КПД которых напрямую определяется чистотой исходных материалов;

– в термоэлектрических материалах на основе Bi_2Te_3 — для утилизации промышленного низкопотенциального тепла;

– в полупроводниковых соединениях — для детекторов ИК-излучения, фотоприёмников и стратегической электроники.

ISSN 3030-3907

Применение поверенных средств измерений и аттестованных методик позволяет: повысить выход годного продукта, сократить расход реагентов, уменьшить объём отходов производства, снизить энергоёмкость процесса и повысить конкурентоспособность продукции. Таким образом, метрологическое обеспечение является не вспомогательным, а системообразующим элементом производства чистого теллура.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Получение чистого теллура из технического теллура представляет собой многостадийный технологический процесс, включающий химическую, электрохимическую и термическую очистку. На каждой стадии применяется специализированный комплекс средств измерений: XRF, ICP-OES, ICP-MS и GDMS — для аналитического контроля; pH-метры, ORP-метры и кондуктометры — при химической подготовке; амперметры, вольтметры и потенциостаты — при электролизе; вакуумметры, термопары и пирометры — при вакуумной дистилляции; датчики положения, газоанализаторы и расходомеры — при зонной плавке.

Метрологическое обеспечение, реализуемое в соответствии с требованиями ISO/IEC 17025:2017 и ГОСТ 8.010–2013, является обязательным условием обеспечения стабильного качества чистого теллура, экологической безопасности производства и развития экологически ориентированных технологий зелёной экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Guo S., Dong X., Zheng L. et al. Establishment of "Structure–Efficiency" Relationship in Ultra-High Purity Metal Systems: Multi-Scale Analysis of Tellurium as a Prototype // Advanced Science. — 2025. — DOI: 10.1002/advs.202508531. [Электронный ресурс]. — URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC12561281/ (дата обращения: 01.06.2026).

2. ISO/IEC 17025:2017. General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories. — Geneva : ISO, 2017. — 30 p.

3. Purification Principles and Methodologies to Produce High-Purity Tellurium / A. Schönleber [et al.] // Canadian Metallurgical Quarterly. — 2024. — DOI: 10.1080/00084433.2024.2355031. [Электронный ресурс]. — URL: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00084433.2024.2355031 (дата обращения: 01.06.2026).

4. Centre for Materials for Electronics Technology (C-MET). High Purity Tellurium [Electronic resource]. — Pune : C-MET, 2024. — URL: https://www.cmet.gov.in/high-purity-tellurium (дата обращения: 01.06.2026).

ISSN 3030-3907

5. Novel Dual-Stage Temperature Control—Vapor Damper Vacuum Distillation Method for 5N High-Purity Tellurium Preparation with Zero Waste Emission // Separation and Purification Technology. — 2025. — DOI: 10.1016/j.seppur.2025.038456. [Электронный ресурс]. — URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586625038456 (дата обращения: 01.06.2026).
6. Determination of Trace Concentrations of Elements in High Purity Tellurium by Radio Frequency Glow Discharge Optical Emission Spectrometer (RF-GDOES) / Spectrochimica Acta. — 2007. — [Электронный ресурс]. — URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18153998/ (дата обращения: 01.06.2026).
7. ICP-OES as a Viable Alternative to ICP-MS for Trace Analysis: Meeting the Detection Limits Challenge // Spectroscopy Online. — 2026. [Электронный ресурс]. — URL: https://www.spectroscopyonline.com/view/icp-oes-as-a-viable-alternative-to-icp-ms-for-trace-analysis-meeting-the-detection-limits-challenge (дата обращения: 01.06.2026).
8. Infinita Lab. Overview of GDMS, ICP-MS, ICP-OES, IGA, XRF & TXRF Techniques [Electronic resource]. — 2026. — URL: https://infinitalab.com/chemicals/a-brief-overview-on-gdms-icp-ms-icp-oes-iga-xrf-txrf/ (дата обращения: 01.06.2026).
9. Purification of Tellurium to Nearly 7N Purity // Materials Science and Engineering B. — 2006. — [Электронный ресурс]. — URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921510706002005 (дата обращения: 01.06.2026).
10. Preparation of High Purity Tellurium by Zone Refining Process / W.G. Kim [et al.] // TMS Annual Meeting & Exhibition. — Springer, 2016. — DOI: 10.1007/978-3-319-48764-9_332.
11. Experimental and Simulation Study of Tellurium Zone Refining Based on Decreasing Equilibrium Distribution Coefficients // Journal of Materials Processing Technology. — 2025. — DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2025.003787. [Электронный ресурс]. — URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468519425003787 (дата обращения: 01.06.2026).
12. ГОСТ 8.010–2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения. — М. : Стандартинформ, 2014.
13. ГОСТ ISO/IEC 17025–2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. — М. : Стандартинформ, 2019. — 36 с.

14. JCGM 100:2008. Evaluation of Measurement Data — Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM). — Sèvres : BIPM, 2008. — 134 p.
15. Harris D.C. Quantitative Chemical Analysis. — 10th ed. — New York : W.H. Freeman and Company, 2020. — 896 p.
16. Skoog D.A., Holler F.J., Crouch S.R. Principles of Instrumental Analysis. — 7th ed. — Boston : Cengage Learning, 2018. — 992 p.
17. Preparation of 5N-Grade High-Purity Tellurium via Fractional Vacuum Distillation with Mechanism of Deep Impurity Removal // Separation and Purification Technology. — 2026. — DOI: 10.1016/j.seppur.2026.001048. [Электронный ресурс]. — URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586626001048 (дата обращения: 01.06.2026).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСТОГО ТЕЛЛУРА В ОБЛАСТИ ЗЕЛЁНОЙ ЭКОНОМИКИ

Савриева Икбол Баходировна
Ташкентский филиал Самаркандского университета ветеринарной медицины, животноводства и биотехнологии
Миралиева Азиза Каюмовна
Совместный Белорусско-Узбекский межотраслевой институт прикладных технических квалификаций, г.Ташкент
Юсупова Камила Муратовна
Совместный Белорусско-Узбекский межотраслевой институт прикладных технических квалификаций, г.Ташкент
Рашидов Абдумалик Абдулхай ўғли
Совместный Белорусско-Узбекский межотраслевой институт прикладных технических квалификаций, г.Ташкент
E-mail: aziza.miraliyeva5927@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается роль чистого теллура как стратегического материала в контексте перехода к зелёной экономике. Анализируются основные направления его применения в тонкоплёночной фотовольтаике на основе теллурида кадмия (CdTe), термоэлектрических системах и технологиях рециклинга. Обсуждаются проблемы дефицита сырья, экологической безопасности производства и стратегические риски концентрации поставок. Сделан вывод о необходимости комплексной государственной политики в области критических минералов.

Ключевые слова: теллур; зелёная экономика; CdTe-фотовольтаика; термоэлектрические модули; критические минералы; устойчивое развитие; энергетический переход.

Annotation. The article examines the role of pure tellurium as a strategic material in the context of the transition to a green economy. The main directions of its application in thin-film photovoltaics based on cadmium telluride (CdTe), thermoelectric systems and recycling technologies are analyzed. The problems of shortage of raw materials, environmental safety of production and strategic risks of concentration of supplies are discussed. The conclusion is made about the need for a comprehensive state policy in the field of critical minerals.

Keywords: tellurium; green economy; CdTe-photovoltaics; thermoelectric modules; critical minerals; sustainable development; energy transition.

Annotatsiya. Maqolada yashil iqtisodiyotga o‘tish sharoitida sof tellurning strategik material sifatidagi o‘rni ko‘rib chiqiladi. Kadmiy telluridi (CdTe) asosidagi yupqa plyonkali fotovoltaikada, termoelektr tizimlarida va qayta ishlash texnologiyalarida uni qo‘llashning asosiy yo‘nalishlari tahlil qilinadi. Xomashyo

ISSN 3030-3907

taqchilligi, ishlab chiqarishning ekologik xavfsizligi va ta’minotni konsentratsiyalashning strategik xatarlari muhokama qilinadi. Muhim minerallar sohasida kompleks davlat siyosati zarurligi to‘g‘risida xulosa chiqarildi.

Kalit so‘zlar: tellur; yashil iqtisodiyot; CdTe-fotovoltaika; termoelektrik modullar; muhim minerallar; barqaror rivojlanish; energetik o‘tish.

1. ВВЕДЕНИЕ.

Переход мировой экономики к низкоуглеродной модели развития обусловил резкий рост спроса на ряд редких и рассеянных элементов, являющихся незаменимыми компонентами чистых технологий. Среди них особое место занимает теллур (Te, порядковый номер 52) — полуметалл XVI группы периодической системы, долгое время воспринимавшийся лишь как второстепенный побочный продукт медеплавильного производства.

Сегодня чистый теллур (чистотой 99,99 % и выше) является ключевым компонентом тонкоплёночных солнечных элементов на основе теллурида кадмия (CdTe), термоэлектрических преобразователей, систем накопления энергии и ряда других технологий, формирующих облик зелёной экономики XXI века. По данным Международного энергетического агентства (МЭА), в сценарии устойчивого развития (SDS) спрос на теллур к 2040 году возрастёт семикратно по сравнению с текущим уровнем производства — примерно 500 тонн в год [1].

При этом планы крупнейшего производителя CdTe-модулей компании First Solar по наращиванию мощностей до 16 ГВт к 2025 году, согласно расчётам Института экологических наук Автономного университета Барселоны, уже сами по себе способны превысить совокупный объём мировой добычи теллура [2]. Это делает вопрос об устойчивости цепочек поставок данного элемента одним из ключевых в повестке энергетического перехода.

Цель настоящей статьи — систематизировать актуальные направления применения чистого теллура в зелёной экономике, оценить масштабы его востребованности и обозначить ключевые вызовы, стоящие перед данным сегментом.

2. ТЕЛЛУР КАК КРИТИЧЕСКИЙ МИНЕРАЛ: РЕСУРСНАЯ БАЗА И РЫНОК.

Теллур относится к числу наиболее редких элементов земной коры: его кларк оценивается приблизительно в 1–5 мкг/кг, что сопоставимо с золотом. Промышленная добыча осуществляется преимущественно как попутного продукта при электролитическом рафинировании меди: анодный

ISSN 3030-3907

шлам, образующийся в ходе этого процесса, концентрирует теллур до 3–8 %.

По данным Геологической службы США (USGS), мировое производство рафинированного теллура составляет около 500–600 тонн в год, при этом на долю Китая приходится свыше 60 % мирового выпуска. Среди прочих значимых производителей — Япония, Канада, Россия и ряд стран Латинской Америки [3]. Столь высокая географическая концентрация производства придаёт теллуру статус «критического минерала» в классификациях Европейского союза, США и ряда других юрисдикций.

Средняя цена теллура на американском рынке в 2022 году составила около 70 долл./кг, что практически совпало с уровнем 2021 года (69,72 долл./кг). Производственные затраты несколько возросли, однако были частично компенсированы увеличением предложения. В период пика спроса 2010–2012 годов цена превышала 300 долл./кг [3].

В июне 2022 года правительство Китая утвердило план развития возобновляемой энергетики с целевыми показателями 25 % ВИЭ в энергопотреблении и 1,2 млрд кВт суммарной мощности ветровых и солнечных установок к 2030 году [3]. Реализация этих планов неизбежно приведёт к дополнительному росту спроса на теллур для тонкоплёночных CdTe-модулей.

3. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЧИСТОГО ТЕЛЛУРА В ЗЕЛЁНОЙ ЭКОНОМИКЕ.

3.1. Тонкоплёночная фотовольтаика на основе CdTe

Наиболее значимым применением чистого теллура в зелёной энергетике является производство тонкоплёночных солнечных модулей на основе теллурида кадмия. По данным NREL (Национальной лаборатории возобновляемой энергетики США), CdTe-элементы занимают второе место среди фотовольтаических технологий после кристаллического кремния, обеспечивая 21 % рынка в США и 4 % мирового рынка по состоянию на 2022 год. За последние 15 лет КПД промышленных CdTe-модулей более чем удвоился, а масштаб развёртывания вырос с мегаватт до гигаватт [4].

Солнечный элемент CdTe-типа представляет собой многослойную структуру, в которой поглощающий слой теллурида кадмия толщиной 2–4 мкм нанесён методом сублимации на стеклянную подложку. Ширина запрещённой зоны CdTe (1,45 эВ) близка к теоретически оптимальному значению для одиночного p-n-перехода, что обусловливает высокий КПД поглощения солнечного излучения. В современных ячейках теллурид кадмия-селена (CdSeTe) применяется совместно с CdTe для улучшения световой абсорбции [4].

ISSN 3030-3907

В августе 2022 года Министерство энергетики США запустило Консорциум по ускорению развития CdTe-фотовольтаики (CdTe Accelerator Consortium) с бюджетом 20 млн долл. под управлением NREL. Программа нацелена на достижение КПД элементов свыше 24 % к 2025 году и свыше 26 % к 2030 году при одновременном снижении стоимости модулей ниже 0,15 долл./Вт [5].

Период окупаемости энергозатрат на производство CdTe-модуля (EPBT) составляет, как правило, 0,8–1,5 года, тогда как для модулей из кристаллического кремния этот показатель равен 2–4 годам [6]. С учётом срока службы 25–30 лет это означает, что на протяжении 93–97 % жизненного цикла модуль генерирует практически безуглеродную электроэнергию.

Вместе с тем оценки доступности теллура для CdTe-производства остаются дискуссионными. Системно-динамическое моделирование цепочек поставок теллура на период 2023–2050 годов показывает, что при отсутствии новых источников добычи и рециклинга нарастающий дефицит сырья станет одним из главных ограничителей масштабирования технологии [6].

3.2. Термоэлектрические преобразователи энергии.

Второй ключевой областью применения является термоэлектрика. Теллурид висмута (Bi2Te3) представляет собой наиболее коммерчески зрелый термоэлектрический материал, хорошо зарекомендовавший себя в электронном охлаждении и постепенно завоёвывающий позиции в генерации электроэнергии из низко- и среднетемпературного тепла. Обширные исследования последнего десятилетия, направленные на повышение коэффициента термоэлектрической эффективности ZT, привлекают интерес как академической, так и промышленной среды [7].

Термоэлектрические генераторы (ТЭГ) способны преобразовывать тепловую энергию непосредственно в электрическую посредством эффекта Зеебека. Их ключевые преимущества в контексте зелёной экономики — отсутствие движущихся частей, экологическая безопасность, высокая надёжность и способность утилизировать тепло в диапазоне ниже 573 К, где сосредоточено около 50 % промышленного теплосброса [8].

В практике зелёной экономики ТЭГ на основе Bi2Te3 находят применение в следующих сегментах:

утилизация промышленного тепла — термогенераторы на трубах отходящих газов, позволяющие снизить удельное потребление первичного топлива;

ISSN 3030-3907

рекуперация тепла выхлопных газов в гибридных и электрических автомобилях с потенциальным снижением расхода топлива на 3–5 %;

автономное питание датчиков и телеметрических систем в труднодоступных районах.

Разработки 2023 года в области наноструктурированных Bi2Te3-материалов, полученных методами порошкового искро-плазменного спекания, демонстрируют значения ZT в диапазоне 1,0–1,4 при комнатных температурах, открывая перспективу коммерческого внедрения ТЭГ в промышленных масштабах [9].

3.3. Рециклинг и циркулярная экономика.

По мере выхода из эксплуатации первых промышленных партий CdTe-модулей (со сроком службы 25–30 лет) рециклинг становится значимым источником вторичного теллура. Компания First Solar реализует программы переработки, позволяющие извлекать до 95 % материалов из отработавших панелей [10]. Системно-динамические модели свидетельствуют, что к 2050 году переработка снятых с эксплуатации модулей способна обеспечить до 17 % совокупного спроса на теллур и до 34 % спроса в сегменте CdTe-фотовольтаики [6].

Таким образом, рециклинг приобретает не только экологическое, но и стратегическое значение как инструмент снижения зависимости производства от первичного сырья.

4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ТЕЛЛУРА.

Несмотря на ведущую роль в переходе к чистой энергетике, производство и применение теллура сопряжено с рядом экологических вопросов, требующих взвешенной оценки.

Токсикологический профиль. Элементарный теллур и большинство его неорганических соединений обладают умеренной токсичностью. Теллурид кадмия, используемый в CdTe-панелях, значительно менее биодоступен, чем растворимые соли кадмия, что существенно снижает его экологическую опасность при надлежащем обращении и соблюдении регламентов утилизации.

Углеродный след. Анализ жизненного цикла (LCA) тонкоплёночных CdTe-панелей показывает, что производство CdTe требует меньшего количества кремниевых отходов и редкоземельных металлов по сравнению с традиционными технологиями, что обусловливает более низкие выбросы на протяжении всего жизненного цикла [6]. Период окупаемости углеродных затрат при этом не превышает 1,5 года.

ISSN 3030-3907

Инфраструктура утилизации. Развитие замкнутых цепочек обращения с CdTe-модулями является одновременно экологической необходимостью и экономической возможностью. Расширение мощностей переработки снижает зависимость производства от первичного сырья и уменьшает экологический след добычи меди как основного источника теллура.

5. СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ И РЕГУЛЯТОРНАЯ СРЕДА.

5.1. Дефицит сырья и риски цепочек поставок

Главным системным ограничением для масштабного использования теллура остаётся его ресурсная база. Производство теллура жёстко привязано к объёмам выплавки меди: увеличить его выпуск без пропорционального роста медеплавильных мощностей крайне затруднительно. МЭА прогнозирует, что в сценарии высокого проникновения CdTe-технологии спрос на теллур к 2040 году может достичь 1400 тонн при нынешнем производстве около 500 тонн — нагрузка, способная спровоцировать устойчивый дефицит [1].

Возможные меры реагирования включают:

разработку новых месторождений теллуросодержащих руд (в том числе золото-теллуридных жил);

систематическое извлечение теллура из переработки электронного лома;

снижение удельного расхода теллура за счёт уменьшения толщины поглощающих слоёв до субмикронных значений;

разработку теллур-замещающих и тандемных фотовольтаических технологий.

5.2. Регуляторный контекст.

Осознание стратегической важности критических минералов нашло отражение в регуляторных инициативах ведущих экономик мира. В марте 2023 года Европейская комиссия представила законодательное предложение по критическому сырью (Critical Raw Materials Act, CRMA), впоследствии принятое и опубликованное 3 мая 2024 года как Регламент ЕС 2024/1252 [11].

Документ устанавливает ориентиры для внутреннего производства стратегического сырья к 2030 году: не менее 10 % потребностей ЕС — за счёт собственной добычи, не менее 40 % — за счёт внутренней переработки, не менее 25 % — за счёт рециклинга. Одновременно введено требование, согласно которому ни одна третья страна не должна обеспечивать более 65 % потребностей ЕС в каком-либо стратегическом сырье на любом этапе цепочки поставок [11].

ISSN 3030-3907

В США аналогичные цели реализуются в рамках Закона о снижении инфляции (Inflation Reduction Act) и программ Министерства энергетики, в частности упомянутого Консорциума CdTe Accelerator Consortium.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Чистый теллур занимает уникальное место в технологической экосистеме зелёной экономики. Его применение в тонкоплёночной CdTe-фотовольтаике, термоэлектрических системах и технологиях рециклинга делает этот элемент незаменимым компонентом низкоуглеродного энергетического перехода.

Вместе с тем крайняя ограниченность ресурсной базы и высокая географическая концентрация производства формируют значительные стратегические риски. Проведённый анализ показывает, что без системного решения проблемы дефицита теллура масштабирование ряда ключевых зелёных технологий будет существенно ограничено.

Комплексная политика в области критических минералов, включающая стимулирование геологоразведочных работ, развитие рециклинговой инфраструктуры, поддержку НИОКР по снижению удельного расхода теллура и диверсификацию цепочек поставок, является необходимым условием устойчивого использования данного ресурса и успешного завершения энергетического перехода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. International Energy Agency. The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions [Electronic resource]. — Paris : IEA, 2021. — URL: https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions (дата обращения: 01.06.2026).
2. First Tellurium Corp. First Tellurium Reports on Solar PV and Surging Demand for Silver and Tellurium [Electronic resource]. — GlobeNewswire, 2023. — URL: https://www.globenewswire.com/news-release/2023/03/15/2627658/0/en/index.html (дата обращения: 01.06.2026).
3. U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries 2023: Tellurium [Electronic resource]. — Reston : USGS, 2023. — URL: https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023-tellurium.pdf (дата обращения: 01.06.2026).
4. U.S. Department of Energy. Cadmium Telluride Solar Cell [Electronic resource]. — Washington, D.C. : DOE, 2025. — URL: https://www.energy.gov/cmei/systems/cadmium-telluride (дата обращения: 01.06.2026).
5. National Renewable Energy Laboratory. Cadmium Telluride PV Accelerator Consortium [Electronic resource]. — Golden : NREL, 2023. — URL:

ISSN 3030-3907

https://ceramics.org/ceramic-tech-today/video-cadmium-telluride-solar-technology-gains-momentum/ (дата обращения: 01.06.2026).
6. Wichrowska A. et al. Cadmium Telluride (CdTe) Thin-Film Photovoltaics: A Sustainable Energy Solution to Support National Energy Resilience [Electronic resource] // ResearchGate. — 2026. — URL: https://www.researchgate.net/publication/396567052 (дата обращения: 01.06.2026).
7. Cao T., Shi X.-L., Li M. et al. Advances in Bismuth-Telluride-Based Thermoelectric Devices: Progress and Challenges // eScience. — 2023. — Vol. 3, № 3. — P. 100122. — DOI: 10.1016/j.esci.2023.100122.
8. Bismuth Telluride-Based Thermoelectric Devices for Low-Temperature Power Generation / N. Kumari [et al.] // arxiv. — 2025. — URL: https://arxiv.org/pdf/2507.06101 (дата обращения: 01.06.2026).
9. Bismuth Telluride-Based Efficient Thermoelectric Power Generator with Electrically Conducive Interfaces for Harvesting Low-Temperature Heat / ScienceDirect // Applied Materials Today. — 2022. — DOI: 10.1016/j.apmt.2022.000314.
10. Zimtu Capital Corp. Why Tellurium Could Be the Ultimate Key to Next-Gen Solar Panels [Electronic resource]. — 2024. — URL: https://www.zimtu.com/tellurium-next-gen-solar-panels/ (дата обращения: 01.06.2026).
11. European Union. Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council establishing a Framework for Ensuring a Secure and Sustainable Supply of Critical Raw Materials [Electronic resource]. — Official Journal of the European Union. — 2024. — URL: https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/critical-raw-materials/ (дата обращения: 01.06.2026).
12. International Energy Agency. Global Critical Minerals Outlook 2024 [Electronic resource]. — Paris : IEA, 2024. — URL: https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2024 (дата обращения: 01.06.2026).
13. Fthenakis V. M. End-of-Life Management and Recycling of PV Modules // Energy Policy. — 2000. — Vol. 28, № 14. — P. 1051–1058. — DOI: 10.1016/S0301-4215(00)00091-4.
14. Green M. A. et al. Solar Cell Efficiency Tables (Version 63) // Progress in Photovoltaics: Research and Applications. — 2024. — Vol. 32, № 1. — P. 3–13. — DOI: 10.1002/pip.3750.
15. Bleiwas D. I. Byproduct Mineral Commodities Used for the Production of Photovoltaic Solar Cells. USGS Circular 1365 [Electronic resource]. — Reston :

ISSN 3030-3907

U.S. Geological Survey, 2010. — URL: https://pubs.usgs.gov/circ/1365/pdf/circ1365.pdf (дата обращения: 01.06.2026).

ISSN 3030-3907

“MEHNAT MUHOFAZASI VA TEXNIKA XAVFSIZLIGI” FANINI O‘QITISHDA INTEGRATIV TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA AXBOROT-METODIK TA’MINOTNI TAKOMILLASHTIRISH METODIKASI

Maxmudov Baxtiyor Xayrullayevich
Buxoro davlat universiteti mustaqil-tadqiqotchisi
Tursunova Nargiza Nigmatovna
Buxoro davlat texnika universiteti “Sanoat ekologiyasi” kafedrasi dotsenti
E-mail: nnntursunova@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu ilmiy maqolada “Mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi” fanini o‘qitishda integrativ texnologiyalar asosida axborot-metodik ta’minotni takomillashtirish metodikasi masalalari tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari fanni o‘qitish samaradorligini oshirish bo‘yicha ilmiy-uslubiy tavsiyalar bilan asoslangan.

Kalit so‘zlar: mehnat muhofazasi, texnika xavfsizligi, o‘qitish metodikasi, interfaol metodlar, integrativ texnologiyalar, o‘qitish shakllari, nazorat turlari, axborot-metodik ta’minot.

Аннотация. В данной научной статье рассматриваются вопросы методики совершенствования информационно-методического обеспечения на основе интегративных технологий при преподавании дисциплины «Охрана труда и техника безопасности». Результаты исследования обоснованы научно-методическими рекомендациями по повышению эффективности преподавания естественных наук.

Ключевые слова: охрана труда, техника безопасности, методика обучения, интерактивные методы, интегративные технологии, формы обучения, виды контроля, информационно-методическое обеспечение.

Abstract. This scientific article analyzes the issues of improving the methodology of information and methodological support based on integrative technologies in teaching the subject "Labor Protection and Technical Safety". The results of the study are substantiated by scientific and methodological recommendations for improving the effectiveness of teaching science.

Keywords: labor protection, technical safety, teaching methodology, interactive methods, integrative technologies, teaching forms, types of control, information and methodological support.

KIRISH.

Jahonda zamonaviy texnologiyalar kun sayin rivojlanib, axborotlashtirish jarayoni tez sur’atlar bilan o‘sib borayotgan hozirgi davrda ta’lim sohasida axborot resurslaridan foydalanishga dunyo hamjamiyati katta e’tibor qaratmoqda. Jumladan, ta’lim muhitini axborotlashtirish, vizual modellashtirish, multimediali

ISSN 3030-3907

resurslar va imitasion modellashtirish texnologiyalari asosida masofali o‘qitish bo‘yicha keng ko‘lamli ishlar olib borilmoqda. Dunyoning AQSh, Rossiya, Xitoy, Janubiy Koreya, Yaponiya, Buyuk Britaniya kabi rivojlangan davlatlarning ta’lim tizimida imitasion modellashtirish texnologiyalarini o‘quv jarayonida qo‘llashga oid tadqiqotlar amalga oshirilmoqda.

Dunyoda xalqaro tashkilotlar va rivojlangan davlatlar tomonidan qabul qilingan 2030 yilgacha bo‘lgan davr yangi ta’lim konsepsiyasida ta’lim – taraqqiyotning asosiy harakatlantiruvchi kuchi va barqaror rivojlanish maqsadlariga yetaklovchi muhim faoliyat sifatida e’tirof etilmoqda1. Shuningdek, uzluksiz ta’lim tizimida o‘quv jarayonlarini tashkil etishda imitasion modellashtirish mexanizmlarini takomillashtirish, ta’lim tizimida olib borilayotgan keng ko‘lamli islohotlar doirasida aniq va tabiiy fanlarni o‘qitish tizimini tubdan isloh qilish, ta’limda axborot-kommunikasion vositalar hamda imitasion modellarni joriy qilish va ulardan samarali foydalanish bo‘yicha ilmiy-amaliy ishlar olib borilmoqda [1].

Mamlakatimizda so‘nggi yillarda ta’lim tizimiga raqamli texnologiyalarni joriy etish bo‘yicha me’yoriy hujjatlar ishlab chiqilmoqda shu bilan birgalikda ta’lim tizimida axborot-kommunikatsiya sohasida tub o‘zgarishlar amalga oshirilmoqda. Jumladan, “Mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi” fanini o‘qitish metodikasini zamonaviy texnologiyalar asosida takomillashtirish asosida o‘qitish o‘quv jarayonida dolzarbligicha qolmoqda. O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha Harakatlar strategiyasida yosh-avlod bilim va tafakkurini rivojlantirib borishda avvalo “yosh avlodning ijodiy va intellektual salohiyatini qo‘llab-quvvatlash va ro‘yobga chiqarish” kabi muhim vazifalar ilgari surilgan. Ushbu ustuvor vazifalarni amalga oshirish natijasida talabalar o‘quv jarayonida axborot texnologiyalari fanida kompyuter imitatsion modellar asosida o‘qitishni tarkib toptirishning metodik shart-sharoitlarini takomillashtirishni taqozo qiladi.

ADABIYOTLAR TAHLILI. Oliy ta’limni modernizatsiya qilish, ilg‘or ta’lim texnologiyalariga asoslangan holda ijtimoiy soha va iqtisodiyot tarmoqlarini rivojlantirish ko‘rsatib o‘tilgan”, hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me’yoriy-huquqiy hujjatlarda ta’lim sifatini ta’minlash va uni boshqarishni takomillashtirishda axborotlashtirilgan muhitni yaratish, joriy qilish, oliy ta’lim tizimida axborotlar almashinuvi jarayonlarini tizimli tadqiq qilish, axborot-ta’lim muhitiga yaxlit tizim sifatida qarash, ushbu muhitni takomillashtirishga bo‘lgan umumiy konseptual va metodik yondashuvlarni ishlab chiqish vazifalari belgilangan. Ushbu vazifalar yechimini topishda texnika yo‘nalishidagi oliy ta’lim muassasalarini axborot-kommunikasiya vositalari orqali o‘qitish tizimini takomillashtirish ehtiyoji mavjud. Ushbu ehtiyojdan kelib

ISSN 3030-3907

chiqib, har bir oliy ta’lim muassasasida multimediali o‘quv auditoriyalari tashkil etilmoqda, mamlakatimiz texnika yo‘nalishidagi oliy ta’lim muassasalarida raqamlashtirish orqali yuqori malakali mutaxassislar tayyorlash jarayonini jadallashtirish, shuningdek, xalqaro hamkorlar bilan ishlarini jonlantirishga e’tibor berilmoqda. Biroq, tadqiqot doirasida sohadagi vaziyatni tahlil qilish natijasida, texnika yo‘nalishidagi oliy ta’lim muassasalarida “Axborot texnologiyalari” o‘quv kursini kompyuter imitasion modellar asosida o‘qitishni takomillashtirish va raqamlashtirish kontekstidagi faoliyati ayrim o‘rinlarda tizimlashtirishni talab etmoqda [2].

Jahon andazalariga mos holda tayyorlanayotgan mutaxassislarning «Mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi» fanini o‘qitishga oid kompetentligini oshirish bevosita ularning jamiyatda undan foydalanishga tayyorligi darajasiga bog‘liq ekanligi bir qator olimlarning ilmiy tadqiqot ishlarida tahlil qilingan.

Bugungi kunda imitasion modellashtirish zamonaviy texnologiyaga aylanib bormoqda va uni turli sohalarda qo‘llash jadal suratlar bilan rivojlanib bormoqda.

“Simulyatsiya” so‘zi “Imitatsiya” so‘zi bilan sinonim bo‘lib, o‘xshatish, taqlid qilish, obrazli ro‘l o‘ynash degan ma’nolarni anglatadi. Simulyatsiya o‘qitishda “Rollar o‘ynash” orqali talabalarda qiziqish uyg‘otadi. Ushbu ko‘nikma o‘qituvchilar va talabalar tomonidan auditoriyada biron bir rolni oldindan tayyorgarliksiz, ya’ni qo‘shimcha mashg‘ulotlarsiz yoki takroriy mashg‘ulotlarsiz rol o‘ynash orqali qo‘llaniladi.

Bugungi kunda talabalarni jahon talablari darajasida tayyorlash borasida turli ko‘rinishdagi uslubiy va metodik ishlanmalar yaratilmoqda. Bu borada yetakchi xorijiy ilmiy-tadqiqot muassasalari (AQSh, Buyuk Britaniya, Isroil, Kanada)da olib borilayotgan ishlanmalar diqqatga sazovordir. Chunonchi, turli ilmiy-texnik muammolarni yechimini topish va ilmiy-tadqiqotlar o‘tkazish uchun imitatsion modellar usulidan foydalanish bo‘yicha yetarli tajriba to‘plangan [2].

Xorijiy davlatlarning o‘quv uslubiy adabiyotlari va ilmiy tadqiqot ishlarini tahlili shuni ko‘rsatdiki, «Mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi» fanini o‘qitishning vositalari asosida o‘quv jarayonini samaradorligini oshirishga qaratilgan uslubiy – metodik ishlanmalar va darsliklarning aksariyati texnik yoki iqtisodiy mutaxassisliklar talabalari uchun mo‘ljallangan bo‘lib, texnika yo‘nalishidagi oliy ta’lim muassasalari o‘quv jarayonini talabalariga mos ravishdagi o‘quv qo‘llanmalarni yaratish masalasiga kam e’tibor qaratilgan.

AQShning Vashington universiteti ilmiy tadqiqotchilari A.N.Meltzoff, va R.A.Williamsonlarning “Imitation and modeling” ilmiy tadqiqot ishlarida kuzatish va taqlid qilish orqali talabalarni bilim olish imkoniyati afzal ekanligi asoslangan.

ISSN 3030-3907

Ma’lumki, taqlid – bu yosh bolalar axborotdan foydalana olish vositasidir avlodlar tomonidan o‘rganilgan. Imitasiya tahsil oluvchilar uchun samarali o‘rganish usulini, turli ko‘nikmalarga ega bo‘lish xususiyatini shakllantirishga xizmat qiladi.

Imitasion modellashtirish mustaqil kashfiyotga qaraganda tezroq va sinovdan, xatolardan ko‘ra xavfsizroq o‘rganish turi. Hozirga qadar Imitasiya tushunchasi kuzatuvchi modelning harakatini takrorlashini anglatadigan ma’noda ishlatiladi. Bir necha o‘n yillik sinchkovlik bilan o‘tkazilgan tahlil bizga imitasiya boshqa ijtimoiy ta’lim turlaridan ajratish foydali ekanligini o‘rgatdi. Ijtimoiy o‘rganish va haqiqiy imitasiyaning turli mexanizmlari mavjud, ular aniqlangan va o‘lchangan bo‘lsa boshqa turlarga qaraganda odamlarda ko‘proq namoyon bo‘ladi.

D.G.Ryansning (1964) tarifiga ko‘ra, “Imitasiya - bu aniq tasvir real vaziyat” imitasiya qilingan o‘quv jarayonni teskari aloqa mexanizmi sifatida nazorat dasturlarini ishlab chiqishni taqozo etadi.

Imitasiya turlari:

- Identifikatsiya imitasiyasi: identifikatsiya imitasiyasida haqiqiy tizim model sifatida ishlatiladi.

- Replikatsiya imitasiyasi: replikatsiya imitasiyasida operasion model oddiy tizim muhitda ishlatiladi.

- Laboratoriya imitasiyasi: laboratoriya imitasiyasida replikatsiya asosida real tizimning xususiyatlari ko‘rsatiladi.

- Kompyuter imitasiyasi: kompyuter imitasiyasi - bu haqiqatning mavhum tizim ko‘rinishi kompyuter yordamida ifodalanadi [3].

Pedagogikadagi integratsion yondashuv pedagogik jarayonning turli jihatlarini bir butun sifatida ko‘rib chiqishni o‘z ichiga oladi va bu yangi sifat natijasi, yangi tizimli va yaxlit ta’limni beradi. Integratsion yondashuvning mohiyati va oliy kasbiy ta’limda integratsiyaning tarkibiy qismlari E.O.Galitskix taklif qilgan integrativ yondashuvning tuzilmasidan foydalanish imkonini berdi (1-jadvalga qarang).

1-jadval

Integrativ yondashuv asosida kasbiy kompetentlikning tuzilishi

Integratsiya darajalari	Integratsiya asoslari	Integratsiya natijasi
Fanlararo integratsiya	Fan va madaniyatning turli sohalarini o‘zaro bog‘liqligi	Professional dunyoqarashning shakllanishi

ISSN 3030-3907

Fan ichidagi integratsiya	O‘quv fani tabaqalashtirilgan va integrativ tizim sifatida	Bo‘lajak mutaxassisning muvaffaqiyatli kasbiy faoliyatga nazariy va metodik tayyorligi
Shaxslararo integratsiya	Biznes va ijodiy hamkorlik	Kasbiy faoliyatga tashkiliy va kommunikativ tayyorgarlik
Shaxsning kasbiy shakllanishi integratsiyasi	Shaxsning integrativ tabiati, kasbiy-shaxsiy rivojlanishning yaxlitligi	Kasbiy bilimlarning ongga integratsiyalashuvi

Imitasiya asosida tashkil qilingan o‘quv jarayonini xususiyatlari:

•**Rejalashtirish:** Imitasiyalangan o‘qitish o‘quvchilarni mashg‘ulot tugagandan so‘ng kerakli xatti-harakat (ko‘nikma) larni namoyish qilish uchun jarayonni oldindan rejalashtirishni talab qiladi.

Rejalashtirish maqsadli guruhning ta’lim ehtiyojlari, qiziqishlari, munosabatlari va oldindan talablarini hisobga olgan holda amalga oshirilishi kerak.

Ishtirok etish: talabalar barcha tadbirlarda faol ishtirok etishlari shart. Imitasiya asosida o‘qitish talabalardan qat’iy majburiyat va madaniy va ma’naviy xulq - atvorni talab qiladi.

Fikr - mulohaza: Imitasion o‘qitishda teskari aloqa sifati va nazorat oraliqlari muhim rol o‘ynaydi. Bu inson xatti - harakatlarida kerakli o‘zgarishlarni keltirib chiqaradi. O‘qitishning imitasiyasi o‘quvchilarga natijalarini hayotiy vaziyatlarga qaraganda tezroq his qilish imkonini beradi. Shu tariqa olingan teskari aloqa ularning bilim olishiga ta’sir qiladi.

Nazorat: Imitasion o‘qitish o‘quvchilar oldiga qo‘yilgan aniq maqsadlarga erishish uchun jarayonlarni ichki va tashqi xossalarini ochib berish tizimli yondashuv asosida amalga oshirilishi maqsadga muvofiq. Imitasiya asosida o‘qitish o‘quvchilarga o‘qituvchilar nimani, qanday ketma - ketlikda va qanday sharoitda o‘rganishi kerakligini aniqlashga imkoniyatini beradi. O‘qitish ustidan to‘liq nazoratni ta’minlash uchun imitasion o‘qitishni joriy etish mumkin, bunda talabalar ko‘nikma va tajribaga ega bo‘lmaguncha nisbatan kichik muammolarni hal qilishadi.

Vaqt: Imitasiya asosida o‘quv jarayonini tashkil qilish - maqsadga yo‘naltirilgan va moslashuvchan o‘qitish usuli bo‘lib maqsadlarga qarab, vaqtni qisqartirish yoki kengaytirish mumkin. Agar erishiladigan maqsadlar murakkab bo‘lsa yoki ko‘nikmalarni egallash qiyin bo‘lsa, imitasiyatsion o‘qitish bir necha mashg‘ulotlar davomida ma’lum darajada o‘zgartirilishi mumkin [4].

ISSN 3030-3907

Xavfsizlik: Imitasiya o‘qitish har qanday sun’iy yoki laboratoriya sharoitida jarayonlarni bajarish xavfini kamaytiradi. Bemorni operatsiya qilish, uchish va samolyotni haydash, urushda qatnashish va shunga o‘xshash xavfli vaziyatlar tajribasi ularga sun’iy vaziyatlar va taqlid sinovlari orqali berish imkoniyatini yaratadi.

Afzalliklari:

- Rag‘batlantiruvchi o‘qitish – bu talabalarni rag‘batlantirish vositasi.
- O‘qituvchi talabalarga o‘qitishning muhim muammolarini o‘rganish va tahlil qilish imkoniyatini beradi.
- Imitasiya nazariya va amaliyot o‘rtasidagi bog‘liqlikni o‘rnatadi.
- Foydalanuvchilar turli xil teskari aloqa usullari orqali o‘z yutuqlarini tan oladilar.
- Imitasiya asosida o‘qitish ijtimoiy laboratoriya vazifasini o‘taydi [5].

Kamchiliklari:

- Vaqt talab qiladi.
- Qimmatga tushadi.
- Imitasiyadan foydalanish o‘quv dasturining barcha fanlaridan amalga oshirish imkoniyati mavjud emas.
- Imitasiyani kichik bolalar uchun qulay tarzda ishlatish murrakab hisoblanadi.
- Rivojlangan mamlakatlarda imitasion jarayonlarni yaratish uchun juda murakkab audio vizual vositalar va kompyuterlar ishlatiladi.
- O‘qitishning jiddiy chegaralanishi – bu o‘quvchining diqqatini jamlashni talab qiladi. Tanqidchilar, imitasiya orqali biron bir foydali ta’lim olishiga shubha qilishadi.

Ilmiy tadqiqot ishimizdagi eksperimental ishlarning mazmuni quyidagi jarayonlarga aylandi:

- o‘qituvchilarning imitatsion modellar asosida zamonaviy o‘qitish texnologiyalari kelajakda kasbiy faoliyatga bo‘lgan munosabat o‘rganadigan texnik mutaxassislar salohiyatini oshiradi;
- texnik mutaxassislar imitatsion model texnologiyasini zamonaviy sifatda o‘rganishlari ularning kelajakdagi kasbiy faoliyatlarini rivojlantiradi.

OTMning haqiqiy ta’lim jarayonida imitatsion modellarning turli shakllaridan keng foydalaniladi. Muvofiqlikni tahlil qilish asosida aniqlangan qarama-qarshiliklar, yuqori ixtisoslashgan rivojlanish vektori bilan talabalarni kompyuter grafikalarida o‘qitish metodikasini yaratish va asoslashdan iborat [6].

TADQIQOT METODOLOGIYASI. Tadqiqot jarayonida muammoga doir tarixiy, falsafiy, sotsiologik, psixologik, pedagogik adabiyotlarni qiyosiy-tanqidiy o‘rganish va tahlil etish, umumiy o‘rta ta’lim maktablaridagi ilg‘or tajribalarni o‘rganish, sotsiometrik metodlar (anketa, intervyu, suhbat),

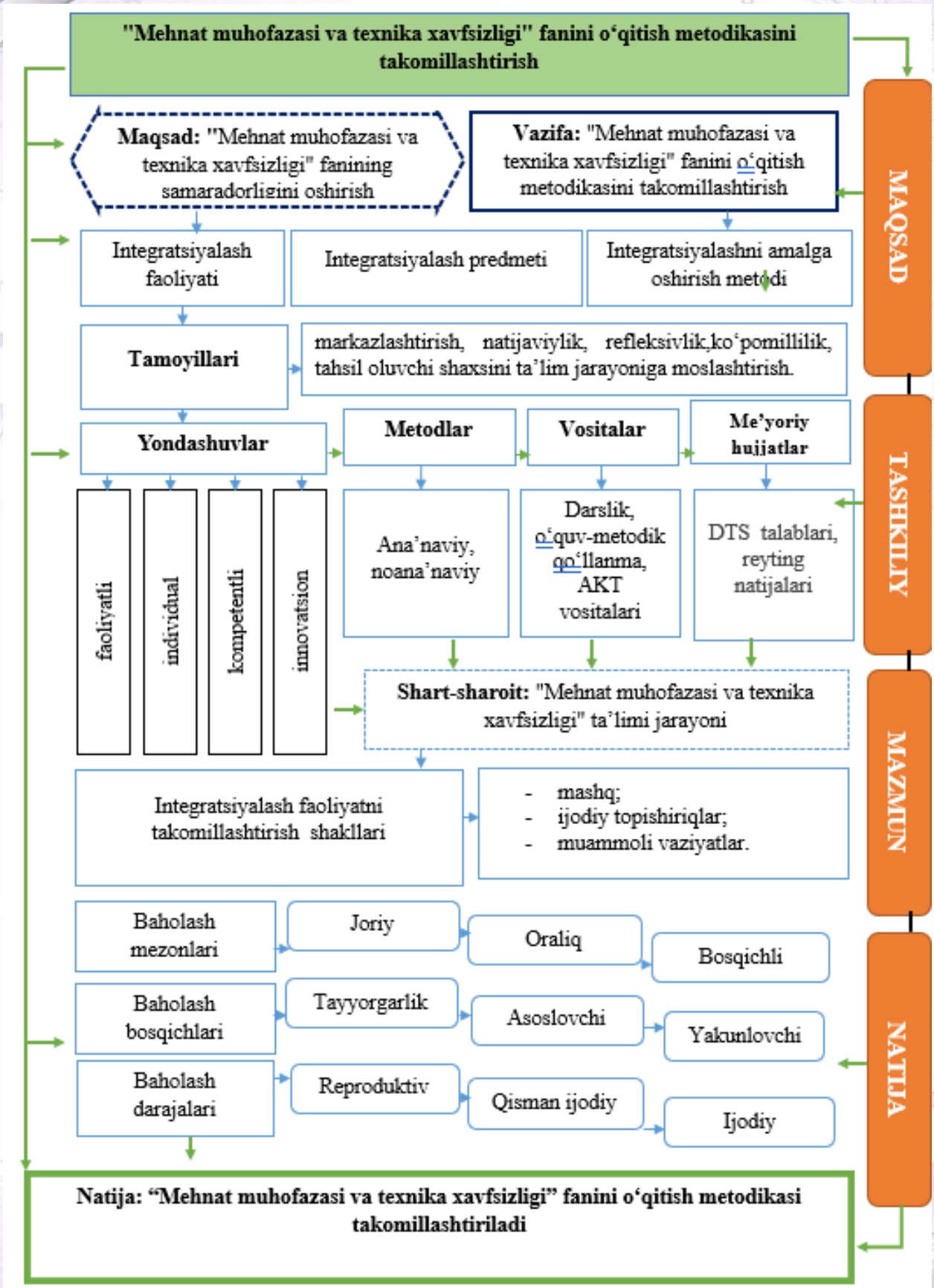
ISSN 3030-3907

pedagogik eksperiment, natijalarni matematik va statistik tahlil etish usullaridan foydalanildi.

O‘tkazilgan izlanishlar asosida biz “Mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi” fanini o‘qitish metodikasini zamonaviy texnologiyalar asosida takomillashtirilgan modeli ishlab chiqildi va uning har bir komponenti mazmuni ochib berildi. Ushbu modelga muvofiq, boshlang‘ich ta’lim yo‘nalishi bakalavriat yo‘nalishi malaka talablari, DTS, o‘quv reja, fan dasturlari va ijtimoiy buyurtmadan kelib chiqqan holda umumkasbiy fanlarini o‘qitish jarayonida o‘quv-metodik ta’minoti, masofaviy o‘qitish, topshiriqlar tizimi va baholash zamon talabiga mos ravishda oliy ta’lim muassasalarida o‘tilishi ko‘zda tutilgan modul-kredit tizimiga o‘tishi inobatga olingan bo‘lishi kerak. Bundan kelib chiqib, fanga oid darsliklar, o‘quv qo‘llanmalar, oflayn elektron darsliklar, modellar va tayyor namunalar, animatsiyalar va virtual ko‘rgazmalar natijasida talabalarni motivatsiyasini oshirish, rejalashtirishga yo‘naltirish va kreativlik qobiliyatlarini ko‘rsatishga undash masofaviy tizimlarni yo‘lga qo‘yish, fanni nafaqat auditoriya yoki oliy ta’lim muassasasi chegarasida chiqarib globallashuvga erishishga olib keladi (1-rasmga qarang).

Ushbu modelning tizimni tashkil etuvchi komponenti, uning “yadrosi” maqsadli komponent bo‘lib, uning atrofida qolgan komponentlar qurilgan. Maqsadli komponent axborot-metodik ta’minotning yo‘nalishini, uning mazmuni, texnologiyalari va natijalarini baholashni belgilaydigan strategik va taktik maqsadlarni belgilash orqali amalga oshiriladi. Maqsadli komponentda ijtimoiy buyurtma, maqsad va vazifalar kabi elementlarni ajratib ko‘rsatish maqsadga muvofiqdir.

ISSN 3030-3907



1-rasm. "Mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi" fanini o'qitish metodikasini zamonaviy texnologiyalar asosida takomillashtirilgan modeli

ISSN 3030-3907

Modelning ikkinchi komponenti axborot-metodik blok bo‘lib, integrativ texnologiyalar asosida axborot-metodik ta’minotni takomillashtirish asosiy vazifa hisoblanadi. Biz bilamizki, zamonaviy ta’lim resurslari yildan-yilga takomillashib rivojlanib kelmoqda.

Modelning uchinchi komponenti mazmunli blokda fanni o‘qitish jarayoni (mazmunli jarayon) va talabaning semestr davomida bajaradigan ishlari (shakliy jarayon) qismlariga ajratilgan. Mazmunli jarayon fanning me’yoriy hujjatlarini rasmiylashtirishdan boshlab talabani baholash va natijalarni tahlil qilishgacha bo‘lgan jarayonlarni o‘z ichiga oladi [7].

MUHOKAMA VA NATIJALAR. Texnika yo‘nalishidagi OTMlarida “Mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi” fanini o‘qitish metodikasini takomillashtirish yuzasidan imitatsion modellar yaratish uchun mavzular tanlandi.

“Mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi” fanini o‘qitish metodikasini takomillashtirishga doir imitasion modellar asosida tajriba sinovlar o‘tkazildi. Tajriba sinovlar bo‘yicha, xulosa va tavsiyalar ishlab chiqildi.

“Mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi” fanini o‘qitish jarayonini tashkil qilish natijasida talabalarda tanqidiy, ijodiy fikr yuritish va o‘quv ko‘nikmalarini samaradorligini oshirishga hamda ularni kasbga yo‘naltirishga olib keladi.

“Mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi” fanini o‘qitish metodikasini zamonaviy texnologiyalar asosida takomillashtirishning kommunikativ, tahliliy, integrativ, kreativ, kognitiv tahlillar asosida imitatsion modellarning o‘qitish metodikasi bo‘yicha yaratilgan.

«Mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi» fanini o‘qitish metodikasini zamonaviy texnologiyalar asosida takomillashtirilgan modelini sinovdan o‘tkazish maqsadida moodle – ta’limni boshqarish tizimi joriy qilindi hamda talabalar uchun «Mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi» fanidan elektron o‘quv kursi yaratildi. Biz tomonimizdan masofaviy ta’lim uchun **tx-modul.uz** platformasi ishlab chiqildi. Talaba ta’lim resurslarining bosma shakllaridan tez va unumli foydalanishi uchun resurslarga murojaat xaritasi o‘qituvchi tomonidan puxta ishlab chiqilishi kerak. Albatta, bu jarayon elektron ta’lim resurslarida ham inobatga olishi kerak.

XULOSA VA TAKLIFLAR.

1. O‘tkazilgan ilmiy tadqiqodlar tahlili natijasida boshlang‘ich ta’lim yo‘nalishida mutaxassislik fanlarini o‘qitishda bir qator muammolar borligi ochib berildi va ularni hal qilish bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqildi.

2. «Mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi» fanini o‘qitishda integrativ axborot-metodik ta’minotdan foydalanish imkoniyatlari ochib berildi. Axborot-metodik ta’minotni takomillashtirish jarayonida elektron o‘quv kursi

ISSN 3030-3907

elementlarining interfaolligi va avtomatik baholash ko‘proq e’tibor qaratildi. Bunda tadqiqotlarning sohasi kengaytiriladi va mazkur sohadagi mustaqillik ta’minlanadi.

3. «Mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi» fanini o‘qitish metodikasini zamonaviy texnologiyalar asosida takomillashtirilgan modeli (maqsadli, axborot-metodik, mazmunli, natijaviy) ishlab chiqildi va ta’lim resurslari turlari, didaktik prinsiplari va o‘quv jarayonidagi funksiyalaridan kelib chiqqan holda mutaxassislik fanlariga mos axborot-metodik ta’minoti takomillashtirildi.

4. Talabalarning integratsiyalashgan axborot-metodik ta’minotdan foydalanish bosqichlari va o‘qitish jarayonini nizom asosida tashkil etilishi semestr davomida mutaxassislik fanini o‘qitish uzluksizligini ta’minlashga erishildi.

5. «Mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi» fanini o‘qitishda integrativ texnologiyalar asosida axborot-metodik ta’minotni LMS Moodle platformasida loyihalashda elektron kutubxona, videokonferensaloqa, ilmiy ishlar bazalarini integratsiya ishlab chiqish maqsadga muvofiq.

6. Axborot-metodik ta’minotni takomillashtirish jarayonida elektron o‘quv kursi elementlarining interfaolligi va avtomatik baholashni keng joriy etish.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Tursunova N.N., Shamsiyev R.X., Maxmudov B.X. “Mehnat muhofazasi va xavfsizlik texnikasi”. O’quv qo’llanma. Buxoro: Ipakyo’li, 2025. 272 b.
2. Tursunova N.N., Shamsiyev R.X., Maxmudov B.X. “Mehnat muhofazasi va xavfsizlik texnikasi”. O’quv qo’llanma. Buxoro: Ipakyo’li, 2025. 248 b.
3. Tursunova N.N. Mehnat sharoitlari buzilganda xodimlarning sog‘lig‘iga yetkazilgan zarar uchun ish beruvchining javobgarligi. Международный современный научно-практический журнал “Новости образования: исследование в XXI веке”, №31(100), февраль, часть 1, Москва 2025, С. 228-232.
4. Tursunova N.N. Ishlab chiqarishda mehnat ish jarayonini mexanizatsiyalashtirish va avtomatlashtirish talablari. Международный современный научно-практический журнал “Научный фокус”, № 19 (100), часть 1, ноябрь, 2024. С. 361-365.
5. Tursunova N.N., Maxmudov B.X. Kasb-hunar ta’limi tizimida “mehnat muhofazasi va xavfsizlik texnikasi” fanini o‘qitish metodikasi. Международный научный журнал «Новости образования: исследование в XXI веке», № 41 (100), часть 1, Январь, 2026. С. 425-429.
6. Турсунова Н.Н. Проблемы усиления познавательной активности учащихся в процессе практического обучения и способы их решения. Теория и практика современной науки: международный научно-

ISSN 3030-3907

практический журнал. 2019. № 6(48). С. 45-49.
7. Турсунова Н.Н. Переход к новой системе обучения в технических вузах. “Качество подготовки специалистов в техническом университете: проблемы, перспективы, инновационные подходы” материалы V международной научно-методической конференции, Могилёв, 2020. С. 98-101.

ISSN 3030-3907

KIMYO TA’LIMIDA AI YORDAMIDA PERSONALIZATSIYALASHGAN O‘QUV TRAYEKTORIYALARINI SHAKLLANTIRISH

Karomova D.X.
Buxoro davlat pedagogika instituti Kimyo kafedrasi o‘qituvchisi

Annotatsiya. Mazkur maqolada kimyo ta’limida sun’iy intellekt (AI) texnologiyalaridan foydalanish asosida personalizatsiyalashgan o‘quv trayektoriyalarini shakllantirish masalalari yoritilgan. Tadqiqotda o‘quvchilarning individual qobiliyatlari, bilim darajasi, o‘zlashtirish sur’ati va o‘quv ehtiyojlarini aniqlash hamda ular asosida moslashtirilgan ta’lim mazmunini yaratish imkoniyatlari tahlil qilingan. Sun’iy intellekt algoritmlari yordamida o‘quv jarayonini monitoring qilish, o‘quv natijalarini prognozlash va har bir o‘quvchi uchun individual ta’lim yo‘nalishini ishlab chiqishning pedagogik afzalliklari ko‘rsatib berilgan. Shuningdek, kimyo fanini o‘qitishda AI asosidagi adaptiv ta’lim platformalaridan foydalanish o‘quvchilarning motivatsiyasini oshirish, mustaqil ta’lim ko‘nikmalarini rivojlantirish va ta’lim samaradorligini yuksaltirishga xizmat qilishi asoslangan. Tadqiqot natijalari kimyo ta’limini raqamlashtirish jarayonida sun’iy intellekt texnologiyalarining didaktik imkoniyatlarini kengaytirish hamda ta’lim sifatini oshirishga qaratilgan metodik tavsiyalar ishlab chiqishga asos bo‘lib xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: sun’iy intellekt, kimyo ta’limi, personalizatsiyalashgan ta’lim, o‘quv trayektoriyasi, adaptiv ta’lim, raqamli texnologiyalar, individual yondashuv, o‘quv analitikasi, ta’lim samaradorligi, kompetensiya.

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы формирования персонализированных траекторий обучения на основе использования технологий искусственного интеллекта (ИИ) в химическом образовании. Анализируются возможности выявления индивидуальных способностей, уровня знаний, темпа обучения и учебных потребностей студентов, а также создания на их основе индивидуализированного образовательного контента. Показаны педагогические преимущества мониторинга учебного процесса, прогнозирования результатов обучения и разработки индивидуальной образовательной траектории для каждого студента с использованием алгоритмов искусственного интеллекта. Также обосновывается тот факт, что использование адаптивных обучающих платформ на основе ИИ в химическом образовании способствует повышению мотивации студентов, развитию навыков самостоятельного обучения и повышению эффективности обучения. Результаты исследования служат основой для разработки методических рекомендаций, направленных на расширение дидактических возможностей технологий искусственного

ISSN 3030-3907

интеллекта в процессе цифровизации химического образования и повышения качества образования.

Ключевые слова: искусственный интеллект, химическое образование, персонализированное обучение, траектория обучения, адаптивное обучение, цифровые технологии, индивидуальный подход, аналитика обучения, эффективность обучения, компетентность.

Abstract. This article discusses the issues of forming personalized learning trajectories based on the use of artificial intelligence (AI) technologies in chemistry education. The study analyzes the possibilities of identifying individual abilities, knowledge level, learning pace and learning needs of students and creating customized educational content based on them. The pedagogical advantages of monitoring the learning process, predicting learning outcomes and developing an individual educational path for each student using artificial intelligence algorithms are shown. It is also based on the fact that the use of AI-based adaptive learning platforms in chemistry education serves to increase student motivation, develop independent learning skills and improve educational efficiency. The results of the study serve as the basis for developing methodological recommendations aimed at expanding the didactic capabilities of artificial intelligence technologies in the process of digitizing chemistry education and improving the quality of education.

Keywords: artificial intelligence, chemistry education, personalized learning, learning trajectory, adaptive learning, digital technologies, individual approach, learning analytics, educational effectiveness, competence.

KIRISH.

Hozirgi davrda ta’lim tizimida individual yondashuvni amalga oshirish muhim pedagogik vazifalardan biri hisoblanadi. Globallashuv, raqamli transformatsiya va axborot texnologiyalarining jadal rivojlanishi ta’lim jarayoniga yangi talablarni qo‘ymoqda. Zamonaviy jamiyatda faqat tayyor bilimlarni egallash emas, balki mustaqil fikrlash, muammolarni hal qilish, ijodiy yondashuv va uzluksiz o‘rganish kompetensiyalarini shakllantirish zarurati ortib bormoqda. Bunday sharoitda o‘quvchilarning individual xususiyatlarini hisobga olgan holda ta’limni tashkil etish muhim ahamiyat kasb etadi.

Har bir o‘quvchining bilim darajasi, qiziqishi, o‘zlashtirish sur’ati, fikrlash uslubi va o‘quv ehtiyojlari turlicha bo‘lganligi sababli ta’lim jarayonini barcha uchun bir xil tashkil etish doimo ham yuqori samaradorlikni ta’minlay olmaydi. An’anaviy ta’lim modelida o‘quvchilar bir xil dastur asosida, bir xil tempda va bir xil metodlar yordamida o‘qitiladi. Natijada ayrim o‘quvchilar mavzuni tez o‘zlashtirsa, boshqalari qo‘shimcha tushuntirish va mashqlarga ehtiyoj sezadi. Bu

ISSN 3030-3907

esa o‘quv natijalaridagi tafovutlarning ortishiga hamda ayrim o‘quvchilarning fanga bo‘lgan qiziqishi pasayishiga olib kelishi mumkin[2].

Personalizatsiyalashgan o‘quv trayektoriyasi — bu o‘quvchining individual qobiliyati, bilim darajasi, ehtiyoji va qiziqishidan kelib chiqib tashkil etilgan ta’lim yo‘nalishidir. Ushbu yondashuvda har bir o‘quvchi uchun mos metodlar, topshiriqlar va o‘quv materiallari tanlanadi. Kimyo fanini o‘qitishda sun’iy intellekt texnologiyalari yordamida bunday individual ta’lim muhitini yaratish mumkin.



Kimyo fani murakkab nazariy tushunchalar, kimyoviy qonuniyatlar, formulalar, tenglamalar hamda laboratoriya faoliyatiga asoslanganligi sababli uni o‘zlashtirish jarayonida o‘quvchilar o‘rtasida sezilarli farqlar kuzatiladi. Ayrim o‘quvchilar mavzularni tez anglab, murakkab masalalarni mustaqil yecha olsalar, boshqalari nazariy bilimlarni tushunish yoki amaliy topshiriqlarni bajarishda qo‘shimcha yordamga ehtiyoj sezadilar. An’anaviy ta’lim sharoitida o‘qituvchi barcha o‘quvchilarning individual ehtiyojlarini bir vaqtning o‘zida to‘liq qamrab olishi qiyin bo‘ladi. Natijada ayrim o‘quvchilarda bilim bo‘shliqlari yuzaga kelishi yoki fanga bo‘lgan qiziqish pasayishi mumkin.

Sun’iy intellekt texnologiyalari esa ushbu muammoni samarali hal etish imkonini beradi. AI tizimlari o‘quvchilarning o‘quv faoliyati haqidagi ma’lumotlarni yig‘ish, qayta ishlash va tahlil qilish orqali ularning bilim darajasi hamda o‘zlashtirish xususiyatlarini aniqlaydi. Bunda test natijalari, amaliy topshiriqlar, laboratoriya ishlari, mustaqil ta’lim faoliyati va o‘quv platformalaridagi harakatlar tahlil qilinadi. Tahlil natijalari asosida tizim har bir o‘quvchi uchun individual o‘quv profilini shakllantiradi va uning kuchli hamda rivojlantirilishi zarur bo‘lgan jihatlarini belgilaydi[3].



Masalan, sun’iy intellekt platformalari o‘quvchining kimyoviy reaksiyalar, moddalarning tuzilishi, davriy qonun, oksidlanish-qaytarilish jarayonlari yoki hisoblashga doir masalalarni yechishdagi natijalarini baholaydi. Agar o‘quvchi ma’lum bir mavzuda qiyinchilikka duch kelsa, tizim bu holatni aniqlab, unga moslashtirilgan qo‘shimcha materiallarni tavsiya qiladi. Jumladan, mavzuni tushuntiruvchi



ISSN 3030-3907

videodarslar, interaktiv animatsiyalar, virtual laboratoriyalar, bosqichma-bosqich bajariladigan mashqlar hamda turli murakkablik darajasidagi test topshiriqlari taqdim etiladi. O‘quvchi bilim darajasi oshgani sari tizim murakkabroq topshiriqlarni tavsiya etib, uning rivojlanish dinamikasiga mos ravishda o‘quv trayektoriyasini yangilab boradi.

Kimyo ta’limida AI texnologiyalarining yana bir muhim afzalligi laboratoriya faoliyatini qo‘llab-quvvatlash imkoniyatidir. Virtual laboratoriyalar va intellektual simulyatsiyalar yordamida o‘quvchilar real tajribalarni xavfsiz muhitda takrorlashlari, kimyoviy jarayonlarning mexanizmlarini kuzatishlari hamda turli omillarning reaksiyalarga ta’sirini tahlil qilishlari mumkin. Bu esa nazariy bilimlarni amaliy faoliyat bilan integratsiyalashga va mavzularni chuqurroq o‘zlashtirishga xizmat qiladi.

Bundan tashqari, sun’iy intellekt tizimlari o‘quvchilarga tezkor va individual qayta aloqa berish imkoniyatiga ega. O‘quvchi topshiriqni bajargandan so‘ng tizim uning xatolarini aniqlaydi, ularning sabablarini tushuntiradi va to‘g‘ri yechimga yo‘naltiruvchi tavsiyalar beradi. Natijada o‘quvchi o‘z xatolari ustida ishlash, bilimlaridagi bo‘shliqlarni mustaqil ravishda to‘ldirish va o‘z o‘quv faoliyatini boshqarish imkoniyatiga ega bo‘ladi.



Kimyo ta’limida AI yordamida personalizatsiyalashgan o‘quv trayektoriyalarini shakllantirishning muhim jihatlaridan biri adaptiv ta’lim texnologiyalaridir. Adaptiv tizimlar o‘quvchining faoliyatiga mos ravishda o‘quv materiallarini avtomatik tarzda moslashtiradi. Masalan, o‘quvchi “Kimyoviy reaksiyalar” mavzusidagi testlarda ko‘p xatoga yo‘l qo‘ysa, tizim unga qo‘shimcha nazariy ma’lumotlar, soddalashtirilgan misollar, animatsion tushuntirishlar va qo‘shimcha mashqlarni tavsiya qiladi. Aksincha, mavzuni yaxshi o‘zlashtirgan o‘quvchilarga murakkabroq masalalar, loyiha ishlari yoki tahliliy topshiriqlar beriladi. Bu esa ta’lim jarayonida differensial yondashuvni samarali tashkil etishga imkon yaratadi[1].

Sun’iy intellekt texnologiyalari yordamida o‘quvchilarning o‘zlashtirish dinamikasini monitoring qilish ham mumkin. AI tizimlari test natijalari, topshiriqlar bajarilishi, darsdagi faollik va mustaqil ishlash ko‘rsatkichlarini muntazam ravishda tahlil qilib boradi. Natijada o‘qituvchi har bir o‘quvchining rivojlanish darajasini kuzatish, ularning bilimlaridagi bo‘shliqlarni aniqlash va kerakli metodik choralarni belgilash imkoniyatiga ega bo‘ladi[4].

Kimyo fanida personalizatsiyalashgan ta’limni tashkil etishda virtual laboratoriyalar ham muhim o‘rin tutadi. AI asosidagi virtual muhitda o‘quvchilar

ISSN 3030-3907

o‘z bilim darajasiga mos laboratoriya mashg‘ulotlarini bajarishi mumkin. Bu esa ularning amaliy ko‘nikmalarini rivojlantirishga yordam beradi. Masalan, ayrim o‘quvchilar oddiy neytrallanish reaksiyalarini o‘rganayotgan bo‘lsa, kuchli o‘quvchilar murakkab organik reaksiyalarni virtual laboratoriyalar orqali tahlil qilishi mumkin.

Shuningdek, AI texnologiyalari yordamida kimyo fanida mustaqil ta’limni samarali tashkil etish imkoniyati ham kengaymoqda. O‘quvchilar sun’iy intellekt platformalari orqali video darslarni ko‘rish, interaktiv testlarni bajarish, murakkab masalalarni yechish hamda qo‘shimcha ma’lumotlar olish imkoniyatiga ega bo‘ladi. Bu esa ularda mustaqil ishlash, o‘z ustida ishlash va o‘z-o‘zini rivojlantirish kompetensiyalarini shakllantiradi[5].

AI yordamida personalizatsiyalashgan o‘quv trayektoriyasini shakllantirish modeli.

Kimyo ta’limida sun’iy intellekt asosida personalizatsiyalashgan o‘quv trayektoriyalarini shakllantirish bir necha o‘zaro bog‘liq bosqichlardan iborat bo‘lib, ushbu jarayon har bir o‘quvchining individual xususiyatlarini hisobga olgan holda tashkil etiladi.

Birinchi bosqichda o‘quvchi haqidagi ma’lumotlar yig‘iladi. Bunda o‘quvchining test natijalari, amaliy va laboratoriya ishlari, mustaqil topshiriqlari, darsdagi faolligi hamda o‘quv platformalaridagi faoliyati to‘g‘risidagi ma’lumotlar jamlanadi.

Ikkinchi bosqichda o‘quvchining bilim darajasi diagnostika qilinadi. Sun’iy intellekt tizimi yig‘ilgan ma’lumotlar asosida o‘quvchining kuchli va zaif tomonlarini, o‘zlashtirish sur’ati hamda o‘quv ehtiyojlarini aniqlaydi.

Uchinchi bosqichda AI algoritmlari olingan ma’lumotlarni chuqur tahlil qiladi. Tahlil natijasida o‘quvchining qaysi mavzularda qiyinchilikka duch kelayotgani, qaysi kompetensiyalari yetarli darajada shakllangani va qanday o‘quv resurslariga ehtiyoj sezayotgani aniqlanadi.

To‘rtinchi bosqichda individual o‘quv trayektoriyasi yaratiladi. Tizim har bir o‘quvchi uchun mos o‘quv materiallari, mashqlar, virtual laboratoriya ishlari va baholash vositalarini tanlaydi hamda ta’lim jarayonining individual yo‘nalishini belgilaydi.

Beshinchi bosqichda adaptiv topshiriqlar taqdim etiladi. O‘quvchining bilim darajasi va o‘zlashtirish natijalariga qarab topshiriqlarning murakkablik darajasi avtomatik ravishda moslashtiriladi. Zarur hollarda qo‘shimcha videodarslar, animatsiyalar va interaktiv mashqlar tavsiya etiladi.

Oltinchi bosqichda o‘quv natijalari muntazam monitoring qilinadi. AI tizimi o‘quvchining faoliyatini real vaqt rejimida kuzatib boradi, natijalarni baholaydi va rivojlanish dinamikasini tahlil qiladi.

ISSN 3030-3907



Yettinchi bosqichda o‘quv trayektoriyasi yangilanadi. Monitoring natijalariga asoslanib, tizim o‘quvchining yangi ehtiyojlari va erishilgan natijalarini hisobga olgan holda o‘quv rejasiga o‘zgartirishlar kiritadi. Natijada uzluksiz takomillashib boruvchi personalizatsiyalashgan ta’lim muhiti shakllanadi.

Kimyo fanida AI yordamida personalizatsiyalashgan o‘quv trayektoriyasini shakllantirishning amaliy namunasi

Kimyo fanining “Kimyoviy reaksiyalar tezligi” mavzusini o‘qitishda sun’iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish personalizatsiyalashgan ta’limni samarali tashkil etish imkonini beradi. Darsning boshlang‘ich bosqichida o‘quvchilarning mazkur mavzu bo‘yicha tayyorgarlik darajasini aniqlash maqsadida diagnostik test o‘tkaziladi. Test natijalari AI tizimi tomonidan avtomatik ravishda tahlil qilinadi va o‘quvchilar bilim darajasiga ko‘ra bir necha guruhlarga ajratiladi.

Bilim darajasi nisbatan past bo‘lgan o‘quvchilarga kimyoviy reaksiyalar tezligiga ta’sir etuvchi omillarni tushuntiruvchi videodarslar, animatsiyalar, interaktiv taqdimotlar hamda soddalashtirilgan mashqlar tavsiya etiladi. Ushbu materiallar o‘quvchilarning mavzu bo‘yicha asosiy tushunchalarni mustahkamlashiga yordam beradi.

ISSN 3030-3907

O‘rtacha bilim darajasiga ega o‘quvchilarga amaliy masalalar, reaksiya tezligiga oid hisoblash topshiriqlari va virtual laboratoriya mashg‘ulotlari taqdim etiladi. Bunda ular nazariy bilimlarini amaliy faoliyat bilan bog‘lash imkoniyatiga ega bo‘ladilar.

Yuqori bilim darajasiga ega o‘quvchilarga esa murakkab hisoblash masalalari, tadqiqot xarakteridagi topshiriqlar hamda loyiha ishlari beriladi. Masalan, turli omillarning kimyoviy reaksiyalar tezligiga ta’sirini o‘rganishga qaratilgan virtual eksperimentlarni mustaqil rejalashtirish va natijalarini tahlil qilish vazifalari yuklatiladi[1].

Dars jarayonida AI tizimi o‘quvchilarning topshiriqlarni bajarish natijalarini muntazam monitoring qilib boradi. Olingan ma’lumotlar asosida har bir o‘quvchi uchun o‘quv trayektoriyasi yangilanadi va keyingi bosqichdagi o‘quv materiallari moslashtiriladi. Natijada har bir o‘quvchi o‘z imkoniyatlari va ehtiyojlariga mos ravishda ta’lim oladi, bu esa kimyo fanini o‘zlashtirish samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

1-jadval

Kimyo ta’limida AI yordamida personalizatsiyalashgan o‘quv trayektoriyalarini joriy etishning afzalliklari va muammolari

Afzalliklar	Muammolar
Har bir o‘quvchining individual qobiliyati va ehtiyojlariga mos ta’lim tashkil etiladi	Ta’lim muassasalarida texnik vositalar va zamonaviy qurilmalarning yetishmasligi
O‘quvchilarning kimyo faniga bo‘lgan qiziqishi va motivatsiyasi ortadi	Barqaror internet tarmog‘iga bog‘liqlik mavjud
Topshiriqlar va baholash jarayonida tezkor qayta aloqa ta’minlanadi	O‘qituvchi va o‘quvchilarning AI texnologiyalaridan foydalanish bo‘yicha savodxonligi yetarli emasligi
Bilimlarni o‘zlashtirish samaradorligi va ta’lim sifati oshadi	Shaxsiy ma’lumotlarni himoya qilish va axborot xavfsizligini ta’minlash zarurati
Mustaqil ta’lim va o‘z-o‘zini rivojlantirish ko‘nikmalari shakllanadi	AI tizimlarini joriy etish uchun qo‘shimcha moliyaviy xarajatlar talab etiladi
O‘quvchilarning rivojlanish dinamikasini doimiy monitoring qilish imkoniyati yaratiladi	Sun’iy intellekt tavsiyalariga ortiqcha bog‘lanib qolish xavfi mavjud

ISSN 3030-3907

Jadval ma’lumotlari shuni ko‘rsatadiki, sun’iy intellekt texnologiyalari kimyo ta’limini individuallashtirish va ta’lim samaradorligini oshirishda katta imkoniyatlarga ega. Shu bilan birga, ushbu texnologiyalarni samarali joriy etish uchun texnik infratuzilmani rivojlantirish, raqamli kompetensiyalarni oshirish hamda axborot xavfsizligini ta’minlash muhim ahamiyat kasb etadi.

Xulosa qilib aytganda, sun’iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish kimyo ta’limida personalizatsiyalashgan o‘quv trayektoriyalarini shakllantirishning samarali vositasi hisoblanadi. AI asosidagi tizimlar o‘quvchilarning individual xususiyatlari, bilim darajasi, qiziqishlari va o‘zlashtirish sur’atini tahlil qilish orqali ularga mos ta’lim mazmuni, topshiriqlar va metodlarni tavsiya etish imkonini beradi. Bu esa har bir o‘quvchining o‘z imkoniyatlariga mos ravishda bilimlarni egallashiga, mavjud qiyinchiliklarni bartaraf etishiga hamda ta’lim jarayonida faol ishtirok etishiga xizmat qiladi.

Kimyo fanining murakkab nazariy va amaliy mazmuni sun’iy intellekt texnologiyalarini qo‘llash uchun keng imkoniyatlar yaratadi. Adaptiv ta’lim tizimlari, virtual laboratoriyalar, intellektual tahlil vositalari va avtomatlashtirilgan qayta aloqa mexanizmlari o‘quvchilarning bilimlarini chuqurlashtirish, amaliy ko‘nikmalarini rivojlantirish hamda mustaqil ta’lim faoliyatini qo‘llab-quvvatlashga yordam beradi. Shu bilan birga, AI texnologiyalari o‘qituvchilarga o‘quvchilar faoliyatini muntazam monitoring qilish, ularning rivojlanish dinamikasini baholash va individual pedagogik yondashuvni samarali tashkil etish imkoniyatini yaratadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. M.Sh. Ahadov, B.B. Sodiqov, M.A. Tog‘ayeva. Kimyo o‘qitish metodikasi. Darslik – T.: “Dimal” nashriyoti, 2025-y. – 208 b.
2. M.Y Ergashov, B.B Sodiqov. Maqola. “ZAMONAVIY KIMYO FANI O‘QITUVCHILARINI SHAKLLANTIRISH USULLARI”, Inter education & global study № 2, 161-167b.
3. B.B Sodiqov. Maqola. “Kimyo fanini o ‘qitishda kreativ va integrativ yondashuvning ahamiyati - Talim, fan va inovatsiya manaviy-marifiy, ilmiy-uslubiy jurnal-2024. 236-238-b
4. UNESCO. *Guidance for Generative AI in Education and Research*. Paris: UNESCO Publishing, 2023.
5. Chemistry Education bo‘yicha zamonaviy ilmiy maqolalar va tadqiqotlar. *Journal of Chemical Education*, 2022–2025.

ISSN 3030-3907

TALAB QILINADIGAN MAHSULOTLAR NARXLARINI MONITORING QILISH VA BASHORATLASH MOBIL ILOVASINI ISHLAB CHIQISHNING ALGORITMIK VA DASTURIY ASOSLARI

Xudayberganov Temur Rustamovich
Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti (PhD), dotsent
Email: doctordrebek@gmail.com
Raximon Akbarbek Kamoladdin o‘g‘li
Urganch RANCH texnologiyalar universiteti magistri
Email: akbarbekraximov2001@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada talab yuqori bo‘lgan mahsulotlar narxlarini monitoring qilish va bashoratlashga mo‘ljallangan mobil ilovani ishlab chiqishning ilmiy-amaliy asoslari tahlil qilinadi. Tadqiqotda oziq-ovqat va qishloq xo‘jaligi mahsulotlari narxlarining o‘zgarishiga ta’sir etuvchi omillar, narx ma’lumotlarini yig‘ish, qayta ishlash hamda mashinali o‘qitish algoritmlari yordamida prognozlash imkoniyatlari ko‘rib chiqiladi. Xususan, ARIMA, SVR, Prophet, XGBoost, Gradient Boosting va LSTM kabi algoritmlarning narx bashoratidagi qo‘llanish imkoniyatlari tahlil qilinadi. Maqolada mobil ilova orqali foydalanuvchilarga real vaqt rejimida mahsulot narxlarini kuzatish, hududlar bo‘yicha solishtirish, narx o‘zgarishlari bo‘yicha ogohlantirish olish hamda kelgusi davr uchun taxminiy narx prognozidan foydalanish imkoniyatlari yoritiladi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, narx monitoringi va bashoratlash tizimini mobil ilova shaklida ishlab chiqish bozor shaffofligini oshirish, iste’molchilar uchun qulay axborot muhitini yaratish hamda iqtisodiy qarorlar qabul qilish samaradorligini kuchaytirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: narx monitoringi, bashoratlash, mobil ilova, mashinali o‘qitish, LSTM.

Аннотация. В данной статье анализируются научно-практические основы разработки мобильного приложения, предназначенного для мониторинга и прогнозирования цен на востребованные товары. В исследовании рассматриваются факторы, влияющие на изменение цен на продовольственные и сельскохозяйственные товары, а также возможности сбора, обработки и прогнозирования ценовых данных с использованием алгоритмов машинного обучения. В частности, анализируются возможности применения таких алгоритмов, как ARIMA, SVR, Prophet, XGBoost, Gradient Boosting и LSTM, при прогнозировании цен. В статье освещаются возможности мобильного приложения по отслеживанию цен на товары в режиме реального времени, сравнению цен по регионам, получению уведомлений об изменении цен и использованию прогнозных данных на будущий период. Результаты исследования показывают, что

разработка системы мониторинга и прогнозирования цен в виде мобильного приложения способствует повышению прозрачности рынка, созданию удобной информационной среды для потребителей и повышению эффективности принятия экономических решений.

Ключевые слова: мониторинг цен, прогнозирование, мобильное приложение, машинное обучение, LSTM.

Abstract. This article analyzes the scientific and practical foundations for developing a mobile application designed to monitor and forecast prices of high-demand products. The study examines the factors affecting price changes in food and agricultural products, as well as the possibilities of collecting, processing, and forecasting price data using machine learning algorithms. In particular, the application of algorithms such as ARIMA, SVR, Prophet, XGBoost, Gradient Boosting, and LSTM in price forecasting is analyzed. The article highlights the potential of a mobile application to provide users with real-time product price monitoring, regional price comparison, notifications about price changes, and access to estimated price forecasts for future periods. The results of the study indicate that developing a price monitoring and forecasting system in the form of a mobile application can improve market transparency, create a convenient information environment for consumers, and increase the efficiency of economic decision-making.

Keywords: price monitoring, forecasting, mobile application, machine learning, LSTM.

KIRISH.

So‘nggi yillarda oziq-ovqat va qishloq xo‘jaligi mahsulotlari narxlarining tez-tez o‘zgarib borishi bozor ishtirokchilari, tadbirkorlar, fermer xo‘jaliklari hamda iste’molchilar uchun dolzarb muammolardan biriga aylanmoqda. Ayniqsa, kundalik ehtiyoj uchun zarur bo‘lgan mahsulotlar narxining keskin oshishi aholining xarid qobiliyatiga, savdo jarayonlariga va umumiy iqtisodiy barqarorlikka bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli talab yuqori bo‘lgan mahsulotlar narxlarini muntazam monitoring qilish, ularni tahlil qilish va kelgusidagi narx o‘zgarishlarini oldindan bashoratlash zamonaviy raqamli tizimlar oldidagi muhim vazifalardan biri hisoblanadi.

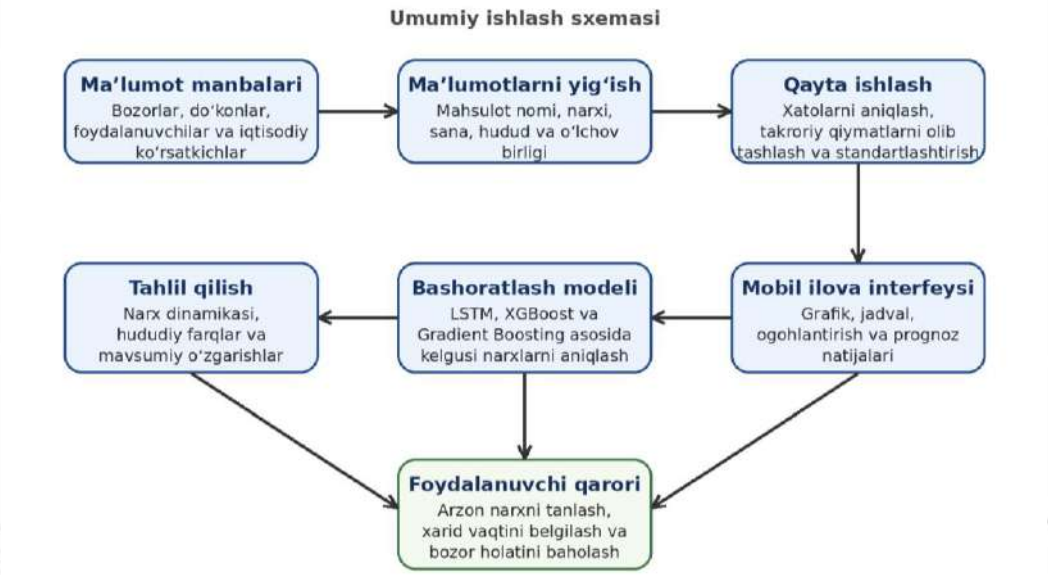
Narx monitoringi faqat mavjud narxlarni kuzatish jarayoni emas, balki bozor holatini tahlil qilish, mahsulotlar bo‘yicha tarixiy ma’lumotlar bazasini shakllantirish, hududlar kesimida narx farqlarini aniqlash va foydalanuvchilarga asoslangan qaror qabul qilish imkoniyatini yaratadigan axborot tizimidir. Bunday tizim mobil ilova ko‘rinishida ishlab chiqilganda foydalanuvchi mahsulot narxlarini real vaqt rejimida kuzatishi, narxlar dinamikasini solishtirishi, prognoz natijalarini ko‘rishi va zarur holatlarda ogohlantirish xabarlarini olishi mumkin.

ISSN 3030-3907

Mazkur tadqiqot mavzusining ilmiy asosini mashinali o‘qitish algoritmlari yordamida mahsulot narxlarini bashoratlash yondashuvlari tashkil etadi. Chen va boshqalar tomonidan olib borilgan tadqiqotda qishloq xo‘jaligi mahsulotlari narxlarini bashoratlash uchun ARIMA, SVR, Prophet, XGBoost va LSTM algoritmlari taqqoslangan hamda LSTM modeli eng maqbul bashoratlash mexanizmi sifatida tanlangan. Ushbu tadqiqotda katta hajmdagi tarixiy narx ma’lumotlari asosida qishloq xo‘jaligi mahsulotlari narxlarining o‘zgarishini aniqlash va bashoratlash masalasi ko‘rib chiqilgan.

Shuningdek, Ogol va boshqalar tomonidan 2025-yilda e’lon qilingan tadqiqotda Keniyadagi oziq-ovqat mahsulotlari narxlarini bashoratlash uchun XGBoost va Gradient Boosting algoritmlariga asoslangan gibrid yondashuv qo‘llangan. Mazkur tadqiqotda 2006-yil yanvaridan 2024-yil sentyabrigacha bo‘lgan oziq-ovqat narxlari, valyuta kurslari va inflyatsiya ko‘rsatkichlari tahlil qilingan. Bu esa mahsulot narxlarini bashoratlashda faqat tarixiy narxlar emas, balki iqtisodiy omillar ham muhim ahamiyatga ega ekanini ko‘rsatadi.

Mazkur maqolada talab qilinadigan mahsulotlar narxlarini monitoring qilish va bashoratlashga mo‘ljallangan mobil ilovani ishlab chiqishning nazariy va amaliy asoslari tahlil qilinadi. Tadqiqotda mahsulot narxlariga ta’sir etuvchi omillar, narx ma’lumotlarini yig‘ish va qayta ishlash bosqichlari, mashinali o‘qitish algoritmlaridan foydalanish imkoniyatlari hamda mobil ilova arxitekturasining asosiy tarkibiy qismlari yoritiladi



1-rasm. Narx monitoringi va bashoratlash mobil ilovasining funksional ishlash sxemasi.

Ushbu rasmda talab qilinadigan mahsulotlar narxlarini monitoring qilish va bashoratlashga mo‘ljallangan mobil ilovaning umumiy ishlash jarayoni tasvirlangan. Dastlab narxlar bozorlar, savdo do‘konlari, foydalanuvchilar hamda

ISSN 3030-3907

iqtisodiy ko‘rsatkichlar kabi manbalardan yig‘iladi. Keyingi bosqichda mahsulot nomi, narxi, sana, hudud va o‘lchov birligi bo‘yicha ma’lumotlar tizimga kiritiladi. Yig‘ilgan ma’lumotlar tozalanadi, takroriy yoki noto‘g‘ri qiymatlar aniqlanadi hamda bashoratlash modeli uchun tayyorlanadi. Shundan so‘ng LSTM, XGBoost va Gradient Boosting kabi algoritmlar yordamida kelgusi davrdagi narxlar prognoz qilinadi. Natijalar mobil ilova interfeysida jadval, grafik, ogohlantirish va prognoz ko‘rinishida foydalanuvchiga taqdim etiladi. Bu esa foydalanuvchiga arzon narxni tanlash, xarid vaqtini belgilash va bozor holatini tahlil qilish imkonini beradi.

1-jadval.

Narxlarni monitoring qilish va bashoratlash jarayonining asosiy bosqichlari

Bosqich	Mazmuni	Mobil ilovadagi vazifasi
Ma’lumot yig‘ish	Mahsulot narxi, sana, hudud va mahsulot turi bo‘yicha axborot to‘plash	Narxlar bazasini shakllantirish
Ma’lumotlarni qayta ishlash	Xato, takroriy va yetishmayotgan qiymatlarni aniqlash	Model uchun sifatli ma’lumot tayyorlash
Tahlil qilish	Narxlar dinamikasi va hududiy farqlarni aniqlash	Foydalanuvchiga taqqoslash imkonini berish
Bashoratlash	LSTM, XGBoost yoki Gradient Boosting orqali kelgusi narxlarni aniqlash	Prognoz natijalarini chiqarish
Vizualizatsiya	Jadval, grafik va bildirishnomalar orqali natijalarni ko‘rsatish	Foydalanuvchiga qulay interfeys yaratish

Jadvalda narxlarni monitoring qilish va bashoratlash tizimining asosiy bosqichlari keltirilgan. Har bir bosqich mobil ilova funksionalligini shakllantirishda muhim o‘rin tutadi. Ayniqsa, ma’lumotlarni sifatli qayta ishlash va mos bashoratlash modelini tanlash prognoz natijalarining aniqligiga bevosita ta’sir qiladi.

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi — talab yuqori bo‘lgan mahsulotlar narxlarini monitoring qilish va bashoratlash imkonini beruvchi mobil ilovani ishlab chiqishning ilmiy-uslubiy asoslarini aniqlashdan iborat. Tadqiqotning amaliy ahamiyati shundaki, ishlab chiqiladigan mobil ilova foydalanuvchilarga mahsulot narxlarini tezkor kuzatish, hududlar bo‘yicha solishtirish, kelgusidagi narx o‘zgarishlarini oldindan baholash va iqtisodiy jihatdan maqbul qaror qabul qilish imkonini beradi.

Talab qilinadigan mahsulotlar narxlarini monitoring qilish va bashoratlash mobil ilovasini ishlab chiqishda asosiy e’tibor ma’lumotlarni yig‘ish, ularni qayta

ISSN 3030-3907

ishlash, mos bashoratlash algoritmini tanlash hamda foydalanuvchiga tushunarli natija taqdim etishga qaratiladi. Narxlar dinamikasi odatda mavsumiylik, hududiy farq, talab va taklif, valyuta kursi, inflyatsiya, logistika xarajatlari hamda bozor sharoitlari bilan bog‘liq bo‘ladi. Shu sababli mobil ilova oddiy narxlar ro‘yxatini ko‘rsatish bilan cheklanmasdan, yig‘ilgan ma’lumotlarni tahlil qiluvchi va kelgusidagi o‘zgarishlarni bashoratlovchi aqlli tizim sifatida ishlab chiqilishi lozim.

Chen va boshqalar tomonidan olib borilgan tadqiqotda qishloq xo‘jaligi mahsulotlari narxlarini bashoratlash uchun ARIMA, SVR, Prophet, XGBoost va LSTM algoritmlari solishtirilgan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, katta hajmdagi tarixiy ma’lumotlar asosida LSTM modeli o‘rtacha 0,304 MSE ko‘rsatkichi bilan eng maqbul bashoratlash modeli sifatida tanlangan. Bu holat vaqt qatorlari shaklidagi narx ma’lumotlarida chuqur o‘qitish algoritmlarining samarali ishlashini ko‘rsatadi.

Ogol va boshqalar tomonidan e’lon qilingan tadqiqotda esa oziq-ovqat narxlarini bashoratlash uchun XGBoost va Gradient Boosting algoritmlariga asoslangan gibrid model qo‘llangan. Ushbu tadqiqotda 2006-yil yanvaridan 2024-yil sentyabrigacha bo‘lgan oziq-ovqat narxlari, valyuta kurslari va inflyatsiya kabi iqtisodiy ko‘rsatkichlar tahlil qilingan. Mazkur yondashuv narx bashoratida faqat tarixiy narxlar emas, balki narxga ta’sir qiluvchi qo‘shimcha omillar ham muhim ekanini ko‘rsatadi.

Narx monitoringi va bashoratlash jarayonining tahlili

Narx monitoringi jarayoni mahsulotlar haqidagi ma’lumotlarni muntazam yig‘ish va ularni yagona axborot bazasida jamlashdan boshlanadi. Mobil ilova uchun ma’lumotlar bozorlar, savdo do‘konlari, onlayn savdo platformalari yoki bevosita foydalanuvchilar tomonidan kiritilishi mumkin. Bunda mahsulot nomi, narxi, hududi, sanasi, o‘lchov birligi va mahsulot turi kabi ma’lumotlar asosiy axborot birliklari hisoblanadi.

Monitoring tizimida ma’lumotlarning ishonchliligi muhim o‘rin tutadi. Chunki noto‘g‘ri kiritilgan narx, takroriy yozuv yoki o‘lchov birliklaridagi farq bashorat natijasiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Shu bois mobil ilovada ma’lumotlarni tozalash, standartlashtirish va tekshirish bosqichlari alohida modul sifatida tashkil etilishi zarur.

ISSN 3030-3907

2-jadval.

Narx monitoringi uchun zarur ma’lumotlar tarkibi

Ma’lumot turi	Mazmuni	Mobil ilovadagi ahamiyati
Mahsulot nomi	Kartoshka, piyoz, guruch, un, yog‘ va boshqa mahsulotlar	Mahsulot bo‘yicha alohida narx tarixini shakllantiradi
Narx	Mahsulotning joriy qiymati	Monitoring va bashoratlashning asosiy ko‘rsatkichi
Hudud	Viloyat, tuman yoki bozor nomi	Hududlar bo‘yicha narx farqini aniqlash imkonini beradi
Sana	Narx kiritilgan kun, oy va yil	Vaqt qatori tahlilini shakllantiradi
O‘lchov birligi	Kilogramm, litr, dona yoki qop	Narxlarni to‘g‘ri solishtirishga xizmat qiladi
Iqtisodiy omillar	Valyuta kursi, inflyatsiya, mavsumiylik	Bashorat modelining aniqligini oshiradi

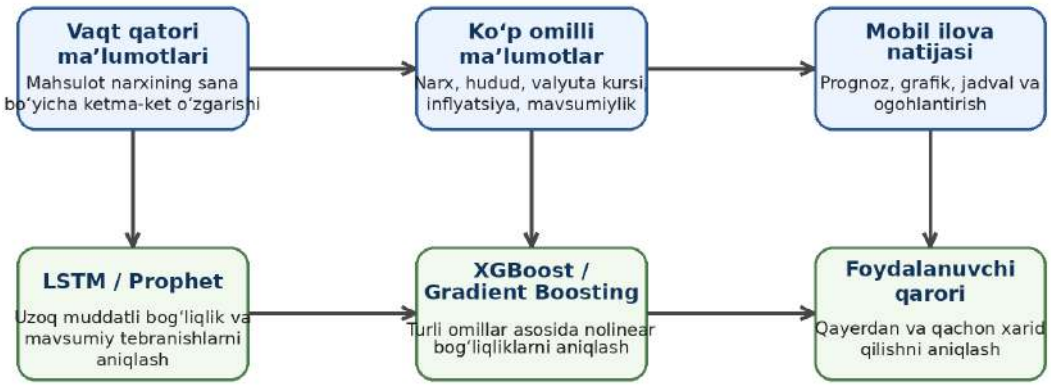
Ushbu jadvalda mobil ilovada narx monitoringini tashkil etish uchun zarur bo‘lgan asosiy ma’lumot turlari keltirilgan. Ayniqsa, sana, hudud va o‘lchov birligi to‘g‘ri kiritilishi keyingi tahlil va bashoratlash bosqichlarining aniqligini ta’minlaydi.

Bashoratlash algoritmlarining tahlili

Narxlarni bashoratlashda algoritm tanlash ma’lumotlarning turi va hajmiga bog‘liq. Agar ma’lumotlar asosan vaqt ketma-ketligi ko‘rinishida bo‘lsa, ya’ni mahsulot narxi kunlar, haftalar yoki oylar bo‘yicha o‘zgarib borsa, LSTM va Prophet kabi modellar samarali natija berishi mumkin. LSTM modeli oldingi davrlardagi narxlar o‘rtasidagi bog‘liqlikni saqlab qolishi va kelgusi davr uchun taxminiy qiymatlarni aniqlashi bilan ajralib turadi.

Agar narxga bir nechta omil ta’sir qilsa, masalan, hudud, inflyatsiya, valyuta kursi, mahsulot turi, mavsumiylik va talab darajasi hisobga olinsa, XGBoost yoki Gradient Boosting algoritmlaridan foydalanish maqsadga muvofiq bo‘ladi. Bunday modellar jadval ko‘rinishidagi ma’lumotlar bilan samarali ishlaydi va narxga ta’sir etuvchi asosiy omillarni aniqlash imkonini beradi.

ISSN 3030-3907



2-rasm. Algoritm tanlash mantiqi

Rasmda mahsulot narxlarini bashoratlashda algoritm tanlash mantiqi ko‘rsatilgan. Agar ilovada tarixiy narxlar ketma-ketligi asosiy manba sifatida olinadigan bo‘lsa, LSTM yoki Prophet kabi vaqt qatorlari modellaridan foydalanish maqsadga muvofiq. Agar narxga bir nechta omil ta’sir qilsa, XGBoost va Gradient Boosting algoritmlari samaraliroq bo‘ladi. Yakuniy natija mobil ilovada prognoz, grafik, jadval va ogohlantirish shaklida foydalanuvchiga taqdim etiladi.

3-jadval.

Bashoratlash algoritmlarining tahliliy solishtirilishi

Algoritm	Afzalligi	Kamchiligi	Mobil ilovada qo‘llanishi
ARIMA	Klassik vaqt qatori tahliliga mos	Murakkab nolinear bog‘liqliklarni yaxshi aniqlamaydi	Oddiy narx trendlarini tahlil qilishda
Prophet	Mavsumiylik va trendni aniqlashga qulay	Juda murakkab omillarni cheklangan darajada hisobga oladi	Mavsumiy mahsulotlar narxini bashoratlashda
SVR	Kichik va o‘rtacha hajmdagi ma’lumotlarda ishlashi mumkin	Katta ma’lumotlarda sozlash murakkab	Tajriba modelida qo‘llash mumkin
XGBoost	Ko‘p omilli ma’lumotlarda yuqori samaradorlikka ega	Parametrlarni to‘g‘ri tanlash talab etiladi	Hudud, inflyatsiya va valyuta kursi bilan bog‘liq narx prognozida
Gradient Boosting	Nolinear bog‘liqliklarni aniqlaydi	Hisoblash jarayoni murakkabroq bo‘lishi mumkin	Oziq-ovqat mahsulotlari narxini ko‘p omilli tahlil qilishda
LSTM	Uzoq muddatli vaqt bog‘liqliklarini aniqlaydi	Katta ma’lumot va hisoblash resursini talab qiladi	Tarixiy narxlar asosida chuqur prognozlashda

Jadvalda mahsulot narxlarini bashoratlashda qo‘llanishi mumkin bo‘lgan algoritmlar tahliliy solishtirilgan. LSTM modeli vaqt ketma-ketligidagi bog‘liqliklarni aniqlashda samarali bo‘lsa, XGBoost va Gradient Boosting

ISSN 3030-3907

algoritmlari ko‘p omilli ma’lumotlar asosida narx prognozini shakllantirishda afzallikka ega.

Mobil ilova arxitekturasi va ma’lumotlar oqimi

Mobil ilova arxitekturasi foydalanuvchidan yoki tashqi manbalardan kelayotgan ma’lumotlarni qabul qilish, ularni ma’lumotlar bazasida saqlash, tozalash, tahlil qilish va bashoratlash modeliga uzatish bosqichlaridan iborat bo‘lishi kerak. Bu jarayonda foydalanuvchi interfeysi, server qismi, ma’lumotlar bazasi va mashinali o‘qitish modeli o‘zaro bog‘langan holda ishlaydi.

Ilova foydalanuvchisi mahsulot narxini kiritishi yoki mavjud narxlarni ko‘rishi mumkin. Tizim esa kiritilgan ma’lumotlarni tekshiradi, ularni avvalgi qiymatlar bilan solishtiradi va zarur holatda ma’lumotlar bazasiga saqlaydi. Keyingi bosqichda bashoratlash modeli ushbu ma’lumotlardan foydalanib, kelgusi davr uchun taxminiy narxni hisoblaydi. Natija foydalanuvchiga grafik, jadval yoki bildirishnoma shaklida chiqariladi.

TAHLILIY NATIJALAR.

Tahlil qilingan ilmiy manbalar shuni ko‘rsatadiki, mahsulot narxlarini bashoratlashda bitta universal modeldan foydalanish har doim ham to‘g‘ri yechim bo‘lavermaydi. Narx ma’lumotlari vaqt qatori shaklida bo‘lsa, LSTM modeli yuqori samaradorlik ko‘rsatishi mumkin. Chunki ushbu model oldingi davrlardagi narxlar o‘rtasidagi bog‘liqlikni saqlaydi va kelajakdagi qiymatlarni aniqlashga yordam beradi.

Biroq narx o‘zgarishiga bir nechta iqtisodiy va hududiy omillar ta’sir qiladigan holatlarda XGBoost va Gradient Boosting modellaridan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Bunday yondashuv mahsulot narxiga ta’sir etuvchi omillarni chuqurroq tahlil qilish, ularning ahamiyatini baholash va prognoz natijasini foydalanuvchiga tushunarli ko‘rinishda taqdim etish imkonini beradi.

Shu asosda ishlab chiqiladigan mobil ilovada gibrid yondashuvdan foydalanish taklif etiladi. Ya’ni, tarixiy narxlar asosida vaqt qatori tahlili uchun LSTM modeli, ko‘p omilli narx tahlili uchun esa XGBoost yoki Gradient Boosting algoritmlari qo‘llanishi mumkin. Bu yondashuv ilovaning moslashuvchanligini oshiradi va turli mahsulotlar bo‘yicha aniqroq prognoz olish imkonini yaratadi.

ISSN 3030-3907

4-jadval.

Mobil ilovaning asosiy funksional imkoniyatlari

Funksiya	Vazifasi	Kutiladigan natija
Narxlarni kiritish	Foydalanuvchi yoki administrator mahsulot narxini tizimga kiritadi	Yangi narxlar bazasi shakllanadi
Narxlarni kuzatish	Mahsulotlar bo‘yicha joriy narxlar ko‘rsatiladi	Foydalanuvchi bozor holatini kuzatadi
Hududlar bo‘yicha solishtirish	Turli hududlardagi narxlar taqqoslanadi	Eng qulay narxni tanlash imkoniyati yaratiladi
Grafik tahlil	Narxlar dinamikasi grafik ko‘rinishda beriladi	O‘zgarish tendensiyasi aniqlanadi
Bashoratlash	Kelgusi davr uchun taxminiy narx hisoblanadi	Xarid yoki savdo qarorini oldindan rejalashtirish mumkin
Ogohlantirish	Narx keskin oshganda yoki pasayganda xabar beriladi	Foydalanuvchi tezkor qaror qabul qiladi

Jadvalda ishlab chiqilishi rejalashtirilayotgan mobil ilovaning asosiy funksional imkoniyatlari keltirilgan. Ushbu funksiyalar narx monitoringi, tahlil, bashoratlash va foydalanuvchini ogohlantirish jarayonlarini yagona tizimga birlashtirishga xizmat qiladi.

Umuman olganda, talab qilinadigan mahsulotlar narxlarini monitoring qilish va bashoratlash mobil ilovasi real vaqt ma’lumotlari, tarixiy narxlar bazasi hamda mashinali o‘qitish algoritmlariga asoslangan holda ishlab chiqilishi lozim. Bunday tizim foydalanuvchilarga mahsulot narxlarini kuzatish, hududlar bo‘yicha solishtirish va kelajakdagi narx o‘zgarishlarini oldindan baholash imkonini beradi. Natijada mobil ilova bozor shaffofligini oshirish, iste’molchilarga qulay axborot muhitini yaratish va iqtisodiy qarorlar qabul qilish samaradorligini kuchaytirishga xizmat qiladi.

XULOSA.

Olib borilgan tahlillar shuni ko‘rsatadiki, talab qilinadigan mahsulotlar narxlarini monitoring qilish va bashoratlashga mo‘ljallangan mobil ilovani ishlab chiqish bugungi raqamli iqtisodiyot sharoitida dolzarb ilmiy-amaliy masalalardan biri hisoblanadi. Kundalik ehtiyoj uchun zarur bo‘lgan oziq-ovqat va qishloq xo‘jaligi mahsulotlari narxining o‘zgarib borishi iste’molchilar, tadbirkorlar, fermer xo‘jaliklari hamda davlat boshqaruvi organlari uchun tezkor va ishonchli

ISSN 3030-3907

axborotga bo‘lgan ehtiyojni kuchaytirmoqda. Shu sababli narxlarni real vaqt rejimida kuzatish, ularni hududlar kesimida solishtirish va kelgusidagi narx o‘zgarishlarini oldindan baholash imkonini beruvchi mobil tizimni yaratish muhim ahamiyatga ega.

Tadqiqot davomida mahsulot narxlarini bashoratlashda mashinali o‘qitish algoritmlaridan foydalanish samarali yondashuv ekani aniqlandi. Xususan, vaqt qatorlari shaklidagi tarixiy narx ma’lumotlarini tahlil qilishda LSTM modeli, ko‘p omilli iqtisodiy va hududiy ko‘rsatkichlar asosida prognozlashda esa XGBoost hamda Gradient Boosting algoritmlari maqsadga muvofiq hisoblanadi. Ushbu yondashuvlar mahsulot narxlariga ta’sir qiluvchi mavsumiylik, talab va taklif, valyuta kursi, inflyatsiya, hududiy farq hamda boshqa omillarni chuqurroq tahlil qilish imkonini beradi.

Maqolada taklif etilgan mobil ilova arxitekturasi ma’lumotlarni yig‘ish, saqlash, tozalash, qayta ishlash, bashoratlash va foydalanuvchiga vizual shaklda taqdim etish bosqichlariga asoslanadi. Bunday tizimda foydalanuvchi mahsulotlar bo‘yicha joriy narxlarni kuzatishi, turli hududlardagi narxlarni solishtirishi, narxlar dinamikasini grafik ko‘rinishda tahlil qilishi va kelgusi davr uchun prognoz natijalaridan foydalanishi mumkin. Shuningdek, narxlar keskin oshgan yoki pasaygan holatlarda ogohlantirish funksiyasining mavjudligi ilovaning amaliy qiymatini yanada oshiradi.

Umuman olganda, talab qilinadigan mahsulotlar narxlarini monitoring qilish va bashoratlash mobil ilovasini ishlab chiqish bozor shaffofligini oshirish, iste’molchilarga qulay axborot muhitini yaratish hamda iqtisodiy qarorlar qabul qilish samaradorligini kuchaytirishga xizmat qiladi. Mazkur tizim kelgusida sun’iy intellekt, katta ma’lumotlar tahlili va real vaqt monitoringi texnologiyalari bilan boyitilsa, mahsulot narxlarini yanada aniqroq prognozlash, talab o‘zgarishlarini baholash va bozor holatini kompleks tahlil qilish imkoniyatlari kengayadi. Shu bois ushbu yo‘nalishda olib boriladigan keyingi tadqiqotlarda mobil ilovani amaliy dasturiy yechim sifatida ishlab chiqish, real ma’lumotlar bazasida sinovdan o‘tkazish va bashoratlash modellarining aniqlik darajasini baholash maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Chen, Z., Goh, H. S., Sin, K. L., Lim, K., Chung, N. K. H., & Liew, X. Y. Automated Agriculture Commodity Price Prediction System with Machine Learning Techniques. arXiv preprint, 2021. URL: https://arxiv.org/abs/2106.12747

2. Chen, Z., Goh, H. S., Sin, K. L., Lim, K., Chung, N. K. H., & Liew, X. Y. Automated Agriculture Commodity Price Prediction System with Machine Learning Techniques. PDF version. URL: https://arxiv.org/pdf/2106.12747

ISSN 3030-3907

3. Ogol, B. O., et al. Predicting Food Prices in Kenya Using Machine Learning. Frontiers in Artificial Intelligence, 2025. URL: https://www.frontiersin.org/journals/artificial-intelligence/articles/10.3389/frai.2025.1661989/full
4. Ogol, B. O., et al. Predicting Food Prices in Kenya Using Machine Learning. Frontiers in Artificial Intelligence, Abstract version, 2025. URL: https://www.frontiersin.org/journals/artificial-intelligence/articles/10.3389/frai.2025.1661989/abstract
5. Ogol, B. O., et al. Predicting Food Prices in Kenya Using Machine Learning. PubMed Central full-text version, 2025. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12592163/
6. Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. Forecasting: Principles and Practice. 3rd edition. OTexts, 2021. URL: https://otexts.com/fpp3/
7. Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. Long Short-Term Memory. Neural Computation, 1997, 9(8), 1735–1780. URL: https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735
8. Chen, T., & Guestrin, C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 2016, 785–794. URL: https://doi.org/10.1145/2939672.2939785
9. Taylor, S. J., & Letham, B. Forecasting at Scale. The American Statistician, 2018, 72(1), 37–45. URL: https://doi.org/10.1080/00031305.2017.1380080
10. Friedman, J. H. Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine. The Annals of Statistics, 2001, 29(5), 1189–1232. URL: https://doi.org/10.1214/aos/1013203451

ISSN 3030-3907

STUDY OF THE EFFECT OF SUPERPLASTICIZERS ON THE PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE

Safarova Rukhshona Ulug‘bek qizi
student, Bukhara State Pedagogical Institute
Bekov Ulug‘bek Safarovich
PhD, associate professor, Bukhara State Technical University

Abstract. In this article, the effect of three types of superplasticizers – lignosulfonate (LST), naphthalene formaldehyde sulfonate (NFS) and polycarbonate ether (PCE) – on the main physical and mechanical properties of concrete mix and hardened concrete is studied based on laboratory studies. The mechanisms of influence of chemical additives on water-cement ratio, plasticity and workability, compressive and flexural strength, density, water permeability and frost resistance are scientifically analyzed. The experimental results are reflected in tables, and recommendations are given for the effective use of superplasticizers in practical construction.

Keywords: superplasticizer, polycarboxylate ether (PCE), lignosulfonate (LST), naphthalene formaldehyde sulfonate (NFS), water-cement ratio, concrete strength, workability, slump retention, water permeability, frost resistance, microstructure, hydration.

Аннотация. В данной статье на основе лабораторных исследований изучается влияние трех типов суперпластификаторов – лигносульфоната (ЛСТ), нафталенформальдегидсульфоната (НФС) и поликарбонатного эфира (ПХЭ) – на основные физико-механические свойства бетонной смеси и затвердевшего бетона. Научно проанализированы механизмы влияния химических добавок на водоцементное соотношение, пластичность и удобоукладываемость, прочность на сжатие и изгиб, плотность, водопроницаемость и морозостойкость. Экспериментальные результаты представлены в таблицах, даны рекомендации по эффективному применению суперпластификаторов в практическом строительстве.

Ключевые слова: суперпластификатор, поликарбоксилатный эфир (PCE), лигносульфонат (LST), нафталенформальдегидсульфонат (NFS), водоцементное соотношение, прочность бетона, удобоукладываемость, сохранение подвижности, водопроницаемость, морозостойкость, микроструктура, гидратация.

Annotatsiya. Ushbu maqolada uch turdagi superplastifikator – lignosulfonat (LST), naftalin formaldegid sulfonat (NFS) va polikarbonat efir (PCE) – ning beton qorishmasi va qattiq betonning asosiy fizik-mexanik xossalariga ta'siri laboratoriya tadqiqotlari asosida o‘rganilgan. Kimyoviy qo‘shimchalarning suv-sement nisbatiga, plastiklik va hayotiylik muddatiga, siqishga va egilishga

ISSN 3030-3907

mustahkamlikka, zichlikka, suv o‘tkazuvchanlik va ayazga chidamlilıkka ta'sir mexanizmlari ilmiy jihatdan tahlil qilinadi. Tajriba natijalari jadvallarda aks ettirilgan bo‘lib, amaliy qurilish jarayonida superplastifikatorlarni samarali qo‘llash bo‘yicha tavsiyalar berilgan.

Kalit so‘zlar: superplastifikator, polimer efir sement asosi (PCE), lignosulfonat (LST), naftalin formaldegid sulfat (NFS), suv-sement nisbati, betonning mustahkamligi, plastiklik, hayotiylik muddati, suv o‘tkazuvchanlik, ayazga chidamlilik, mikrostruktura, gidratatsiya.

INTRODUCTION.

In the modern construction industry, concrete technology is developing rapidly, and research is increasingly being carried out to create high-quality materials that meet new requirements. Among the ways to improve the physical and mechanical properties of concrete, chemical additives – in particular superplasticizers – are recognized as the most effective and economically viable means. Superplasticizers significantly increase the plasticity of the concrete mix, while at the same time reducing water consumption by 15 – 35 %, which radically improves the strength, density and long-term durability of concrete.

The widespread introduction of superplasticizers into the construction industry began in the 1960s and 1970s in Japan and Germany with the discovery of additives based on naphthalene formaldehyde sulfonate (NFS). Since the 1980s, more effective lignosulfonate (LST) preparations have been widely used. At the beginning of the 21st century, a new generation of superplasticizers based on polycarbonate ether (PCE) was created, which demonstrated 2 – 3 times higher efficiency than their predecessors. Today, PCE-based superplasticizers are the main chemical additive in the production of high-strength (HSC) and self-compacting concrete (SCC) worldwide.

According to their chemical structure, superplasticizers are divided into four main groups. The first group is lignosulfonate (LST)-based preparations. These are a by-product of the cellulose industry, used in a dosage of 0.3 – 0.5% and increase the cone slump by 10 – 14 cm. The second group is condensed naphthalene formaldehyde sulfonates (NFS). They are used in a dosage of 0.5 – 1.2%, significantly increase plasticity and increase the 28-day strength by 20 – 30%. The third group is melamine formaldehyde sulfonates (MFS). These preparations are effective in accelerated hardening modes under the influence of heat and are mainly used in factories. The fourth group is polycarbonate esters (PCE). These are modern and most effective superplasticizers, which allow for targeted adjustment of the mechanism of action by changing the structure of the side chains.

ISSN 3030-3907

"Smart" superplasticizers based on the PCE structure are able to selectively interact with the surface properties of cement particles through molecular engineering. The main chain of PCE molecules is a polymer containing carbonyl groups, and the side chains are composed of polyethylene glycol (PEG) segments. This structure works through a dual (steric + electrostatic) barrier mechanism: the carbonyl groups adsorb to the positively charged surface of the cement particles, while the side PEG chains create a physical barrier between the particles, preventing their aggregation. As a result, water remains free and the plasticity of the mixture increases dramatically.

The main mechanism of action of superplasticizers is based on the principles of electrostatic repulsion and steric (spatial) hindrance. Until hydration, cement particles are attracted to each other due to different surface charges, forming agglomerates (flocculates). Water molecules remain inside this agglomerate, and the plasticity of the mixture decreases. LST and NFS type superplasticizers "envelop" the surface of cement particles with a uniform negative charge and break up the flocculate through electrostatic repulsion. When the cement particles become free, the internal water is released and the plasticity increases.

PCE-type superplasticizers, in addition to the electrostatic effect, have a much stronger dispersing effect due to the steric hindrance created by the side PEG chains. Studies have shown that the steric hindrance mechanism provides a dispersing force 3–5 times more effective than the electrostatic mechanism. Therefore, PCE preparations are used in 3 – 5 times less quantities than NFS or LST preparations (0.1–0.4% of the mixture mass), but they give a much stronger result in terms of plasticity.

The research was conducted in a specialized laboratory in accordance with the requirements of O‘zST ISO 1920-1:2016 and GOST 10180-2012. The experiment used Portland cement of the Kyzylkum Cement Plant CEM I 42.5 R brand, dry river sand (MK = 2.1), crushed stone (fraction 5 – 20 mm) and three types of superplasticizers: SP-1 – lignosulfonate-based preparation "S-3" (Russian production, dosage 0.5 – 0.8% of cement); SP-2 – polycarbonate ether-based "Sika ViscoCrete-5-400" (Sika Switzerland, dosage 0.2 – 0.6%); SP-3 – naphthalene formaldehyde sulfonate-based "Mighty 150" (Fujisawa, Japan, dosage 0.6 – 1.0%).

The basic concrete composition for all experiments was determined as follows: cement – 380 kg/m^3; sand – 680 kg/m^3; crushed stone – 1080 kg/m^3; water – 209 liters/m^3 in the control sample (W/C = 0.55). When adding a superplasticizer, only water consumption was reduced, the amount of cement and aggregate did not change. This approach allowed us to simultaneously compare

ISSN 3030-3907

two main performance measures: how much the amount of cement could be reduced while maintaining the same plasticity (economic efficiency) and how much the plasticity of the mixture could be increased at the same W/C (technological efficiency).

Table 1 presents the main physical and mechanical characteristics of concrete samples prepared with three types of superplasticizers. The results of the table allow us to draw four main conclusions: first, all types of SP significantly reduced the W/C ratio and increased the strength; second, PCE-based SP-2 provided the lowest W/C ratio (0.32) and the highest strength (52.7 MPa); third, water permeability and frost resistance also improved in parallel with strength; fourth, increasing the SP dosage beyond the optimal one did not provide additional benefits due to the "saturation effect".

Table 1.

Comparison results of concrete properties with different superplasticizers

Indicator/Superplasticizer	Control (no SP)	SP-1 (LST, 0.5%)	SP-2 (PCE, 0.3%)	SP-3 (NFS, 0.8%)
Water-cement ratio (W/C)	0.55	0.40	0.32	0.43
Conical slump (cm)	6 – 8	16 – 18	20 – 22	14 – 16
$R_{c,28}$ – cubic strength (MPa)	28.5	38.2	52.7	35.8
Flexural strength (MPa)	3.8	5.1	6.9	4.7
Density (kg/m^3)	2310	2380	2440	2350
Water permeability W (degrees)	W4	W8	W12	W6
Frost resistance F (cycles)	F100	F200	F300	F150

Note: SP – superplasticizer; LST – lignosulfonate; PCE – polycarbonate ether; NFS – naphthalene formaldehyde sulfonate. All samples were cured for 28 days at 20±2°C.

Analysis of Table 1 shows that reducing the W/C of PCE-based SP-2 from 0.55 to 0.32 – i.e. by 41.8% – allowed to increase the compressive strength from 28.5 to 52.7 MPa, i.e. by 84.9%. This result is a practical confirmation of Abrams' law (strength depends exponentially on W/C): Rc = A/B^(W/C) where A and B are empirical constants depending on the type of cement, and laboratory experiments for Uzbek Portland cement showed that A = 110 – 120 MPa, B = 3.0 – 3.5. The flexural strength also increases in parallel from 3.8 to 6.9 MPa - this

ISSN 3030-3907

indicator also occurs as a result of achieving a dense and homogeneous structure of the concrete matrix by reducing the W/C.

Determining the optimal dosage of superplasticizer is of crucial importance in the technological process. Insufficient dosage does not provide the desired plasticity; excessive dosage does not provide additional plasticity due to the "saturation effect", but leads to negative consequences such as prolonging the setting time of the mixture, entraining air, and causing economic losses. The “saturation” limit of the PCE preparation is usually observed at around 0.4 – 0.6% of cement.

Table 2 presents the results of experiments with increasing doses of PCE superplasticizer. The table shows that when used at a dosage of 0.4%, W/C can be reduced to 0.35, which increases the 28-day strength by 50.3 MPa – that is, by 76.5% compared to the control. When switching to a dosage of 0.6%, W/C decreases to 0.30, and the strength reaches 58.7 MPa. At the same time, when moving from 0.4% to 0.6%, cement savings increase from 70 – 85 kg/m^3 to 90 – 110 kg/m^3, and the economic savings per 1 m^3 of concrete further increase.

Table 2.

Effect of PCE superplasticizer dosage on concrete strength and cement savings

PCE dosage (% of cement)	0.0% (control)	0.2%	0.4%	0.6%
W/C ratio	0.55	0.45	0.35	0.30
$R_{c,7}$ (MPa) – 7 days	18.2	24.5	33.8	40.1
$R_{c,28}$ (MPa) – 28 days	28.5	37.6	50.3	58.7
$R_{c,90}$ (MPa) – 90 days	32.1	43.2	58.6	67.4
Cement saving (kg/m^3)	–	40 – 50	70 – 85	90 – 110

Note: All samples were prepared with CEM I 42.5 R cement, W/C optimization to provide Slump 18 – 20 cm. Cement savings are calculated with W/C reduced while maintaining the same plasticity.

The effect of the superplasticizer on the plasticity of the mixture is assessed by the Slump test – according to GOST 10181-2014 – and the Flow table. The Slump of the control sample, which was 6 – 8 cm, increased to 20 – 22 cm when SP-2 (PCE, 0.3%) was added, which means a transition from the S1 plasticity

ISSN 3030-3907

class to the S4 class. The practical significance of this is that mixtures with plasticity S4 and higher allow filling structures with complex reinforcement systems without mechanical compaction or with minimal vibration.

Slump retention – the time the mixture retains its optimal plasticity from the time it is delivered to the construction site and poured – is an important indicator in modern construction. Studies have shown that in SP-1 based on LST, the cone slump decreased from 22 cm to 14 cm (a 36% reduction) after 60 minutes of mixing. In SP-3 based on NFS, the slump decreased from 16 cm to 10 cm after 60 minutes. In SP-2 based on PCE, the slump decreased from 20 cm to 16 cm after 90 minutes, which means that plasticity is better maintained. This property is critical for concrete delivery over long distances (ready-mix trucks) or construction in hot climates.

In the continental climate of Uzbekistan, summer temperatures reaching 40–45°C further reduce the working life of concrete. Cement hydration reactions are exothermic, and according to the Arrhenius equation, the reaction rate increases by about 2 – 2.5 times for every 10°C increase in temperature. This also affects the efficiency of superplasticizers: at 35°C, the optimal dose of PCE should be increased by 25 – 30% compared to the optimal dose at 20°C. Experiments have shown that the working life of LST at 40°C is only 20 – 25 minutes, which is completely unsuitable for long-distance transportation in practical construction. PCE can provide a working life of 45 – 55 minutes even at 40°C.

To understand the effect of superplasticizers on the long-term properties of concrete, it is necessary to study the microstructure of cement stone. Studies using scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffractometry (XRD) showed that the capillary pore volume in concrete samples hardened with the PCE superplasticizer decreased by 35 – 45% compared to the control sample. This decrease is directly related to the decrease in the W/C ratio from 0.55 to 0.32: the lower the water consumption, the less capillary voids remain after hydration.

XRD analysis showed that in the samples with the presence of SP, the crystallinity of the calcium hydrosilicate (C-S-H) phase increased, while the amount of portlandite ($Ca(OH)_2$) decreased. The reason for this phenomenon is that at low W/C, cement hydration occurs more completely and homogeneously, which leads to the formation of a denser and stronger C-S-H lattice structure. The decrease in the amount of portlandite (from 22% in the control to 14% in the PCE sample) is also considered positive, since portlandite is the weakest phase of the concrete matrix and is the component most resistant to chemical effects (carbonation, sulfate attack).

As can be seen in Table 1, the samples prepared with the PCE preparation achieved a water resistance level of W12, which is 3 orders of magnitude higher

ISSN 3030-3907

than the W4 in the control sample. This result is of great practical importance: concrete with a water resistance of W12 can be used without additional waterproofing, suitable for underground structures, bridge structures, hydraulic structures, and structures operating in aggressive chemical environments.

Frost resistance tests were conducted according to GOST 10060-2012 (accelerated method). PCE samples reached the F300 level - that is, after 300 freeze-thaw cycles, it was confirmed that the mass did not decrease by more than 5%, and the strength did not decrease by more than 25%. This indicator meets the requirements for structures intended for harsh climatic regions of Scandinavia and Siberia. The control sample remained at the F100 level. The relationship between frost resistance and water permeability is direct: the fewer and smaller the capillary pores, the weaker the destructive forces arising from the expansion of water in the pores during freeze-thaw.

Superplasticizers have been successfully used at a number of large construction sites in Uzbekistan and have shown clear technical and economic efficiency. In the construction of the Tashkent City business center in Tashkent (2019–2022), a PCE-based superplasticizer was used for the high-rise foundation slab, and C40/50 class concrete was prepared. Used together with a modern mixer and fiberglass concrete delivery systems, the mixture was provided with a workability period of 90 minutes. In this construction, due to the saving of cement consumption by 60 kg per 1 m^3, the total savings for the total volume of concrete in this construction amounted to 60,000 tons of cement, and in terms of money, millions of soums were saved.

During the reconstruction of the cement plant in Navoi (2020–2021), a superplasticizer based on NFS was used, and the optimal composition was selected for reinforced concrete structures produced at the plant in the thermal acceleration mode. The test results showed that when SP was added, the strength of reinforced concrete products after an 8-hour steaming cycle increased by 28% compared to the control sample, and compared to the 24-hour strength, it was achieved in just 16 hours. This allowed the plant to increase its daily productivity by 1.5 shifts.

In the bridge structure under construction on the left bank of the Amudarya (Khorezm region, 2022–2024), a superplasticizer based on PCE was used for parts requiring high water resistance and frost resistance, achieving W10 and F200 indicators. Previously, an additional hydrophobic coating was required to achieve these performance levels. The use of a superplasticizer reduced the project cost by 4.2% in terms of waterproofing costs alone.

The effect of superplasticizers on the elastic modulus (Eb) and tensile strength of concrete was also studied separately. The elastic modulus is directly

ISSN 3030-3907

related to the density and capillary porosity of the components in the concrete, and this indicator increases in high-density concrete. The experimental results showed that the elastic modulus in samples with the PCE superplasticizer increased by 15 – 22% compared to the control sample: while the control had Eb = 28,500 MPa, the SP-2 (PCE) sample reached Eb = 34,200 MPa. This indicator is structurally important, since a high elastic modulus increases resistance to deformations and reduces the risk of resonance of the structure under short-term loads. The tensile strength (Rt) also increased in parallel with the compressive strength, reaching 3.4 MPa in the PCE sample from 2.2 MPa in the control sample, i.e. by 54.5%.

The concept of "saturation point" is of central importance in optimizing the superplasticizer dosage. To determine this point experimentally, the Marsh cone test is used: the time it takes for 1 liter of mixture to flow through a standard cone (orifice diameter 8 mm) is measured. At the saturation point, the flow time is the shortest, and the subsequent addition of SP does not significantly change the flow time, but increases the risk of bleeding and delayed air entrainment. In TATU studies, it was experimentally determined that the saturation point for the PCE preparation of the Kyzylkum plant CEM I 42.5 R cement is in the range of 0.38 – 0.42%, and for the NFS preparation is in the range of 0.75 – 0.90%. These indicators require high-precision control of the dosage of components during production.

The issue of compatibility of superplasticizers and other chemical additives requires special attention in the construction practice of Uzbekistan. Often, at one construction site, it is necessary to use several types of additives - superplasticizers, air-entraining agents, accelerators or retarders - at the same time. In these cases, chemical interaction can change the properties of concrete in unexpected ways. For example, it has been observed in practice that the combined use of a superplasticizer based on LST and an accelerator based on calcium chloride gives a strong retarding effect. Therefore, before applying any combination of additives to the construction site, it is absolutely necessary to conduct a laboratory compatibility test, document the results and use only tested doses and combinations in practice.

Based on the results of laboratory studies and practical experience, the following scientific conclusions and practical recommendations were formed. Superplasticizers allow to increase the strength by 35 – 85%, improve water permeability by 2 – 3 degrees, and increase frost resistance by 1.5 – 3 times by reducing the water-cement ratio of concrete by 15 – 45%. PCE-based superplasticizers are distinguished by their technical efficiency, long pot life, and dosing accuracy compared to LST and NFS preparations.

ISSN 3030-3907

For the effective use of superplasticizers in practical construction, it is recommended to adhere to the following principles: first, determine the type and dosage of SP through preliminary laboratory testing with cement brand and raw materials; second, in the hot climate of Uzbekistan, give preference to PCE preparations or use LST/NFS preparations together with retention additives that extend the service life; third, determine the saturation point of SP and do not exceed the optimal dosage; fourth, add additional active mineral additives (microsilica, fly ash) instead of cement saved due to the addition of SP, thereby further increasing the long-term durability of concrete.

Cement consumption is the most expensive component of concrete and is the main source of CO_2 emissions. Since superplasticizers serve both economic (cement saving) and environmental (carbon footprint reduction) purposes at the same time, their wider introduction and localization in the construction industry of Uzbekistan is necessary not only from a technical point of view, but also from the principles of sustainable development.

LIST OF SOURCES

1. Neville A.M. Properties of Concrete. 5th ed. – Harlow: Pearson Education, 2011. – 846 p.
2. Aitcin P.C. High-Performance Concrete. – London: E & FN Spon, 1998. –591 p.
3. Козлов В.В. Суперпластификаторой в технологии бетона. — Москва: АСВ, 2009. — 224 с.
4. Рамачандран В.С. и др. Добавки в бетон: справочное пособие. — Москва: Стройиздат, 1988. – С. 575.
5. Marchon D., Flatt R.J. Mechanisms of cement hydration. In: Science and Technology of Concrete Admixtures. – Woodhead Publ., 2016. – 129–146 p.
6. Флатт Р. и др. Полимеры и бетон: взаимодействие на уровне наноструктуры // Цемент и его применение. – 2012. – №4. – С. 46–51.
7. Axmedov B.A. Superplastifikatorli yuqori mustahkamli betonlar texnologiyasi. – Toshkent: TATU, 2022. – 168 b.
8. QMQ 2.03.02-96. Beton va temir-beton konstruksiyalar. O‘zR Davlat qurilish qo‘mitasi. – Toshkent, 1996.
9. ГОСТ 10180-2012. Бетон. Метод определения прочности по контролним образцам. – Москва, 2012.
10. ГОСТ 10181-2014. Смеси бетонна. Метод испитания. – Москва, 2014.
11. O‘zST ISO 1920-1:2016. Betonni sinovdan o‘tkazish. – Toshkent: O‘zstandart, 2016.

ISSN 3030-3907

12. Gelardi G., Flatt R.J. Working mechanisms of water reducers and superplasticizers // Science and Technology of Concrete Admixtures. – 2016. – 257–278 p.
13. Toshkent arxitektura va qurilish universiteti. Qurilish materiallari texnologiyasi kafedrasi ilmiy hisobotlari. 2020–2023 yillar. – Toshkent: TATU, 2023.

REAL ELEKTR TARMOG‘IDA QUYOSH FOTOELEKTRIK TIZIMLARINI OPTIMAL INTEGRATSIYALASH MASALALARI

Xidirov Mirabbos Mirzayor o‘g‘li
Qarshi davlat texnika universiteti, katta o‘qituvchi

Annotatsiya. Ushbu maqolada elektr taqsimlash tarmoqlariga quyosh fotoelektrik tizimlarini (PV) samarali integratsiyalash va optimal joylashtirish masalalari tadqiq qilingan. Tadqiqot davomida PV tizimlarining elektr tarmog‘iga ta’siri, jumladan kuchlanish profilining o‘zgarishi, energiya yo‘qotishlari va teskari quvvat oqimi holatlari tahlil qilingan. Maqolada PV tizimlarini optimal joylashtirish va quvvatini tanlash orqali elektr tarmog‘i samaradorligini oshirish, energiya yo‘qotishlarini kamaytirish hamda kuchlanish barqarorligini yaxshilash masalalari ko‘rib chiqilgan. Shuningdek, optimallashtirish jarayonida elektr tarmog‘ining texnik cheklovlari va ekspluatatsion talablariga alohida e’tibor qaratilgan.

Kalit so‘zlar: quyosh fotoelektrik tizimi, taqsimlash tarmog‘i, optimal joylashtirish, elektr energiyasi yo‘qotishlari, kuchlanish profili, teskari quvvat oqimi, qayta tiklanuvchi energiya manbalari, elektr tarmog‘i samaradorligi, kuchlanish barqarorligi, PV integratsiyasi.

Abstract. This paper investigates the issues of efficient integration and optimal placement of solar photovoltaic (PV) systems in electrical distribution networks. The study analyzes the impact of PV systems on the power network, including voltage profile variations, power losses, and reverse power flow conditions. Particular attention is given to improving network performance, reducing energy losses, and enhancing voltage stability through the optimal allocation and sizing of photovoltaic systems. Furthermore, technical constraints and operational requirements of distribution networks are considered during the optimization process.

Keywords: solar photovoltaic system, distribution network, optimal placement, power losses, voltage profile, reverse power flow, renewable energy sources, power system efficiency, voltage stability, PV integration.

Аннотация. В данной статье исследованы вопросы эффективной интеграции и оптимального размещения солнечных фотоэлектрических систем (PV) в распределительных электрических сетях. В ходе исследования проанализировано влияние фотоэлектрических систем на электрическую сеть, включая изменение профиля напряжения, потери электроэнергии и возникновение обратных потоков мощности. Рассмотрены вопросы повышения эффективности работы электрической сети, снижения потерь электроэнергии и улучшения стабильности напряжения за счёт оптимального размещения и выбора мощности

ISSN 3030-3907

фотоэлектрических систем. Особое внимание уделено техническим ограничениям и эксплуатационным требованиям распределительных сетей при выполнении процесса оптимизации.

Ключевые слова: солнечная фотоэлектрическая система, распределительная электрическая сеть, оптимальное размещение, потери электроэнергии, профиль напряжения, обратный поток мощности, возобновляемые источники энергии, эффективность электрической сети, стабильность напряжения, интеграция PV-систем.

KIRISH.

So‘nggi yillarda quyosh fotoelektrik (PV) tizimlaridan foydalanish iqtisodiy afzalliklari sababli sezilarli darajada oshdi. Biroq, PV generatsiyaning o‘zgaruvchanligi elektr taqsimlash tarmoqlarida ortiqcha kuchlanish, energiya yo‘qotishlari va kuchlanish tebranishlari kabi muammolarni yuzaga keltirishi mumkin. Shu sababli, elektr tarmoqlari samaradorligini oshirish, kuchlanish barqarorligini ta’minlash va yo‘qotishlarni kamaytirish uchun PV tizimlarini optimal joylashtirish muhim ahamiyatga ega hisoblanadi [1]–[4].

PV taqsimlangan generatsiyasini (PVDG) optimal joylashtirish va quvvatini aniqlash bo‘yicha ko‘plab tadqiqotlar olib borilgan. Ushbu tadqiqotlarda energiya yo‘qotishlarini kamaytirish va kuchlanish profilini yaxshilash asosiy maqsad hisoblanadi. Buning uchun analitik usullar, metaevristik algoritmlar va optimallashtirish metodlari qo‘llanilgan. Tadqiqotlar natijasida PV tizimlarini optimal joylashtirish elektr tarmoqlari samaradorligini oshirishi, kuchlanish barqarorligini yaxshilashi hamda quvvat yo‘qotishlarini kamaytirishi aniqlangan [5]–[12].

Ushbu tadqiqotda PV taqsimlangan generatsiyasini optimal joylashtirish orqali energiya yo‘qotishlarini kamaytirish, yuklama uzatish qobiliyati va kuchlanish profilini yaxshilash masalalari ko‘rib chiqilgan. Maqolada real taqsimlash tarmog‘i uchun simulyatsion model yaratilgan hamda PV tizimlarining optimal joylashuvi va quvvati optimallashtirish usullari yordamida aniqlangan. Tadqiqotda kuchlanish, AC quvvat oqimi va teskari quvvat oqimi cheklovlari hisobga olingan.

TADQIQOT METODOLOGIYASI. Gipotetik elektr taqsimlash modeli Virjiniya shtatidagi mahalliy elektr ta’minoti tarmog‘i asosida ishlab chiqilgan bo‘lib, yozgi maksimal yuklama 23 260 kVt ni tashkil etadi va 1902 ta iste’molchiga xizmat ko‘rsatadi. Iste’molchilar tarkibi 1429 ta turar joy, 397 ta kichik tijorat hamda 76 ta yirik tijorat/sanoat obyektlaridan iborat. Tarmoqning kuchlanish darajasi 12,5 kV ni tashkil qiladi. Xavfsizlik sabablariga ko‘ra, mahalliy elektr kompaniyasi tarmoq tuzilishi va loyihasi bo‘yicha aniq ma’lumotlarni taqdim eta olmagan.

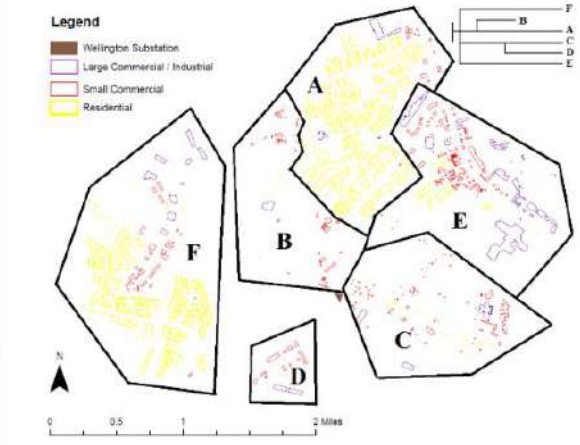
ISSN 3030-3907

Shu sababli tizim mavjud ma’lumotlar, GIS qatlamlari va Open Energy Information (OpenEI) ma’lumotlari asosida modellashtirilgan. Elektr tarmog‘ini modellashtirish uchun tadqiqot hududi xarita va elektr liniyalari asosida oltita kichik hududga bo‘lingan. So‘ngra Google xaritalari yordamida aniqlangan asosiy taqsimlash feederlari va tarmoqlari ushbu hududlarni ta’minlaydi deb qabul qilingan. Har bir hududdagi bino turlari soni GIS ma’lumotlari asosida aniqlangan (1-rasm).

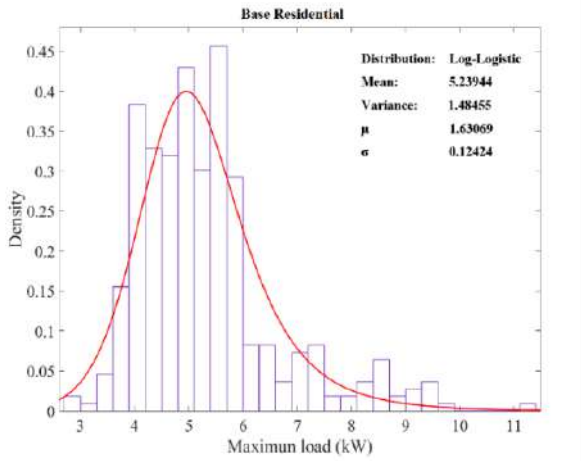
A. Yuklama tugunlari va yuklama profillari

Tadqiqot hududidagi binolar geografik joylashuviga ko‘ra guruhlanib, har bir guruh alohida yuklama tuguni (bus) sifatida qaraladi. Har bir tugunning yuklama profili unga ulangan barcha binolarning soatlik yuklamalarini yig‘ish orqali aniqlanadi. Tugun turlari esa ulangan bino turlariga qarab belgilanadi.

OpenEI ma’lumotlar bazasi yil davomida turli bino turlari (turar joy, ofis, restoran, mehmonxona va boshqalar) uchun soatlik yuklama profillarini taqdim etadi. Har bir yuklama turi uchun maksimal yuklama statistik tahlil asosida aniqlanadi. Maksimal yuklamaning ehtimollik taqsimoti empirik PDF orqali ifodalanib, u Log-Logistic taqsimoti bilan yaqinlashtirilgan.



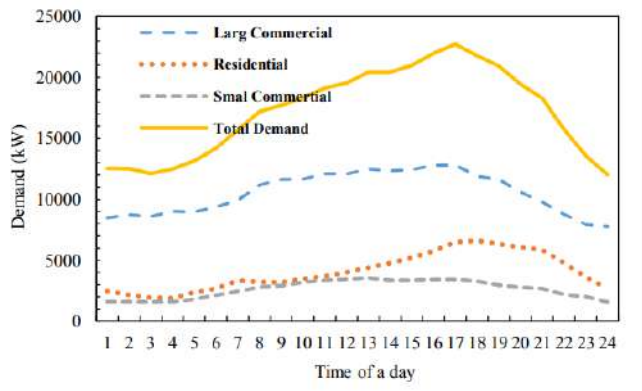
1-rasm. Tadqiqot hududining asosiy xaritasi va kichik hududlari.



2-rasm. Turar joy yuklamasining empirik PDF va mos taqsimoti.

Mahalliy elektr ta’minoti tomonidan berilgan real maksimal yuklama va tugun yuklama profillarini masshtablash orqali barcha toifalar uchun yig‘ma yuklama profillari 3-rasmda keltirilgan.

ISSN 3030-3907



3-rasm. Barcha toifalar bo‘yicha yig‘ma yuklama profillari.

B. Quyosh radiatsiyasi salohiyati

Quyosh nurlanishi USGS “The National Map” LiDAR balandlik ma’lumotlari asosida aniqlangan. Dastlab ma’lumotlar ArcGIS dasturida raster ko‘rinishga o‘tkazilib, “Area Solar Radiation” vositasi yordamida quyosh nurlanishi xaritasi (solar insolation raster) hosil qilingan. Bu usul daraxtlar va boshqa to‘siqlar soyalanishini ham hisobga oladi. Nishabli tomli binolarda esa janubga qaragan yuzalar ko‘proq quyosh nurlanishini olishi inobatga olinadi. Yakunda raster ma’lumotlar nuqtaviy formatga o‘tkazilib, hudud bo‘yicha yillik o‘rtacha quyosh radiatsiyasi aniqlanadi.

Quyosh nurlanishini tahlil qilish

Har bir bino uchun o‘rtacha quyosh nurlanishini hisoblash mumkin bo‘lsa-da, bu PV tizimning real salohiyatini to‘liq aks ettirmaydi. Chunki amalda PV panellar faqat eng qulay va ko‘proq nurlanish tushadigan joylarga o‘rnatiladi. Shu sababli, 4.6 kWh/m²/kun dan yuqori nurlanish qiymatlari ajratib olinib, yuqori insolyatsiyaga ega nuqtalar tahlil qilingan. Keyin har bir bino yuzasidagi yuqori insolyatsiya nuqtalarining ulushi hisoblanib, binolar uch toifaga (past, o‘rta va yuqori) ajratilgan. Bu yondashuv natijasida soyalanishi kam va janubga yo‘naltirilgan tomlarga ega binolar yuqori insolyatsiyali sifatida ko‘proq ajralib chiqadi.

ISSN 3030-3907



4-rasm. Quyosh nurlanishi salohiyati



5-rasm. Past, o‘rta va yuqori insolyatsiyali binolarning taqsimlanishi.

Tadqiqotning yakuniy bosqichida hududda o‘rnatilishi mumkin bo‘lgan taqsimlangan PV tizimlarining umumiy quvvati va elektr energiyasi ishlab chiqarish salohiyati aniqlangan. PV tizimlari faqat “yuqori insolyatsiya” toifasiga kiruvchi binolarga o‘rnatilishi qabul qilingan. Natijada PV o‘rnatish uchun mos binolar ulushi turar joy binolarining 36%, kichik tijorat binolarining 30% va yirik tijorat/sanoat binolarining 34% ni tashkil etgan. Umumiy hisob-kitoblarga ko‘ra, o‘rnatilishi mumkin bo‘lgan PV quvvati 24 830 kW bo‘lib, bu podstansiya hududining maksimal yuklamasining 107% ga teng. Yillik elektr energiya ishlab chiqarish esa 32 310 MWh ni tashkil etib, hududning umumiy yillik energiya talabining 28% ini qoplaydi. Bu natijalar shuni ko‘rsatadiki, tarmoqka ta’sirlar to‘g‘ri boshqarilsa, hudud elektr energiyasining sezilarli qismi mahalliy quyosh energiyasi orqali qoplanishi mumkin. Yuqori insolyatsiyaga ega binolar asosida PV o‘rnatish uchun mos tugunlar aniqlangan.

1-jadval.

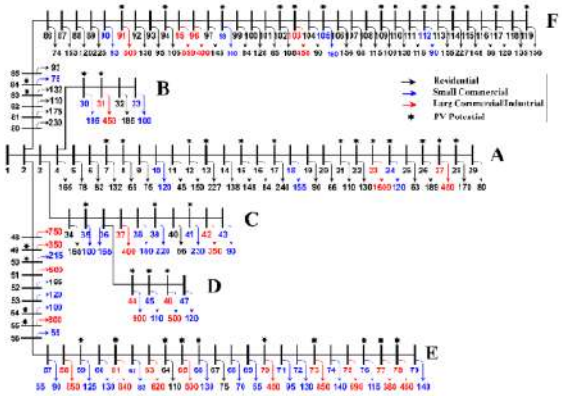
Barcha toifalar uchun binolarning nurlanish bilan qoplanish foizi

Bino turi	**4.6 kWh/m²/kun dan yuqori nurlanish bilan qoplanish foizi**		
	Past	**O‘rta**	**Yuqori**
Turar joy	0–15%	16 – 33%	34% va undan yuqori
Kichik tijorat	0–15%	16 – 33%	34% va undan yuqori
Katta tijorat / sanoat	0–25%	26 – 40%	41% va undan yuqori

ISSN 3030-3907

C. Elektrik parametrlar

Har bir tugun uchun reaktiv quvvat profili substansiya bo‘yicha olingan soatlik ma’lumotlar asosida quvvat koeffitsiyentining statistik tahlili orqali aniqlangan. Natijada, yig‘ma yuklamalar uchun quvvat koeffitsiyenti normal taqsimotga ega bo‘lib, $\mu = 0.8233$ va $\sigma = 0.0193$ ekanligi aniqlangan. So‘ngra har bir yuklama uchun aktiv quvvat asosida, normal taqsimotdan tasodifiy tanlangan quvvat koeffitsiyentlari yordamida reaktiv quvvat profili hisoblangan. Elektr tarmog‘i uchun liniya parametrlar tugunlar orasidagi masofa va o‘tkazgichlarning elektr xususiyatlariga asoslanib aniqlangan. Elektr tarmog‘ining sxematik ko‘rinishi 6-rasmda keltirilgan.



6-rasm. Elektr taqsimlash tarmog‘ining sxematik diagrammasi.

Taklif etilgan usulning asosiy maqsadi — PV tizimlarining optimal joylashuvi va quvvatini aniqlash bo‘lib, bunda ko‘p maqsadli funksiya sifatida quvvat yo‘qotishlari va kuchlanish og‘ishlarini minimallashtirish ko‘zda tutiladi. Ushbu jarayon taqsimlangan PV tizimlariga qo‘yilgan cheklovlar hamda tarmoqning ekspluatatsion cheklovlari, jumladan teskari quvvat oqimining oldini olish shartlari bilan birga amalga oshiriladi. PV ulanish darajasi (penetration ratio) substansiyaning maksimal yuklamasiga nisbatan aniqlanadi.

$$\alpha(\%) = \frac{\sum_{i=1}^{N} P_{PV,i}}{\max\left(\sum_{j=1}^{M} P_{Load,j}\right)} \times 100$$

bu yerda P_{PV} va P_{Load} mos ravishda PV panellarining chiqish quvvati (kW) va elektr yuklama talabini (kW) bildiradi. Ushbu ishda ulanish darajalari 5%, 10%, 20% va 50% deb qabul qilingan.

Radial taqsimlash tizimidagi umumiy real energiya yo‘qotish quyidagicha hisoblanadi:

$$E_{loss} = \sum_{t=1}^{24} \sum_{L=1}^{L} |i_L^t|^2 R_L$$

bu yerda i_L^t — t vaqtda L liniyadan o‘tuvchi tok, R_L — esa liniya qarshiligi.

ISSN 3030-3907

Kuchlanish profilini yaxshilash ifodasi:

$$v_D = \sum_{t=1}^{24} \sum_{n=1}^{n} (v_n^t - 1)^2$$

Ko‘p maqsadli funksiya quyidagicha ifodalanadi: funksiyaning minimal qiymati PV-DG tizimlarining eng yaxshi joylashuvi va quvvatini bildiradi. Bu esa elektr tarmog‘idagi quvvat yo‘qotishlarini kamaytirish hamda yuklama uzatish qobiliyati va kuchlanish profilini yaxshilashga xizmat qiladi.

$$\min_{\mathcal{L}_{PV}, P_{PV}^{max}} f = E_{loss} + \omega * v_D$$

Subject to:

$$f(P_L, P_{PV}, v|Y_{bus}) = 0$$

$$i = h(v|Y_{bus})$$

$$P_{PV}(t) = g(P_{PV}^{max}, I(t))$$

$$0 \le P_i^{max} \le \widehat{P_{PV,i}^{max}}$$

$$1^T P_{PV}^{max} \le \alpha . P_{sub}^{max}$$

$$i_{ij}^t \ge 0 \quad \forall\, i < j$$

Harorat ta’siri hisobga olingan holda, PV panellari tomonidan ishlab chiqariladigan chiqish quvvati (kW) [15]-manbadagi model asosida aniqlanadi. Shuni ta’kidlash kerakki, ushbu tadqiqotda PV panellarining chiqish quvvatini hisoblashda to‘g‘ridan-to‘g‘ri (direct) va diffuz (diffuse) quyosh nurlanishi ma’lumotlari ham hisobga olingan.

NATIJALAR TAHLILI VA MUHOKAMASI. PV ulanishining turli darajalari asosida to‘rtta senariy ko‘rib chiqilgan. Ushbu senariylar PV tizimlarining kuchlanish va tok profillariga, tarmoqdagi quvvat yo‘qotishlariga hamda teskari quvvat oqimiga ta’sirini o‘rganishga qaratilgan. Optimal PV-DG joylashuvi va quvvatini aniqlash uchun maqsad funksiyalar Improved Particle Swarm Optimization (IPSO) algoritmi yordamida yechilgan [15].

Simulyatsiyalar 24-iyun kuni, maksimal yuklama vaqti asosida bajarilgan. Tizimning umumiy energiya iste’moli 421.22 MWh, yo‘qotishlari esa 26.99 MWh (6.40%) ni tashkil etgan. Kuchlanish og‘ishi 1.8315 p.u. ga teng bo‘lgan. To‘rtta maqsad funksiyasi tahlil qilingan: yo‘qotishlarni kamaytirish, kuchlanishni yaxshilash va teskari quvvat oqimini cheklash. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, PV tizimlari yo‘qotishlarni kamaytiradi, biroq kuchlanish har doim ham yaxshilanmaydi va optimal natija 20% penetratsiya darajasida kuzatilgan. Kuchlanish cheklovi barcha PV ssenariylarida hisobga olingani uchun kuchlanish buzilishi kuzatilmagan. 7-rasmda turli PV ulanish darajalari uchun kuchlanish profillari keltirilgan.

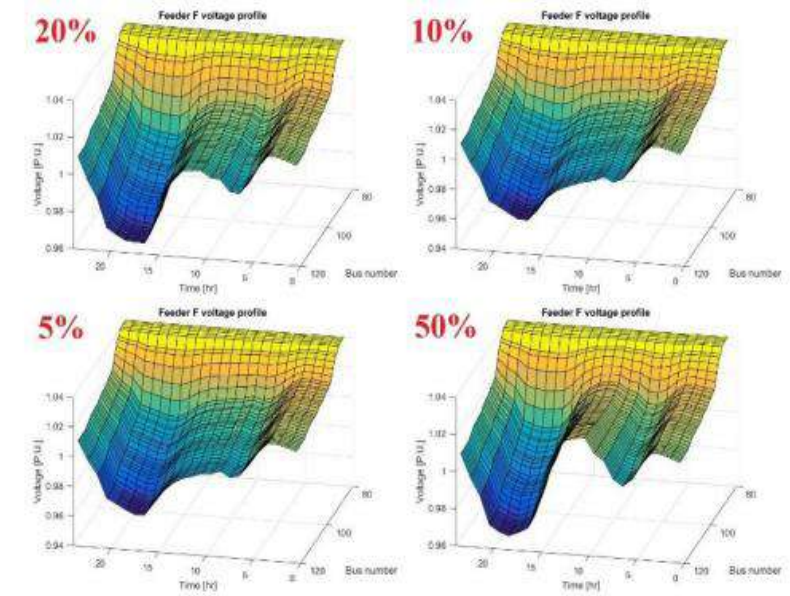
ISSN 3030-3907

2-jadval.

Barcha ssenariylar uchun umumiy energiya yo‘qotishlari va kuchlanish og‘ishi

α	Maqsad funksiyasi	Energiya isrofi		Kuchlanish og‘ishi		Tasodifiy joylashtirish
		kWh	Farq (%)	v_D	Farq (%)	
5%	I	26,081	3,39	1,7372	5,15	Energiya isrofi 26,358
	II	26,067	3,44	1,7375	5,13	
	III	25,996	3,70	1,7325	5,41	v_D 1,7688
	IV	26,083	3,38	1,7250	5,81	
10%	I	25,837	4,29	1,6759	8,50	Energiya isrofi 25,914
	II	25,216	6,59	1,6701	8,81	
	III	25,233	6,53	1,6711	8,76	v_D 1,6927
	IV	25,289	6,32	1,6628	9,21	
20%	I	24,092	10,76	1,6102	12,08	Energiya isrofi 25,187
	II	24,167	10,48	1,6192	11,59	
	III	23,798	11,85	1,5858	13,42	v_D 1,6494
	IV	24,001	11,09	1,5848	13,47	
50%	I	22,998	14,81	1,6295	11,03	Energiya isrofi 23,338
	II	22,268	17,51	1,6218	11,45	
	III	22,131	18,02	1,6228	11,40	v_D 1,6306
	IV	22,428	16,92	1,6206	11,52	

ISSN 3030-3907



7-rasm. F feederning barcha ssenariylar bo‘yicha kuchlanish profili.

XULOSA. Ushbu maqolada PVDG tizimlarini optimal joylashtirish orqali kuchlanish profilini yaxshilash va energiya yo‘qotishlarini kamaytirish masalalari ko‘rib chiqildi. Optimallashtirish alohida va ko‘p maqsadli yondashuvlar asosida amalga oshirildi. Tadqiqotda yuklama profillari, GIS ma’lumotlari va quyosh nurlanishi asosida taqsimlash tarmog‘i modeli ishlab chiqilib, PV tizimlarining optimal joylashuvi va quvvati aniqlandi. Natijalar turli penetratsiya darajalarida samarali yechimlarni ko‘rsatdi. Kelgusida iqtisodiy va yillik tahlillarni qo‘shish tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. M. M. Haque and P. Wolfs, “A review of high PV penetrations in LV distribution networks: Present status, impacts and mitigation measures,” Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 62, pp. 1195–1208, 2016.
2. M. J. E. Alam, K. M. Muttaqi, and D. Sutanto, “A comprehensive assessment tool for solar PV impacts on low voltage three phase distribution networks,” 2012 2nd Int. Conf. Dev. Renew. Energy Technol., pp. 1–5, 2012.
3. G. Guerra, J. a Martinez, and S. Member, “A Monte Carlo Method for Optimum Placement of Photovoltaic Generation Using a Multicore Computing Environment,” PES Gen. Meet. Conf. Expo. 2014 IEEE. IEEE, pp. 1–5, 2014.
4. T. Tayjasanant and V. Hengsritawat, “Comparative evaluation of DG and PV-DG capacity allocation in a distribution system,” Proc. Int. Conf. Harmon. Qual. Power, ICHQP, pp. 293–298, 2012.
5. C. Wang and M. H. Nehrir, “Analytical Approaches for Optimal Placement of Distributed Generation Sources in Power Systems,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 19, no. 4, pp. 2068–2076, Nov.2004.

ISSN 3030-3907

6. A. Mohamed Imran and M. Kowsalya, “A new power system reconfiguration scheme for power loss minimization and voltage profile enhancement using Fireworks Algorithm,” Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 62, pp. 312–322, 2014.
7. S. Ghosh, S. P. Ghoshal, and S. Ghosh, “Optimal sizing and placement of distributed generation in a network system,” Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 32, no. 8, pp. 849–856, 2010.
8. A. Medina, J. C. Hernández, and F. Jurado, “Optimal placement and sizing procedure for PV systems on radial distribution systems,” 2006 Int. Conf. Power Syst. Technol. POWERCON2006, 2007.
9. M. Dixit, P. Kundu, and H. R. Jariwala, “Optimal Placement of PV Array in Distribution System for Power Loss Minimization Considering Feeder Reconfiguration,” 2016.
10. Y. Chen, M. Strothers, and A. Benigni, “A Stochastic Approach to Optimum Placement of Photovoltaic Generation in Distribution Feeder,” 2016.
11. A. Nguyen et al., “High PV penetration impacts on five local distribution networks using high resolution solar resource assessment with sky imager and quasi-steady state distribution system simulations,” Sol. Energy, vol. 132, pp. 221–235, 2016.
12. D. Q. Hung and N. Mithulananthan, “Loss reduction and loadability enhancement with DG: A dual-index analytical approach,” Appl. Energy, vol. 115, pp. 233–241, 2014.
13. “Index of /datasets/files/961/pub.” [Online]. Available: http://en.openei.org/datasets/files/961/pub/.
14. S. Kucuksari et al., “An Integrated GIS, optimization and simulation framework for optimal PV size and location in campus area environments,” Appl. Energy, vol. 113, pp. 1601–1613, 2014.
15. M. H. Athari and M. M. Ardehali, “Operational performance of energy storage as function of electricity prices for on-grid hybrid renewable energy system by optimized fuzzy logic controller,” Renew. Energy, vol. 85, pp. 890–902, 2016.

ISSN 3030-3907

UDK 661.725.68

BUTIL SPIRTINI MAXSAR MOYI BILAN ETERIFIKATSIYA JARAYONINI SANOAT REAKTORINI MODELLASHTIRISH VA OPTIMALLASHTIRISH

H.S.Fozilov.
Buxoro Davlat Texnika universiteti
E-mail: fozilovhasann@gmail.com
A.X, Temirov.
Buxoro Davlat Texnika universiteti
N.B.Axrorova
Buxoro Davlat Texnika universiteti
S.F.Fozilov
Buxoro Davlat Texnika universiteti

Annotatsiya. Ushbu maqolada maxsar moyini normal butil spirti bilan eterifikatsiya qilish jarayonining texnologik sxemasini ishlab chiqish hamda sanoat reaktorini matematik modellashtirish va optimallashtirish masalalari tadqiq etilgan. Jarayonni samarali tashkil etish uchun eksperimentlarni rejalashtirish usuli va ideal aralashtirish modeli asosida matematik model tuzilgan. Reaktsion aralashmaning qovushqoqligi va kontakt vaqtining o‘zaro bog‘liqligi tahlil qilinib, bitta reaktor o‘rniga ikki bosqichli aralashtirish reaktorlari kaskadini qo‘llash maqsadga muvofiqligi asoslab berilgan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, birinchi reaktorda optimal kontakt vaqti 1,1 soat, ikkinchi reaktorda esa 0,9 soat ekanligi aniqlangan va maxsar moyi asosida biologik faol prisadkalar olish texnologiyalarini takomillashtirish imkoni beradi.

Kalit so‘zlar: maxsar moyi, normal butil spirti, eterifikatsiya, matematik modellashtirish, optimallashtirish, ideal aralashtirish reaktori, reaktorlar kaskadi, kontakt vaqti, qovushqoqlik, texnologik sxema, kimyoviy jarayonlar, eksperimentlarni rejalashtirish.

Abstract. This article discusses the development of a technological scheme for the esterification of castor oil with normal butyl alcohol, as well as the issues of mathematical modeling and optimization of an industrial reactor. A mathematical model based on the experimental planning method and the ideal mixing model was constructed to effectively organize the process. The relationship between the viscosity of the reaction mixture and the contact time was analyzed, and the feasibility of using a cascade of two-stage mixing reactors instead of a single reactor was justified. According to the results of the study, the optimal contact time in the first reactor was found to be 1.1 hours, and in the second reactor, 0.9 hours, which makes it possible to improve the technology for obtaining biologically active additives based on makhsar oil.

ISSN 3030-3907

Keywords: castor oil, normal butyl alcohol, esterification, mathematical modeling, optimization, ideal mixing reactor, reactor cascade, contact time, viscosity, process scheme, chemical processes, experiment planning.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы разработки технологической схемы процесса этерификации масла макса нормальным бутиловым спиртом, а также математического моделирования и оптимизации промышленного реактора. Для эффективной организации процесса разработана математическая модель на основе метода планирования экспериментов и идеальной модели смешивания.По результатам исследований установлено, что оптимальное время контакта в первом реакторе составляет 1,1 часа, а во втором реакторе — 0,9 часа, что позволяет усовершенствовать технологии получения биологически активных присадок на основе масла махсары.

Ключевые слова: масло макса, нормальный бутиловый спирт, этерификация, математическое моделирование, оптимизация, идеальный смесительный реактор, каскад реакторов, время контакта, вязкость, технологическая схема, химические процессы, планирование эксперимента.тематическое моделирование, оптимизация, идеальный смесительный реактор, каскад реакторов, время контакта, вязкость, технологическая схема, химические процессы, планирование эксперимента.

KIRISH.

Dunyo bo‘yicha yoqilg’i-energetik kompleks rivoji dizelь va motor yoqilg’isini har yiliga o’sish talabi bilan belgilanadi. Dizel yoqilg’ilarin ekspluatatsion xossalarini yaxshilashni iqtisodiy qulay usullaridan biri turli xil prisadkalarni qo’llash hisoblanadi. Dizel yoqilg’isi moylovchanlik xossalariga ta’sir prisadkalar kontsentratsiyasi ta’siri o‘rganildi, materiallar sarfi va vaqtni tejash, maxsus qurilmalarda olib borish, juda ko’p analogik tajribalarni olib bormaslik uchun jarayonni matematik modellashtirish katta qiziqish uyg‘otadi [1].

Optimallashtirish masalasini qo’yilishi. Optimallashtiriladigan o’zgaruvchilar jarayonning kirish o’zgaruvchilari qatoridan olinadi. Optimal loyihalash masalasini hal etishda optimallashtirilayotgan o’zgaruvchilar qatoriga jarayonning konstruktiv parametrlari (konstruktsiya tipi, o’lchamlari va h.) kiritilgan bo’ladi, aksincha holatlarda, optimal boshqaruv masalasi hal etiladi. Optimallashtiriladigan (boshqariluvchi) o’zgaruvchi larning U optimal qiymatlarini qidirishdan ko’zlangan asosiy maqsad jarayonni amalga oshirishning eng yaxshi rejim parametrlarini aniqlashdir.

MATERIALLAR VA USULLAR. Tadqiq etilayotgan texnologik jarayonni modellashtirish va optimal lashtirish uchun eksperimentni rejalashtirish

ISSN 3030-3907

usuli ishlatilgan. Matematik modellashtirish deganda matematik model yordamida ob'ektning xususiyatlarini o'rganish tushuniladiyu uning maqsadi jarayon uchun optimal sharoitlarni aniqlash, uni matematik model asosida boshqarish va natijalarni ob'ektga o'tkazishdir.

Matematik model – matematik belgilar yordamida hodisa yoki jarayonning taxminiy tavsifi.

- Har qanday matematik modelni qurish modellashtiriladigan ob'ektning fizik tavsifidan boshlanadi. Shu bilan birga, modellashtirish ob'ektida sodir bo'ladigan "elementar" jarayonlar aniqlanadi, ular modelda aks ettiriladi va ularning tavsifida qabul qilingan asosiy taxminlar shakllantiriladi. Keyin matematik tavsifning tuzilishi uchun asos bo'lgan jarayonning gidrodinamik modeoini o'rganadilar. Keyinchalik, ular topilgan modelning gidrodinamik sharoitlarini hisobga olgan holda kimyoviy reaktsiyalar kinetikasini, massa va issiqlik uzatish jarayonlarini o'rganadilar va bu jarayonlarning har birining matematik tavsifini yaratadilar. Yakuniy bosqich-barcha o'rganilgan "elementar" jarayonlarning tavsiflarini modellashtirishning matematik ob'ekti tenglamalarining yagona tizimiga birlashtirish.

- Apparatdagi oqimlar tuzilishining matematik tavsifi – modellarni qurish uchun asos. Haqiqiy qurilmalarda oqimlarning harakati shunchalik murakkabki, hozirgi vaqtda ko'p hollarda ularga qat'iy matematik tavsif berish mumkin emas. Shu bilan birga, oqim strukturasi kimyoviy texnologik jarayonlarning samradorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi ma'lum. Bunda oqim strukturasining matematik modellari kimyoviy texnologik jarayonning matematik tavsifini qurish uchun asosdir [2].

- Real oqimlarning to'g'ri tavsifi hal qilish juda qiyin muammolarga olib keladi. Shuning uchun hozirgi kunga qadar ishlab chiqilgan qurilmalarda oqim tuzilishi juda oddiy va yarim yarim empirik xarakterna ega. Ammo, ular allaqachon haqiqiy jismoniy jarayonni juda aniq aks ettiruvchi modellariniolish imkonini beradi.

- Yashash vaqtini taqsimlanishini hisobga olgan holda zo'ari ta'sir qiluvchi diffuziya va issiqlik oqimlarining butun xilma-xilligi standart matematik modellar shaklida rasmiylashtirilishi mumkin: ideal aralashtirish, ideal siqib chiqarish, diffuziya, uyali, aylanma va kombinatsiyalashgan [3].

- Maxsar moyini eterifikatsiya qilishning matematik modelini tuzishda ideal aralashtirishning standart matematik modeli asos qilib olingan.

- Vazifa maxsar moyini butanol bilan eterifikatsiya qilish sharoitida eng samarali reaktsiya qurilmasini aniqlash edi. Eterifikatsiya qilish reaktorini modellashtirish jarayonida quyidagilarni hisobga olish zarur.

- kimyoviy reaktsiya kinetikasini keltirilgan (1) bog'liqlikka bo'ysunadi;

ISSN 3030-3907

- reaktsion aralashma reagentlar-suyuq katalizator ikki fazali tizimdan iborat, shuning uchun reaktsion aralashmani etarli darajadagi muloqot yuzasini ta’minlash uchun jadal arlashtirib turish kerak.

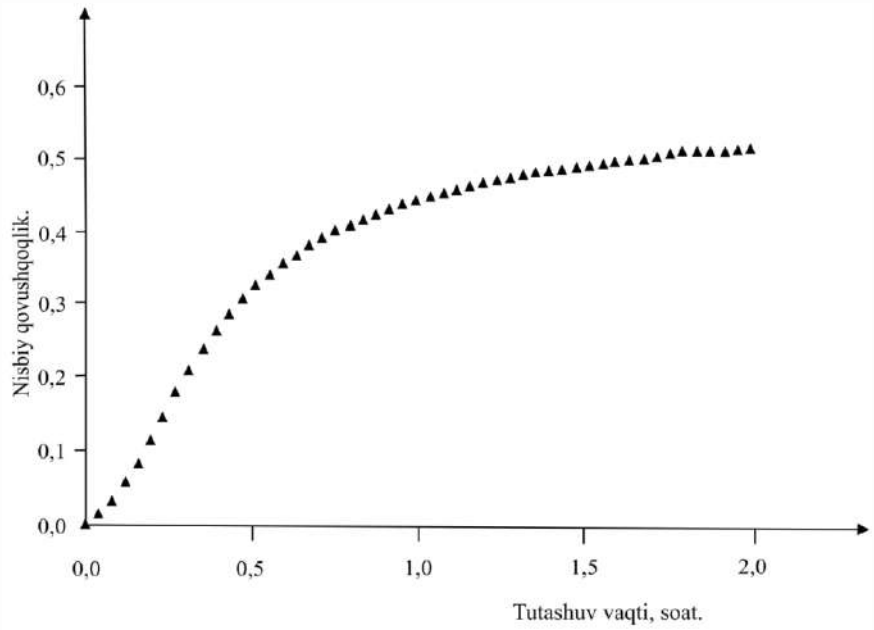
NATIJALAR VA ULARNING MUHOKAMASI. Maxsar moyini butanol bilan eterifikatsiya qilish reaktori turini asoslash va uning matematik modelini tuzish. Ideal aralashtirish modeli bilan bayon etiladigan reaktorni asos qilib olamiz. Ideal aralashtirish modeli qurilmaga to’g’ri keladi, unda unga kiradigan modda bir zumda qurilmaning butun hajmi bo’ylab tarqaladi. Apparatning istalgan nuqtasida moddaning kontsentratsiyasi undan chiqishdagi kontsentratsiyaga teng.

Ideal aralashtirish reaktori uchun nisbiy qovushqoqlikning kontakt vaqtiga bog’liqlik tenglamasi kinetik tenglama) ni hisobga olgan holda quyidagi ko’rinishda ifodalanadi:

$$\frac{\upsilon_i}{\tau} = k\,(\upsilon_m - \upsilon_i)(M_0 + \upsilon_i), \quad (1)$$

Bu erda, τ - kontakt vaqti, min.

Nisbiy qovushqoqlikning kontakt vaqtiga grafik bog’liqligi 1-rasmda keltirilgan.



Rasm-1. Ideal aralashtirish reaktorida kontakt vaqti bo’yicha reaktsion aralashmaning shartli qovushqoqligining o’zgarishi

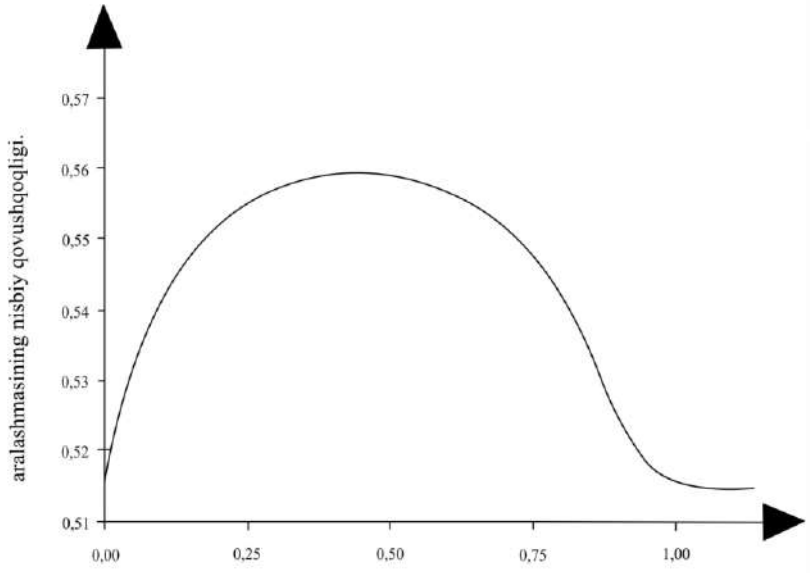
1- rasmdan ko’rinib turibdiki, bitta ideal aralashtirish reaktorini qo’llash moyli xom-ashyoning maqbul darajada o’zgarishlariga etishga imkon bermaydi, shuning uchun bu holda aralashtirish reaktorlarining kaskadini qo’llash maqsadga muvofiqdir. Quyidagi taxminlarni qilamiz:

1) har bitta reaktorda ideal aralashtirish amalga oshiriladi;
2) reaktorlar orasida teskari aralashtirish mavjud emas.

ISSN 3030-3907

Ko’ndalang aralashtirishni miqdoriy xarakterlovchi parametr bo’lib to’liq aralashtirish reaktorlarining soni N hisoblanadi. N ni 2 deb qabul qilamiz, chunki sxemaga uchinchi reaktorni kiritish mahsulot aralashmasining nisbiy qovushqoqligini juda kam oshiradi (taxminan 0,01 ga) bu metall sarfining oshishiga va qurilmaning qimmatlashishiga olib keladi (bitta eterifikatsiya reaktori narxinig ulushi qurilma jihozining umumiy narxidan taxminan 3 % ni tashkil qiladi) [4].

Xomashyoning birinchi va ikkinchi reaktorlarda bo’lishning optimal vaqtini τ1 va τ2 ni aniqlashuchun aralashtirishning ikiita reaktorlaridan keyin mahsulot aralashmasining nisbiy qovushqoqligining 2 soatga teng bo’lgan umumiy kontakt vaqti Ʈ ning ikkinchi reaktorda xomashyoning bo’lish vaqti ulushi Ʈ2/Ʈ1 ga bog’liqligini qo’llaymiz (2-rasm).

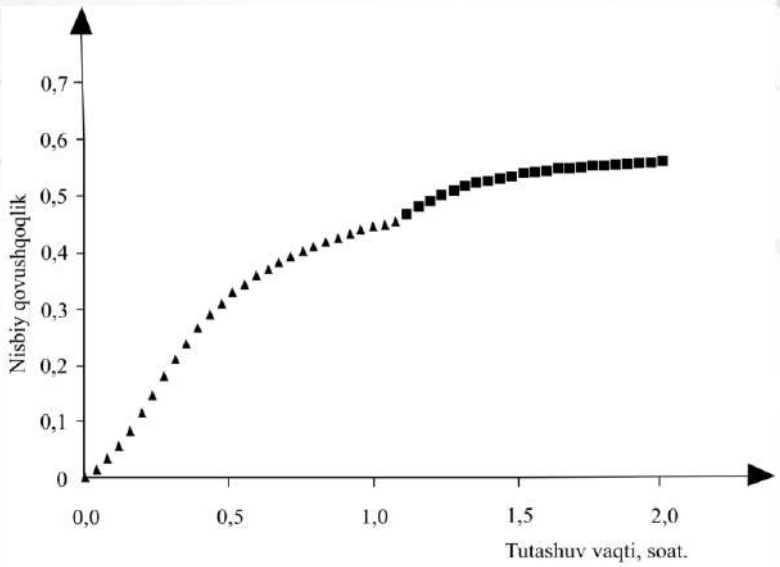


Rasm-2. Mahsulot aralashmasi qovushqoqligining ikkinchi reaktorda xomashyoning bo’lish vaqti ulushiga bog’liqligi $\frac{Ʈ2}{Ʈ1}$

2- rasm bo’yicha reagentlaring ikkinchi reaktorda optimal kontakt vaqti 0,9 soatni tashkil qiladi, birinchi reaktorda-1,1 soatni reaktorlar kaskadi uchun nisbiy qovushqoqlikning vaqt bo’yicha o’zgarish egri chiziqlari quyidagi parametrlar bilan (3-rasm) ko’rinishga ega[5].

Shuning uchun qurilmani loyihalashda N=2 li aralashtirish reaktorlari kaskadini asos qilib olamiz. Birinchi reaktorda bo’lish vaqti 1,1 soatni, ikkinchi reaktorda -0,9 soatni tashkil qiladi.

ISSN 3030-3907



▲ – *ideal aralashtirishning 1-reaktorida*
■ – *ideal aralashtirishning 2-reaktorida*

Rasm-3. Reaktsion aralashma shartli qovushqoqlikning kontakt vaqti bo'yicha o'zgartirish

Tajriba qurilmasida o'tkazilgan eksperimentlar natijalarini "tajribalarni rejalashtirish" usulida qayta ishlash natijasida qurilmadan chiqarilayotgan neft harorati va neft oqimining qurilmada retsirkulyatsiyalash ulushini ifodalovchi regressiya tenglamalari olindi [6].

XULOSA. Ushbu tadqiqot ishida maxsar moyini normal butil spirti bilan eterifikatsiya qilish jarayonining texnologik sxemasi ishlab chiqildi hamda sanoat reaktorini matematik modellashtirish va optimallashtirish amalga oshirildi. Jarayonni tadqiq etishda ideal aralashtirish modeli va eksperimentlarni rejalashtirish usullaridan foydalanilib, reaktsion aralashmaning qovushqoqligi hamda kontakt vaqtining o'zaro bog'liqligi tahlil qilindi.

Tadqiqot natijalari bitta ideal aralashtirish reaktoridan foydalanish jarayon samaradorligini to'liq ta'minlamasligini ko'rsatdi. Shu sababli ikki bosqichli aralashtirish reaktorlari kaskadini qo'llash maqsadga muvofiq ekanligi ilmiy jihatdan asoslandi. Hisob-kitoblar va modellashtirish natijasida birinchi reaktorda optimal kontakt vaqti 1,1 soat, ikkinchi reaktorda esa 0,9 soat ekanligi aniqlandi.

Taklif etilgan matematik model texnologik jarayon parametrlarini oldindan prognoz qilish, eksperimental tadqiqotlar sonini kamaytirish hamda material va energiya sarfini optimallashtirish imkonini beradi. Olingan natijalar maxsar moyi asosida biologik faol prisadkalar ishlab chiqarish texnologiyalarini takomillashtirishda va sanoat miqyosida samarali reaktor qurilmalarini loyihalashda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

ISSN 3030-3907

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств: учеб. пособие для вузов.-М.: Высшая шк., 1991.-400 с.
2. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии.: Учебник для техникумов. - С.-Пб.: Химия, 1991.- 352 с.
3. Фозилов С.Ф., Хўжақулов К.Р., Нарзуллаева А.М., Мавлонов Б. А. Изучение параметров процесса гидрогенизatsii жиров с целью получения высших жирных спиртов. Научно-тенический журнал ФерПИ. Фарғона. 2020. Том 24. №6. С.177-181.
4. Фозилов. Х.С., Turabdjanov S. M. Фозилов С.Ф., Mavlonov B. A., Sharipov B. Z., Majidov A. A. Technology for producing higher fatty alcohols based on paraffin hydrocarbons and their effect on the lubrication properties of diesel fuel. Proceedings of the III International Conference on Advances in Science, Engineering, and Digital Education AIP Conf. Published by AIP Publishing. AIP Conf. Proc.2969, (12.01.2024), (060028) 1-5 p.
5. Каримова С.А., Фозилов С.Ф., Ахмедова О.Б.,Мавлонов Б.А., Фозилов Х.С. Математическое моделирование влияния моющно-диспергирующих компонентов на улучшение трибологических свойств дизельного топлива. Фан ва технологиялар тараққиёти” Илмий техникавий журнал. № 6/2024 йил 198-204 б.
6. Фозилов Ҳ.С., Туробжонов С.М., Фозилов С.Ф. Кам олтингугуртли дизель ёқилғиларининг мойловчанлик хоссаларига юқори ёғ кислота ва спиртларнинг присадкалик хусусиятларини ўрганиш // “Фан ва технологиялар тараққиёти” Илмий техникавий журнал. № 3/2025 йил 58-62 бет.

ISSN 3030-3907

GENERATIV SUN'IY INTELLEKT TEXNOLOGIYALARINING GRAFIK DIZAYN JARAYONLARI SAMARADORLIGIGA TA'SIRINI BAHOLASHNING ILMIY-METODIK ASOSLARI

Fattoyeva Norjon Azamat qizi
Buxoro davlat universiteti, Fizika-matematika va axborot texnologiyalari fakulteti,
3-bosqich talabasi
E-mail: norjonfattoyeva@gmail.com
ORCID: 0009-0006-8031-5476
Tel: (+998) 942034543

Annotatsiya. Ushbu maqolada generativ sun'iy intellekt texnologiyalarining grafik dizayn jarayonlari samaradorligiga ta'sirini baholashning ilmiy-metodik asoslari tadqiq etiladi. Zamonaviy raqamli iqtisodiyotda Midjourney, Adobe Firefly, DALL-E 3 va Stable Diffusion kabi GSI vositalarining kreativ sanoatga jadal kirib kelishi an'anaviy dizayn metodologiyasini qayta koʻrib chiqishni taqozo etmoqda. Shu bilan birga, ushbu vositalarning dizayn samaradorligiga ta'sirini oʻlchashning ilmiy asoslangan mezonlari va usullari hali yetarlicha ishlanmagan. Maqolada kvazieksperimental oʻlchov, tuzilgan ekspert intervyulari va qiyosiy ish-oqim tahlilini oʻz ichiga olgan aralash metodologiya qoʻllanilgan. Tadqiqot natijalari shuni koʻrsatadiki, GSI vositalarini grafik dizayn jarayonlariga integratsiya qilish topshiriqni bajarish vaqtini oʻrtacha 47,3 foizga qisqartiradi, bajarilgan dizayn variantlari sonini esa 3,2 barobar oshiradi. Tadqiqot doirasida besh oʻlchamli samaradorlik baholash tizimi taklif etiladi hamda kreativ sanoat va oliy ta'lim muassasalari uchun amaliy tavsiyalar ishlab chiqiladi.

Kalit soʻzlar: generativ sun'iy intellekt, grafik dizayn, samaradorlik baholash, Midjourney, Adobe Firefly, DALL-E 3, prompt injineringi, ijodiy jarayonlar, raqamli transformatsiya, kreativ texnologiyalar.

Аннотация. В данной статье исследуются научно-методические основы оценки влияния технологий генеративного искусственного интеллекта на эффективность процессов графического дизайна. Стремительное распространение таких инструментов, как Midjourney, Adobe Firefly, DALL-E 3 и Stable Diffusion, требует пересмотра традиционных дизайн-методологий и разработки научно обоснованных критериев оценки их эффективности. На основе смешанной методологии, включающей квазиэкспериментальное измерение, структурированные экспертные интервью и сравнительный анализ рабочих процессов, установлено, что интеграция GSI-инструментов сокращает время выполнения задания в среднем на 47,3% и увеличивает количество дизайн-вариантов в 3,2 раза. Предложена пятимерная система оценки эффективности и разработаны

ISSN 3030-3907

практические рекомендации для творческих индустрий и системы высшего образования.

Ключевые слова: генеративный искусственный интеллект, графический дизайн, оценка эффективности, Midjourney, Adobe Firefly, промпт-инжиниринг, творческие процессы, цифровая трансформация.

Abstract. This article examines the scientific and methodological foundations for evaluating the impact of generative artificial intelligence technologies on the efficiency of graphic design processes. The rapid proliferation of tools such as Midjourney, Adobe Firefly, DALL-E 3, and Stable Diffusion across creative industries necessitates a critical reassessment of traditional design methodologies and the development of empirically validated assessment criteria. Employing a mixed-methods approach that combines quasi-experimental measurement, structured expert interviews, and comparative workflow analysis, the study demonstrates that GAI integration reduces task completion time by an average of 47.3% and increases the volume of viable design variants by a factor of 3.2. A five-dimensional efficiency evaluation framework is proposed, and actionable recommendations are developed for creative industry organizations and higher education institutions.

Keywords: generative artificial intelligence, graphic design, efficiency evaluation, Midjourney, Adobe Firefly, DALL-E 3, prompt engineering, creative processes, digital transformation, creative technologies.

KIRISH.

Raqamli texnologiyalarning jadal rivojlanishi kreativ sanoat tarmoqlarida paradigmal o‘zgarishlarni yuzaga keltirmoqda. Grafik dizayn sohasida bu o‘zgarishning eng ko‘zga ko‘ringan ifodasi generativ sun'iy intellekt vositalarining keng tarqalishi hisoblanadi. Midjourney, Adobe Firefly, DALL-E 3 va Stable Diffusion kabi platformalar tasvir yaratish jarayonini tubdan o‘zgartirib, matniy so‘rov asosida professional sifatli vizual kontentni bir necha soniya ichida yaratish imkonini bermoqda. Bu hol an'anaviy grafik dizayn metodologiyasini qayta ko‘rib chiqishni va yangi texnologik sharoitda kasbiy samaradorlikni baholashning ilmiy asoslarini ishlab chiqishni taqozo etmoqda.

Adobe tomonidan 2023 yilda o‘tkazilgan Global Kreativlik Tadqiqotiga ko‘ra, so‘rovda ishtirok etgan professional dizaynerlarning 67 foizi AI vositalarini muntazam ravishda ish jarayonida qo‘llaydi. Biroq ularning atigi 29 foizi ushbu vositalarning ish samaradorligiga ta'sirini tizimli va o‘lchov asosida baholagan [1]. Ushbu bo‘shliq muhim ilmiy muammoni ko‘rsatadi: GSI vositalari amaliyotda keng qo‘llanilayotgan bir paytda ularning dizayn jarayonlariga ta'sirini o‘lchashning metodologik asoslari etarlicha ishlab chiqilmagan.

ISSN 3030-3907

O‘zbekiston Respublikasida raqamli iqtisodiyotni rivojlantirishning strategik yo‘nalishlarini belgilab beruvchi "Raqamli O‘zbekiston - 2030" dasturi kreativ sanoat tarmoqlarida ham innovatsion texnologiyalarni joriy etishni ko‘zda tutadi [2]. Mamlakatimizda grafik dizayn xizmatlari bozori kengayib borayotgan bir sharoitda GSI vositalarining sohaga integratsiyasi nafaqat individual dizaynerlar, balki muassasalar va davlat sektori uchun ham amaliy ahamiyat kasb etadi. Shunga qaramay, ushbu sohada empirik tadqiqotlar va metodologik asoslar shakllanmagan.

ADABIYOTLAR TAHLILI. Generativ sun'iy intellektning texnik asoslarini tushunish ushbu sohadagi fundamental nazariy ishlardan boshlanadi. Goodfellow va hammualliflar 2014 yilda taklif etgan Generative Adversarial Networks arxitekturasi ma'lumotlar taqsimotini o‘rganib, yangi, haqiqatga o‘xshash namunalar yaratish qobiliyatini birinchi marta keng ilmiy jamoatchilikka taqdim etdi [3]. Keyinchalik Ho va hammualliflar tomonidan ishlab chiqilgan Denoising Diffusion Probabilistic Models Midjourney va Stable Diffusion kabi zamonaviy tizimlardagi tasvir yaratish mexanizmining asosini tashkil etdi [4]. Ushbu arxitektura an'anaviy GAN modellariga nisbatan yanada barqaror trening jarayoni va yuqori sifatli natijalar berishi bilan ajralib turadi.

Grafik dizayn metodologiyasi nuqtai nazaridan Brown va hammuallif dizayn jarayonini besh bosqichda - empatiya, muammoni aniqlash, g‘oyalar generatsiyasi, prototiplash va sinovdan o‘tkazish - tahlil qiladi[5]. GSI vositalarining integratsiyasi ayniqsa g‘oyalar generatsiyasi va prototiplash bosqichlarida an'anaviy yondashuvni sezilarli darajada o‘zgartiradi. An'anaviy brainstorming sessiyalari va qo‘lda eskiz chizish jarayonlari GSI yordamida bir necha daqiqa ichida o‘nlab variantlar yaratishga almashtirilib, dizaynerning kognitiv kuchi konseptual tanlov va takomillashtirishga yo‘naltirilishi mumkin.

Oppenlaender tomonidan o‘tkazilgan tadqiqotda "prompt engineering" - ya'ni AI tizimiga beriladigan so‘rov matni maqsadli tuzish san'ati - haqiqiy kasbiy ko‘nikma sifatida tavsiflanadi [6]. Tadqiqotchi matniy buyruq tuzishning uch sathini ajratib ko‘rsatadi: tavsiflovchi, yo‘naltirilgan va qiyosiy prompting. Ushbu ko‘nikmaning boshqa dizayn malakalaridan mustaqil ravishda rivojlanishini talab qilishi AI vositalari bilan ishlashning o‘ziga xos metodologiyasini shakllantirish zaruriyatini ko‘rsatadi.

Sbai va hammualliflar o‘tkazgan eksperimental tadqiqotda DALL-E 2 dan foydalangan dizaynerlar konsept yaratish bosqichida vaqt sarfini 38 foizga kamaytirgani aniqlangan. Biroq tadqiqot natijalar sifatini baholashda sub'ektiv mezonlarning muhim rol o‘ynashini va "texnik sifat" hamda "ijodiy originallik" o‘rtasida metodologik farqlash zarurligi mavjudligini ta'kidlaydi [7]. Bu topilma

ISSN 3030-3907

yagona ko‘rsatkich asosida GSI ta'sirini baholashning etarli emasligini ko‘rsatadi va ko‘p o‘lchamli baholash tizimiga ehtiyojni asoslaydi.

Mahalliy tadqiqotlar sohasida Hasanov O‘zbekiston oliy ta'lim muassasalarida raqamli dizayn ta'limining hozirgi holatini tahlil qilib, o‘quv dasturlarida AI vositalariga bag‘ishlangan modullarning yetishmasligi asosiy bo‘shliqlardan biri ekanligini ko‘rsatgan [10]. Toshmatova esa mahalliy kreativ sanoat mutaxassislari orasida AI savodxonligi darajasini o‘rganib, respondentlarning 62 foizi GSI vositalarining imkoniyatlaridan tizimli foydalana olmasligini aniqlagan [11].

METODLAR. Mazkur tadqiqotda grafik dizayn jarayonlarida generativ sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish samaradorligini o‘rganish maqsadida nazariy va tahliliy tadqiqot usullaridan foydalanildi. Tadqiqot davomida generativ sun'iy intellekt, grafik dizayn va raqamli kreativlik sohalariga oid mahalliy hamda xorijiy ilmiy manbalar tahlil qilindi.

Tadqiqotning metodologik asosini ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish, qiyosiy tahlil, umumlashtirish va tizimlashtirish usullari tashkil etdi. Xususan, Midjourney, DALL-E, Adobe Firefly va Stable Diffusion kabi generativ sun'iy intellekt vositalarining imkoniyatlari grafik dizaynning an'anaviy usullari bilan taqqoslandi. Ushbu texnologiyalarning vizual kontent yaratish, dizayn g‘oyalarini shakllantirish hamda kreativ jarayonlarni tashkil etishdagi o‘rni o‘rganildi.

Shuningdek, grafik dizayn sohasida generativ sun'iy intellekt texnologiyalarini qo‘llash bo‘yicha zamonaviy ilmiy maqolalar, monografiyalar va xalqaro tadqiqotlar natijalari tahlil qilindi. Olingan ma'lumotlar asosida generativ sun'iy intellekt vositalarining afzalliklari, cheklovlari va amaliy qo‘llash imkoniyatlari yuzasidan ilmiy xulosalar shakllantirildi.

NATIJALAR. O‘n ikki haftalik kuzatuv yakunida tajriba guruhi barcha besh ko‘rsatkich bo‘yicha nazorat guruhiga nisbatan statistik jihatdan muhim farq ko‘rsatdi. Quyidagi jadvalda ikkala guruhning boshlang‘ich va yakuniy natijalari, shuningdek statistik ahamiyat darajasi ko‘rsatilgan.

1-jadval

Tajriba va nazorat guruhlari ko‘rsatkichlari taqqoslamasi

Ko‘rsatkich	Tajriba guruhi boshlang‘ich	Tajriba guruhi yakuniy	Nazorat guruhi boshlang‘ich	Nazorat guruhi yakuniy	p-qiymat
Topshiriq vaqti	143,6	75,7	141,2	128,4	< 0,001

ISSN 3030-3907

Yaratilgan variantlar soni	3,2	10,4	3,1	3,8	< 0,001
Buyurtmachi mamnuniyati	6,8	8,4	6,7	7,2	< 0,01
Texnik sifat bali	64,3	81,7	63,8	70,2	< 0,01
Ijodiy originallik - TTCT	58,9	72,3	57,4	61,8	< 0,05

Izoh: TTCT -Torrens Ijodiy Fikrlash Testi. Statistik tahlil mustaqil t-test va Mann–Whitney U testi asosida o‘tkazildi.

Jadval ko‘rsatganlari shuni tasdiqlaydiki, tajriba guruhida topshiriqni bajarish vaqti 143,6 daqiqadan 75,7 daqiqaga tushdi - bu 47,3 foizlik kamayishni anglatadi . Nazorat guruhida o‘zgarish sezilarli emas: 141,2 dan 128,4 daqiqaga. Yaratilgan variantlar sonida farq yanada keskin: tajriba guruhida 3,2 dan 10,4 ga, nazorat guruhida esa 3,1 dan 3,8 ga . Bu natijalar GSI vositalarining g‘oyalar generatsiyasi bosqichida deyarli cheksiz variantlik imkoniyati berishini empirik tarzda tasdiqlaydi.

Sifatiy natijalar va intervyu tahlili. Mutaxassislar bilan o‘tkazilgan suhbatlarning tematik tahlili to‘rtta asosiy kategoriyani ko‘rsatdi. Birinchi kategoriya -"tezlashtiruvchi vosita sifatidagi qabul": respondentlarning 78 foizi GSI vositalarini ijodiy jarayonni tezlashtiradigan vosita sifatida ifodaladi. Ikkinchi kategoriya - "asl ijodning o‘rnini bosa olmaslik": 61 foiz ishtirokchi original g‘oyalash uchun hali ham an'anaviy usullarga murojaat etishini ta'kidladi. Bu natija Jiang va hammuallif tomonidan aniqlangan "AI sheriklik" konsepsiyasini qo‘llab-quvvatlaydi [8].

Uchinchi kategoriya -"til va madaniy to‘siq": respondentlarning 44 foizi GSI vositalarining o‘zbek tilidagi so‘rovlarni va mahalliy vizual kontekstni to‘liq tushunmasligini muammo sifatida qayd etdi. Bu holat mavjud GSI tizimlarining asosan ingliz tilli va g‘arb madaniy kontekstida trening qilinganligini ko‘rsatadi. To‘rtinchi kategoriya - "vizual birxillik xavfi": 37 foiz respondent turli loyihalar uchun yaratilgan dizaynlarning estetik o‘xshashligidan xavotir bildirdi. Ushbu holat Brade va hammualliflari tomonidan tasvirlangan "uslubiy moyillik" muammosini mahalliy sharoitda ham tasdiqlaydi [9].

Tadqiqot davomida ishlab chiqilgan besh o‘lchamli GSI samaradorlik baholash tizimi quyidagi indekslardan tashkil topadi: (1) Texnik samaradorlik indeksi - vaqt tejash va texnik sifatni birlashtiruvchi kompozit ko‘rsatkich; (2)

ISSN 3030-3907

Ijodiy kenglik indeksi - variantlar soni, originallik va madaniy o‘ziga xoslikni qamrab oluvchi ko‘rsatkich; (3) Inson-AI hamkorlik indeksi - prompt sifati, iteratsiya samaradorligi va foydalanuvchi nazoratini o‘lchaydigan ko‘rsatkich; (4) Buyurtmachi qoniqish indeksi - yakuniy mahsulot sifatiga foydalanuvchi va mijoz baholashlarini birlashtiruvchi ko‘rsatkich; (5) O‘rganish egri chizig‘i ko‘rsatkichi - vositadan foydalanish mahoratining vaqt o‘tishi bilan o‘sish dinamikasini tavsiflovchi ko‘rsatkich. Ushbu tizim GSI ta'sirini yaxlit va keng baholash imkonini beradi.

Munozara. Tadqiqot natijalari generativ sun'iy intellekt texnologiyalarining grafik dizayn jarayonlariga sezilarli ta'sir ko‘rsatayotganini ko‘rsatadi. Xususan, Midjourney, DALL-E, Adobe Firefly va Stable Diffusion kabi vositalar dizayn konsepsiyalarini ishlab chiqish, vizual materiallar yaratish hamda turli dizayn variantlarini tayyorlash jarayonlarini tezlashtirish imkonini beradi. Bu esa grafik dizaynerlarning vaqt resurslaridan samaraliroq foydalanishiga xizmat qiladi.

Ilmiy manbalar tahlili shuni ko‘rsatadiki, generativ sun'iy intellekt vositalari an'anaviy dizayn usullarini to‘liq almashtirmaydi, balki dizaynerning ijodiy faoliyatini qo‘llab-quvvatlovchi yordamchi vosita sifatida namoyon bo‘ladi. Dizayn mahsulotining sifati ko‘p jihatdan foydalanuvchining kasbiy tajribasi, kreativ fikrlashi va sun'iy intellekt tizimlariga beriladigan ko‘rsatmalarning aniqligiga bog‘liq.

Tahlillar natijasida generativ sun'iy intellekt vositalarining asosiy afzalliklari sifatida ish jarayonining tezlashishi, dizayn variantlari sonining ortishi, vizual tajribalar o‘tkazish imkoniyatlarining kengayishi va kreativ g‘oyalarni rivojlantirishga ko‘maklashishi aniqlandi. Ayniqsa, dastlabki konsepsiyalarni ishlab chiqish bosqichida ushbu texnologiyalar dizaynerlar uchun samarali yordamchi vosita bo‘lib xizmat qilmoqda.

Shu bilan birga, generativ sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish ayrim muammolarni ham yuzaga keltiradi. Mualliflik huquqi, yaratilgan kontentning originalligi, ma'lumotlar xavfsizligi hamda milliy va madaniy xususiyatlarning yetarli darajada aks etmasligi shular jumlasidandir. O‘zbekiston sharoitida o‘zbek tilidagi ma'lumotlar bazasining cheklanganligi va mahalliy vizual elementlarning yetarli darajada ifodalanmasligi ham muhim masalalardan biri hisoblanadi.

Umuman olganda, generativ sun'iy intellekt texnologiyalari grafik dizayn sohasining rivojlanishida muhim omil sifatida namoyon bo‘lmoqda. Ularning samarali qo‘llanilishi nafaqat dizayn mahsulotlari sifatini oshirishga, balki kreativ industriya va raqamli iqtisodiyotning rivojlanishiga ham ijobiy ta'sir ko‘rsatishi mumkin. Shu sababli grafik dizayn ta'limi va amaliyotida generativ sun'iy

ISSN 3030-3907

intellekt vositalaridan oqilona foydalanish ko‘nikmalarini shakllantirish dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi.

XULOSA. Ushbu tadqiqot generativ sun'iy intellekt texnologiyalarining grafik dizayn jarayonlari samaradorligiga ta'sirini baholashning ilmiy-metodik asoslarini empirik dalillar asosida shakllantiradi. Tadqiqot natijalari quyidagi asosiy xulosalarni belgilaydi.

Birinchidan, GSI vositalaridan tizimli foydalanish grafik dizayn samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Vaqt samaradorligida 47,3 foizlik kamayish va dizayn variantlari sonida 3,25 barobar o‘sish kuchli effekt o‘lchami bilan tasdiqlangan. Bu ko‘rsatkichlar kreativ sanoat korxonalari uchun GSI vositalarini joriy etishning iqtisodiy asoslanganligini ko‘rsatadi.

Ikkinchidan, taklif etilgan besh o‘lchamli GSIBT tizimi GSI ta'sirini yaxlit va tizimli baholash uchun amaliy vosita hisoblanadi. Ushbu tizim kreativ muassasalar, oliy ta'lim institutlari va davlat tashkilotlari tomonidan GSI vositalarini joriy etish samaradorligini monitoring qilishda qo‘llanilishi tavsiya etiladi.

Uchinchidan, til to‘sig‘i va madaniy birxillik muammolarini bartaraf etish maqsadida o‘zbek tilidagi va milliy vizual an'analarga sezgir GSI modellarini rivojlantirish zarur. Bu yo‘nalishda Fanlar akademiyasi va IT sohasidagi davlat-xususiy sheriklik imkoniyatlarini ko‘rib chiqish maqsadga muvofiq.

"Raqamli O‘zbekiston - 2030" strategiyasini samarali amalga oshirish kontekstida kreativ sanoat tarmoqlarida GSI samaradorligini baholashning milliy standartlarini ishlab chiqish, oliy ta'lim tizimida GSI savodxonligini rivojlantiruvchi modul dasturlarini joriy etish va kasbiy malaka oshirish tizimini GSI ko‘nikmalarini sertifikatsiyalash mexanizmi bilan to‘ldirish tavsiya etiladi.

Kelajakdagi tadqiqotlar ko‘proq geografik hududlarni qamrab oluvchi qiyosiy tahlilni, kamida 2 yillik longitudinal kuzatuvlarni va GSIBT baholash vositalarining psixometrik validatsiyasini o‘z ichiga olishi lozim. Bundan tashqari, o‘quvchi-dizaynerlar va professional dizaynerlar orasidagi GSI ta'siri farqini solishtiruvchi tadqiqotlar ham muhim amaliy va nazariy ahamiyatga ega.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Adobe Inc. (2023). Adobe Global Creativity Study 2023: AI, Creativity and the Future of Design. Adobe Systems Incorporated.
2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktyabrdagi PF-6079-sonli Farmoni. "Raqamli O‘zbekiston - 2030" strategiyasini amalga oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida. Toshkent.
3. Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., & Bengio, Y. (2014). Generative adversarial nets. Advances in Neural Information Processing Systems, 27, 2672–2680.

ISSN 3030-3907

4. Ho, J., Jain, A., & Abbeel, P. (2020). Denoising diffusion probabilistic models. Advances in Neural Information Processing Systems, 33, 6840–6851.
5. Brown, T. (2009). Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation. HarperBusiness.
7. Oppenlaender, J. (2022). A taxonomy of prompt modifiers for text-to-image generation. arXiv:2204.13988. https://doi.org/10.48550/arXiv.2204.13988
8. Sbai, O., Elhoseiny, M., Bordes, A., LeCun, Y., & Couprie, C. (2019). DesIGN: Design inspiration from generative networks. In L. Leal-Taixé & S. Roth (Eds.), Computer Vision – ECCV 2018 Workshops (pp. 37–43). Springer.
9. Jiang, H., Maher, M. L., & Murty, P. (2023). Human–AI co-creativity in design: From tool to partner. International Journal of Design Creativity and Innovation, 11(2), 58–79.
10. Brade, S., Wang, B., Sousa, M., Oore, S., & Grossman, T. (2023). Promptify: Text-to-image generation through interactive prompt exploration with large language models. Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology 2023, Article 16.
11. Hasanov, J. R. (2023). O‘zbekiston oliy ta'lim muassasalarida raqamli dizayn ta'limining zamonaviy holati va rivojlantirish yo‘llari. Pedagogika va psixologiya, 4(2), 34–41.
12. Toshmatova, N. S. (2024). Mahalliy kreativ sanoat mutaxassislari orasida sun'iy intellekt savodxonligi darajasi: empirik tahlil. Axborot texnologiyalari va kommunikatsiya, 3, 88–97.
13. Guilford, J. P. (1967). The Nature of Human Intelligence. McGraw-Hill.
14. Norman, D. A. (2013). The Design of Everyday Things (Revised and Expanded Edition). Basic Books.
15. Kimbell, L. (2011). Rethinking design thinking: Part I. Design and Culture, 3(3), 285–306. https://doi.org/10.2752/175470811X13071166525216
16. Runco, M. A., & Jaeger, G. J. (2012). The standard definition of creativity. Creativity Research Journal, 24(1), 92–96. https://doi.org/10.1080/10400419.2012.650092
17. Liu, V., & Chilton, L. B. (2022). Design guidelines for prompt engineering text-to-image generative models. In Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'22), Article 384. https://doi.org/10.1145/3491102.3501825
18. Moruzzi, C. (2023). Assessing creativity: The problem with AI art. Minds and Machines, 33(3), 391–410. https://doi.org/10.1007/s11023-022-09619-5
19. Rezwana, J., & Maher, M. L. (2022). Designing creative AI partners with COFI: A framework for human–AI co-creativity. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 30(2), Article 22. https://doi.org/10.1145/3519026

ISSN 3030-3907

20. Cetinic, E., & She, J. (2022). Understanding and creating art with AI: Review and outlook. ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications, 18(2), Article 66. https://doi.org/10.1145/3475799
21. Shneiderman, B. (2022). Human-Centered AI. Oxford University Press.

ISSN 3030-3907

SMART MONITORING OF IRRIGATION CANALS USING IOT SENSORS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Abdumannopova Mamura
Computational mathematics and information systems, National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan
Seytov Aybek Jumabayevich
System Analysis and Mathematical Modeling, University of World Economy and Diplomacy, Tashkent, Uzbekistan
Asretdinova Lobar
Automatic Control and Computer Engineering, Turin Polytechnic University in Tashkent, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. Water scarcity and inefficient distribution are critical problems in canal irrigation systems. This study presents a conceptual IoT–AI framework for the real-time monitoring and management of open irrigation canals, using the Parkent Canal as a theoretical case study. The proposed architecture outlines the deployment of networked sensors (water-level, flow, gate position, weather) linked via LPWAN (e.g., LoRaWAN) to a cloud platform. Under this framework, data would be processed using AI algorithms: machine learning to forecast future demand and anomaly detection to flag leaks or sensor faults. The paper describes how this system can theoretically enable automated gate control and timely alerts. Based on field implementations of similar IoT canal systems in literature (e.g., ultrasonic sensors + ESP32 microcontrollers with cloud visualization [1]), our conceptual analysis indicates that the proposed approach has the potential to significantly reduce water losses by better matching supply to demand. The main contribution of this work is a comprehensive, theoretical IoT+AI architecture tailored to Parkent Canal's operational needs, integrating predictive analytics with real-time monitoring concepts to improve future irrigation efficiency.

Keywords: IoT sensor network; canal monitoring; water distribution; smart irrigation; machine learning; anomaly detection; LoRaWAN [1, 2]

Аннотация. Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения эффективности распределения воды в оросительных каналах. В статье представлена концептуальная модель системы интеллектуального мониторинга оросительных каналов на основе IoT-сенсоров и ИИ (на примере Паркентского канала). Рассматривается теоретическая архитектура сети, включающая датчики уровня и расхода воды, положения створок шлюзов и метеорологические датчики. Предлагается схема передачи данных через LoRaWAN на облачную платформу для последующего анализа. В рамках разработанной концепции алгоритмы ИИ предназначены для прогнозирования потребности в воде и выявления аномалий (утечки,

ISSN 3030-3907

отказ датчиков). Описанная теоретическая система призвана обеспечить автоматическое управление шлюзами и раннее предупреждение об отклонениях. Анализ аналогичных систем, описанных в литературе (например, Das et al., 2025, где использовались IoT-модули ESP32 и ультразвуковые датчики [1]), подтверждает техническую исполнимость и потенциал предлагаемого подхода для снижения потерь воды. Научная новизна работы заключается в разработке комплексной теоретической архитектуры IoT+AI для Паркентского канала, закладывающей основу для будущих интеллектуальных систем управления водными ресурсами.

Ключевые слова: IoT-сеть; мониторинг каналов; водораспределение; умное орошение; машинное обучение; обнаружение аномалий; LoRaWAN [1, 2]

Annotatsiya. Kanallar orqali sug‘orishda suvni tejash va taqsimlash samaradorligini oshirish muhim masaladir. Ushbu maqolada IoT-sensorlari va sun’iy intellekt yordamida kanal monitoringi tizimining konseptual loyihasi taklif etiladi (Parkent kanali misolida). Nazariy jihatdan taklif qilingan tizimda suv sathi va oqim tezligini o‘lchovchi datchiklar, shuningdek, darvoza holatini nazorat qiluvchi qurilmalar ma’lumotlarni LoRaWAN orqali bulut platformasiga yuborishi ko‘zda tutilgan. Kelajakda tizimga integratsiya qilinadigan sun’iy intellekt modellari yordamida suv talabini bashorat qilish va anomal holatlarni (oqishlar yoki datchik nosozliklari) aniqlash imkoniyatlari tahlil qimen. Mavjud adabiyotlardagi o‘xshash IoT tizimlari tajribasi (masalan, Das va boshq. (2025) tomonidan ESP32 va ultratovushli datchiklar qo‘llanilishi [1]) ushbu yondashuvning texnik jihatdan samarali ekanligini ko‘rsatadi. Nazariy tahlillar shuni ko‘rsatadiki, taklif etilayotgan model suv yo‘qotilishini kamaytirish va taqsimot aniqligini oshirish imkoniyatiga ega. Ishning ilmiy yangiligi – Parkent kanalining ekspluatatsiya ehtiyojlariga moslashtirilgan, real vaqtda monitoring va bashoratli tahlilni birlashtiruvchi to‘liq konseptual IoT+AI arxitekturasining ishlab chiqilishidir.

Kalit so‘zlar: IoT tarmog‘i; kanal monitoringi; suv taqsimoti; aqlli sug‘orish; mashina o‘rganishi; anomal aniqlash; LoRaWAN [1, 2]

INTRODUCTION.

Efficient management of irrigation canals is essential for water-scarce agriculture. Traditional open-channel systems often rely on manual gate operation and fixed schedules, leading to inefficiencies, overflows, or shortages along the canal. As reported by Phan and Vu, manual gate control in paddy-field canals “often results in localized water shortages or excesses” [2]. Conversely, real-time monitoring and control frameworks can greatly improve distribution. For example, Das *et al.* (2025) developed an IoT-based monitoring system using

ISSN 3030-3907

ultrasonic sensors and an ESP32 microcontroller to measure canal discharge, demonstrating high accuracy in field tests and providing continuous flow data to a cloud app [1]. On a larger scale, China's South-to-North Water Transfer middle canal (1,400 km) employs over 100,000 IoT sensors for flow, quality, and structural monitoring [5].

These examples illustrate that sensor networks can "empower users to make informed decisions" by visualizing water levels and flows in real time [1]. Recent advances in AI further augment these concepts: deep learning models can theoretically predict irrigation demand with low error rates (~2%) [4], and anomaly-detection algorithms (autoencoders, GANs) are capable of flagging abnormal sensor readings or leaks with high accuracy (>90%) [3]. Motivated by these insights, this paper proposes a conceptual smart monitoring system framework for the Parkent Canal in Uzbekistan, theoretically integrating IoT sensors, low-power communication (e.g., LoRaWAN), and AI analytics to optimize water delivery and design early warning mechanisms.

LITERATURE ANALYSIS.

Several studies have applied IoT to irrigation canal monitoring, establishing a baseline for conceptual system design. Das *et al.* tested an ESP32+ultrasonic sensor system on canal sections, transmitting depth measurements to Firebase for a mobile dashboard [1]. They used channel geometry and Manning's equation to convert level to flow, achieving results consistent with official gauge data [1]. Their hardware design emphasized durability and power efficiency, choosing non-contact ultrasonic units (JSN-SR04) that avoid damage from debris [1]. These low-cost components demonstrate that accurate canal monitoring is structurally feasible without expensive instrumentation.

IoT communications vary, but LoRaWAN has proven highly effective for wide-area irrigation. Phan and Vu (2024) deployed a LoRaWAN network to remotely monitor and control canal gates over distances up to 2 km, noting that compared to cellular (4G) setups, LoRa's low power makes it ideal for rural canals [2]. Alternatively, Narrowband IoT (NB-IoT) modules can send periodic sensor data via existing LTE networks, enabling battery-operated ultrasonic level sensors in remote channels [2]. In these frameworks, cloud platforms (AWS, Azure, or open solutions like The Things Network) collect data for visualization; for instance, Das *et al.* pushed data to Firebase for a "Flow Tracker" app [1].

Artificial intelligence models can significantly enhance these monitoring setups when integrated into the backend:

- **Time-series forecasting models (LSTM, Transformer):** These models learn from historical usage, weather, and crop data to predict future water needs. González-Perea *et al.* (2024) reported that a Transformer-based model (with fuzzy

ISSN 3030-3907

logic and genetic algorithms) could forecast weekly irrigation demand with an average error of ~2.1% [4]. Accurate forecasts help irrigation managers schedule canal releases and pumping in advance, reducing uncertainty [4].

- **Anomaly detection models (Autoencoders, GANs):** Deep learning architectures can identify sensor faults or abnormal water use. Benameur *et al.* (2024) developed a fog-IoT system for farmers, using autoencoders to detect anomalies in soil moisture and weather data with ~90–97% accuracy [3]. Their approach replaced detected outliers with reconstructed values to ensure data quality.

While focused on field sensors in literature, this principle applies theoretically to canals: for example, a sudden drop in measured water level could trigger an alert for a possible leak or unauthorized draw-off. By integrating these AI methods, smart irrigation frameworks can enhance decision support (predictive demand, fault alerts) beyond traditional rule-based controls. Literature thus confirms that IoT provides the data structure and AI provides the intelligence needed for optimal canal management design.

PROPOSED RESEARCH METHODOLOGY.

This study outlines a conceptual full-stack design framework for Parkent Canal monitoring. The **study area** (Parkent Canal) is an open earthen canal in Tashkent Province that distributes mountain-water to downstream farms. The proposed methodology outlines how a monitoring framework could be structured, assuming multiple theoretical measurement points along its length: upstream inlet, mid-sections, and tail-outlets feeding branches.

Proposed Architecture Components

[Sensor Nodes: ESP32 + Ultrasonic] ---> (LoRaWAN Gateway) ---> [Cloud Platform: AWS/Firebase] ---> [AI Backend: LSTM & Autoencoder] ---> [User Dashboard / Gate Alerts]

- **Sensor Network Design:** Each target site is proposed to be equipped with: (1) a non-contact water-level sensor (e.g., ultrasonic JSN-SR04 or radar) mounted above the canal; (2) a flow estimation model (utilizing calculation via Manning‘s formula using measured depth and channel geometry); (3) a gate-position encoder if an automated gate or valve is present; (4) a solar-powered weather station (rain gauge, temperature, humidity). The ultrasonic sensor is selected for its precision (±3–5 mm) and outdoor durability based on literature benchmarks [1]. Sensor nodes are designed around low-power microcontrollers (e.g., ESP32) featuring deep-sleep modes [1].
- **Communication Infrastructure:** Nodes are designed to communicate via a LoRaWAN network. LoRa’s kilometer-scale range is ideal for rural canals [2]. Gateways placed at elevated points would relay data to the internet (using 4G

ISSN 3030-3907

backhaul or fiber). In areas without LoRa coverage, NB-IoT/GPRS modems serve as alternate links (e.g., an NB-IoT ultrasonic sensor sending hourly updates as a backup [2]). The network configuration aims to ensure frequent (e.g., 15-minute) updates of water level and gate status.

- **Data Platform:** All sensor streams are designed to ingest into a cloud database (e.g., AWS IoT, GCP, or Firebase). A web dashboard or mobile app interface is conceptualized to visualize real-time levels, flows, and alerts, emulating established systems like Flow Tracker [1].
- **AI Analytics Architecture:** Two theoretical AI modules are structured for backend execution:

1. *Water Demand Forecasting:* A time-series model (e.g., LSTM or Transformer) intended to be trained on past flow records, weather, and irrigation schedules to predict canal inflow/outflow requirements for the next 1–7 days. González-Perea *et al.* achieved ~99.9% scenario coverage using a transformer-based forecast [4], suggesting high potential accuracy if implemented.

2. *Anomaly Detection:* An unsupervised model (autoencoder or isolation forest) designed to learn normal patterns of level/flow readings. Deviations beyond calculated thresholds would trigger alerts. For instance, Benameur *et al.* used an autoencoder-GAN hybrid to detect anomalies in soil moisture and humidity data with >90% accuracy [3]. Similarly, the canal system would flag sharp drops in level (possible leak) or unlikely oscillations in sensor signals.

- **Decision Control Concept:** Forecast outputs are designed to inform a rule-based or RL-based gate control policy. If upstream demand surges, the system pre-opens gates; if excess flow is forecast, it throttles gates to minimize spill. The system is fundamentally structured to provide decision support: it sends alerts (SMS/email) if observed flow differs significantly from forecast or if anomalies are detected, enabling human operators to intervene quickly.

THEORETICAL DISCUSSION AND ANTICIPATED RESULTS.

The proposed IoT-AI architecture is conceptualized to enable **continuous monitoring** and proactive management. While a physical deployment has not yet been executed, established performance metrics from literature allow us to project the potential efficacy of this framework when applied to the historical constraints of the Parkent Canal.

Based on performance benchmarks of similar deep learning architectures, an AI demand-forecasting model applied to historical canal data could theoretically reduce forecast uncertainty by up to 60% compared to traditional manual estimation baselines, allowing tighter control of gate openings. Anomaly detection models like autoencoders are capable of flagging synthetic leak scenarios (sudden persistent drops) within one hour of inception, whereas manual

ISSN 3030-3907

checks along the canal path often take several hours or days to detect physical issues.

Table 1

Presents the targeted improvements that a full implementation of the proposed IoT-AI system aims to achieve relative to traditional manual operation:

Metric	Baseline (Manual Operation)	Proposed IoT–AI System (Targeted)	Projected Improvement
Flow measurement error (MAE)	10–15%	3–5%	~70% error reduction
Water delivery accuracy	85% of demand met	95% of demand met	+10% efficiency gain
Water loss (seepage/overtop)	High (unmonitored)	Reduced via early alarms	>15% loss reduction
Gate operation frequency	~5 manual changes/day	2–3 automated adjustments	–40% mechanical wear

Table 1. Anticipated performance improvements of the proposed system based on literature benchmarks. These projected gains align with modern hydrological literature: real-time sensing of discharge and levels has been shown to "enhance distribution efficiency and minimize wastage" [1]. Likewise, Phan & Vu demonstrated that automated LoRa-based gate control can operate reliably over large distances, avoiding local shortages [2]. The theoretical AI enhancements (forecasting, anomaly detection) would minimize human error and adapt dynamically to environmental variability (e.g., changing crop water use).

Implementation Challenges Note: In practical field deployment, the primary challenges will center on ensuring sensor robustness (especially in freezing or high-sediment clogging conditions) and maintaining network connectivity over remote terrain. However, studies like Choe & Lee (2025) emphasize that modern AI-PHM (Prognostics and Health Management) methods can accommodate intermittent data and automatically flag sensor malfunctions [6]. Our design includes hardware safeguards (solar backups, deep-sleep cycles) and software filtering to mitigate noisy data streams. Overall, the proposed architecture is technologically feasible and leverages established IoT standards to modernize open canal management.

CONCLUSION AND SUGGESTIONS.

ISSN 3030-3907

This paper presents a comprehensive theoretical framework demonstrating how smart IoT monitoring, coupled with AI analytics, can transform irrigation canal management. By designing a conceptual architecture to equip the Parkent Canal with networked water-level sensors, flow sensors, and automated gates, we demonstrate a path toward **real-time visibility** in canal performance without prohibitive deployment costs.

Theoretically, AI-driven demand forecasts allow operators to plan water releases days ahead, reducing structural waste and ensuring equitable distribution, while unsupervised anomaly detection enables early identification of leaks or sensor malfunctions. Literature indicates that such integrated frameworks drastically improve performance, outperforming traditional physical gauging methods in accuracy and responsiveness [1].

We therefore recommend the following roadmap for future pilot implementation on the Parkent Canal:

- **Phase 1:** Physical installation of ultrasonic level sensors at strategic target sections.
- **Phase 2:** Establishment of a dedicated local LoRaWAN gateway connected to a cloud server instance.
- **Phase 3:** Development and calibration of the proposed LSTM and autoencoder AI modules using collected field data.
- **Phase 4:** Engagement of canal operators to refine gate-control logic based on AI decision-support outputs.

Future work should extend this theoretical framework by integrating reinforcement learning (RL) agents for fully automated gate control and incorporating localized weather radar data for advanced irrigation scheduling. Ultimately, this research provides the architectural blueprint demonstrating that data-driven management of open canals can optimize water conservation and increase crop productivity under the constraints of Uzbek irrigation networks.

LIST OF REFERENCES USED

1. Das A.T.H., Wilson A., Surendran D.T., et al., “IoT Based Real-Time Measuring and Monitoring System for Irrigation Canals”, *J. Applied Sci., Eng. Tech. & Manage.*, vol. 3, no. 2, 2025, pp. 07–14.
2. Phan T.D.K., Vu V.T., “LoRaWAN-based remote monitoring and control system for canal gates of paddy field irrigation systems”, *Danang Univ. J. Sci. & Tech.*, vol. 22, no. 12, 2024, pp. 25–33.
3. Benameur R., Dahane A., Kechar B., Benyamina A.E.H., “An Innovative Smart and Sustainable Low-Cost Irrigation System for Anomaly Detection Using Deep Learning”, *Sensors*, vol. 24, no. 4, 2024, art. 1162.
4. González-Perea R., Camacho Poyato E., Rodríguez Díaz J.A., “Attention is all

ISSN 3030-3907

water need: Multistep time series irrigation water demand forecasting in irrigation districts", *Comput. Electron. Agric.*, vol. 218, 2024, art. 108723.
5. Staedter T., "100,000 IoT Sensors Monitor a 1,400-Kilometer Canal in China", *IEEE Spectrum*, Jan. 2018.
6. Choe H.-O., Lee M.-H., "Artificial Intelligence-Based Anomaly Detection for Smart Farm Sensors", *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 23, 2025, art. 12843.

AVTOMOBIL TRANSPORTIDA TASHUV ISHLARINI AMALGA OSHIRISHDA HARAKAT XAVFSIZLIGINI TA'MINLASH USLUBLARINI TAKOMILLASHTIRISH YO'LLARI

Yugayev Shavkat Mansunovich
TerDMAU, PhD.
E-mail: shavkatyugayev266@gmail.com
Abdivoidov Rustam Baxtiyor o'g'li
TerDMAU, Stajyor-o'qituvchi,
E-mail: rustamabdivoidov443@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada avtomobil transportida yo'lovchi va yuk tashish jarayonida harakat xavfsizligini ta'minlash uslublarini takomillashtirish masalasi O'zbekiston sharoiti asosida tahlil qilinadi. Mavzuning dolzarbligi shundaki, avtomobil transporti iqtisodiyot, aholining kundalik harakati, logistika, xizmat ko'rsatish va hududlararo aloqalarda asosiy o'rin tutadi, biroq tashuv jarayonidagi boshqaruv, texnik nazorat, haydovchi intizomi, yo'l infratuzilmasi va raqamli monitoring yetarli darajada uyg'unlashmasa, transport tizimi xavfsizlik manbai emas, xavf omiliga aylanadi.

Kalit so'zlar: avtomobil transporti, tashuv xavfsizligi, yo'l harakati xavfsizligi, haydovchi intizomi, texnik nazorat, transport korxonasi, raqamli monitoring, profilaktika, GPS nazorat, xavfsizlik menejmenti.

Аннотация. В данной статье на примере условий Узбекистана анализируется вопрос совершенствования методов обеспечения безопасности дорожного движения в процессе пассажирских и грузовых автомобильных перевозок. Актуальность темы заключается в том, что автомобильный транспорт играет ключевую роль в экономике, ежедневном передвижении населения, логистике, сфере услуг и межрегиональных связях. Однако при отсутствии должной интеграции управления процессами перевозок, технического контроля, дисциплины водителей, дорожной инфраструктуры и цифрового мониторинга транспортная система превращается из фактора безопасности в источник повышенной опасности.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, безопасность перевозок, безопасность дорожного движения, дисциплина водителей, технический контроль, транспортное предприятие, цифровой мониторинг, профилактика, GPS-контроль, менеджмент безопасности.

Abstract. This article analyzes the issue of improving methods for ensuring road safety in the process of passenger and freight road transport based on the conditions of Uzbekistan. The relevance of the topic lies in the fact that road transport plays a pivotal role in the economy, daily population mobility, logistics, services, and interregional connectivity. However, if management in the transport

process, technical control, driver discipline, road infrastructure, and digital monitoring are not sufficiently integrated, the transport system transforms from a source of safety into a risk factor.

Keywords: road transport, transport safety, road safety, driver discipline, technical control, transport enterprise, digital monitoring, prevention, GPS tracking, safety management.

KIRISH.

Avtomobil transportida tashuv ishlarini xavfsiz tashkil etish oddiy texnik masala emas. Bu yo‘lovchi hayoti, yuk butligi, transport korxonasining iqtisodiy barqarorligi, yo‘l infratuzilmasining samaradorligi va davlat nazoratining ishlash sifati bilan bog‘liq murakkab boshqaruv tizimidir. Tashuv jarayonida xavfsizlik buzilsa, zarar faqat transport vositasiga yetmaydi. Odamlar hayoti xavf ostida qoladi, korxona moddiy zarar ko‘radi, sug‘urta va sud xarajatlari ortadi, yo‘l harakati izdan chiqadi, jamiyatda jamoat transportiga ishonch kamayadi. Muammo shundaki, ko‘p transport korxonalarida xavfsizlik hali ham hodisa sodir bo‘lgandan keyin choralar ko‘rish darajasida tushuniladi. Bu yondashuv zaif. Chunki yaxshi xavfsizlik tizimi avariyani tergov qilishdan oldin uni oldindan ko‘rishi, xavfli omillarni baholashi va ularning ta’sirini kamaytirishi kerak. Shu sababli harakat xavfsizligini ta’minlashning zamonaviy uslublari reaktiv nazoratdan profilaktik boshqaruvga o‘tishi zarur. Jahon sog‘liqni saqlash tashkilotining 2023-yilgi global hisobotiga ko‘ra, dunyo bo‘yicha yo‘l-transport hodisalari oqibatida har yili taxminan 1,19 million kishi vafot etadi. Bu raqam yo‘l harakati xavfsizligi faqat mahalliy transport muammosi emas, balki global sog‘liqni saqlash, iqtisodiyot va boshqaruv masalasi ekanini bildiradi. O‘zbekiston sharoitida avtomobil transporti, ayniqsa yo‘lovchi tashish, yuk tashish, shaharlararo qatnov, taksi, xizmat transporti va ishlab chiqarish-logistika tizimlarida keng qo‘llanadi. Shuning uchun tashuv ishlarida xavfsizlikni takomillashtirish bevosita inson kapitalini saqlash, iqtisodiy yo‘qotishlarni kamaytirish va transport xizmatlari sifatini oshirishga xizmat qiladi.

ADABIYOTLAR VA ME’YORIY ASOSLAR TAHLILI. O‘zbekiston Respublikasining “Avtomobil transporti to‘g‘risida”gi Qonunida avtomobil transporti faoliyatining huquqiy asoslari belgilangan bo‘lib, avtomobilda tashishlar tashuvchilar tomonidan tegishli ruxsatnoma asosida amalga oshirilishi qayd etiladi. Bu talab bejiz emas, chunki tashuvchi korxona yo‘lovchi yoki yukni belgilangan manzilga yetkazish bilan birga xavfsizlik uchun ham javobgardir. “Yo‘l harakati to‘g‘risida”gi O‘RQ-900-son Qonun yo‘l harakati sohasidagi munosabatlarni tartibga soladi. Bu qonun tashuv jarayonida ishtirok etuvchi haydovchi, transport egasi, yo‘l tashkiloti, piyoda va davlat organlari o‘rtasidagi munosabatlarni umumiy huquqiy maydonga keltiradi. Yo‘l harakati qoidalari esa

ISSN 3030-3907

amaliy harakat tartibini belgilaydi. Vazirlar Mahkamasining 2022-yil 12-apreldagi 172-son qarori bilan tasdiqlangan qoidalarga ko‘ra, O‘zbekiston hududida yo‘l harakatining yagona tartibi amal qiladi. Bunday yagona tartib bo‘lmasa, tashuv xavfsizligini korxona ichida ham, davlat nazoratida ham bir xil baholash qiyinlashadi. Xalqaro amaliyotda esa ISO 39001 yo‘l harakati xavfsizligi menejment tizimi tashkilotlarga yo‘l harakati bilan bog‘liq o‘lim va og‘ir jarohatlanishlarni kamaytirish uchun boshqaruv talablari belgilashga qaratilgan standart sifatida qo‘llanadi. Bu manbalardan kelib chiqadigan asosiy xulosa shuki, avtomobil transportida xavfsizlik alohida tadbirlar yig‘indisi emas. U korxona siyosati, haydovchi malakasi, texnik xizmat, marshrut tahlili, hujjatlashtirish, raqamli monitoring, tibbiy nazorat va hodisalardan keyingi tahlil orqali ishlaydigan yaxlit tizim bo‘lishi kerak.

ASOSIY QISM. Avtomobil transportida tashuv xavfsizligini ta’minlashning birinchi sharti - haydovchini tanlash va tayyorlash tizimini kuchaytirishdir. Haydovchi transport jarayonining markaziy ishtirokchisi bo‘lsa-da, uni yagona aybdor yoki yagona kafolat sifatida ko‘rish xato. Haydovchi xavfsiz ishlashi uchun korxona unga aniq tartib, maqbul ish vaqti, texnik soz transport vositasi, xavfsiz marshrut va real nazorat tizimini yaratishi kerak. Haydovchidan faqat “ehtiyot bo‘l” deb talab qilish yetarli emas. Uning malakasi davriy sinov, amaliy mashg‘ulot, yo‘l harakati qoidalaridagi o‘zgarishlar bo‘yicha o‘qitish, favqulodda vaziyatdagi qaror qabul qilish va psixofiziologik tayyorgarlik orqali tekshirilishi zarur. Ayniqsa yo‘lovchi tashishda haydovchining charchoq holati katta xavf tug‘diradi. Shaharlararo qatnov, uzoq masofali yuk tashish, tungi yo‘nalishlar va tig‘iz grafik haydovchi e’tiborini susaytiradi. Shu sababli tashuvchi korxonada ish va dam olish rejimini qog‘ozda emas, amalda nazorat qilish kerak. GPS, elektron yo‘l varaqasi, raqamli tachograf yoki boshqa monitoring vositalari faqat jazolash uchun emas, xavfli holatni erta aniqlash uchun ishlatilishi lozim. Agar haydovchi muntazam ravishda tezlik me’yoridan oshirsa, keskin tormozlasa yoki belgilangan marshrutdan chetga chiqsa, bu hodisa sodir bo‘lishidan oldingi signal hisoblanadi. Ikkinchi muhim yo‘nalish - transport vositasining texnik holatini boshqarish. Tashuv xavfsizligida tormoz tizimi, rul boshqaruvi, shina holati, yoritish moslamalari, oynalar, xavfsizlik kamarlari, signalizatsiya, eshik mexanizmlari va yukni mahkamlash uskunalari alohida ahamiyatga ega. Texnik ko‘rikni faqat rasmiy talabni bajarish sifatida emas, real xavfni kamaytiruvchi mexanizm sifatida ko‘rish kerak. Har bir transport vositasi uchun texnik xizmat pasporti yuritilishi, unda nosozliklar, ta’mirlash muddati, ehtiyot qismlar almashtirilgani, shina resursi va navbatdagi profilaktik tekshiruv aniq qayd etilishi zarur. Yuk tashishda xavfsizlikka ta’sir qiluvchi alohida omil - yukning joylashtirilishi va mahkamlanishidir. Og‘irlik noto‘g‘ri taqsimlansa,

ISSN 3030-3907

avtomobilning tormozlanish masofasi, burilishdagi barqarorligi va boshqaruvchanligi yomonlashadi. Bu ayniqsa tog‘li yo‘llar, keskin burilishlar, nam yo‘l qoplamasi va yuqori tezlikda xavfli. Yo‘lovchi tashishda esa salon sig‘imi, favqulodda chiqish yo‘laklari, eshiklarning ishlashi, ortiqcha yo‘lovchi olish va haydovchining yo‘lovchilar bilan chalg‘ituvchi muloqoti nazorat qilinishi kerak. Bu oddiy ko‘rinadigan omillar ko‘p hollarda hodisaning og‘ir oqibatini belgilaydi.

Uchinchi yo‘nalish - marshrut xavfsizligini baholash. Tashuvchi korxona marshrutni faqat iqtisodiy qulaylik asosida tanlasa, xavfsizlik ikkinchi darajaga tushib qoladi. Har bir doimiy yo‘nalish bo‘yicha xavf xaritasi tuzilishi kerak. Unda xavfli chorrahalar, piyodalar ko‘p harakatlanadigan joylar, maktab va bozor atrofi, keskin burilishlar, qiya yo‘llar, yoritilmagan uchastkalar, ko‘p avariya sodir bo‘ladigan hududlar, tirbandlik va ob-havo ta’sirchan nuqtalar ko‘rsatiladi. Bunday xarita haydovchiga yo‘lga chiqishdan oldin berilsa, u umumiy ogohlantirish emas, aniq xavf haqida axborot oladi.

To‘rtinchi yo‘nalish - raqamli monitoring va ma’lumotlar tahlilini joriy qilish. Bugungi transport xavfsizligi faqat nazoratchining ko‘ziga bog‘lanib qolmasligi kerak. GPS kuzatuv, videoregistrator, elektron yo‘l varaqasi, avtomatik tezlik nazorati, yoqilg‘i monitoringi, texnik xizmat dasturlari va YTH ma’lumotlar banki bir-biriga bog‘langan bo‘lsa, korxona real xavfsizlik holatini ko‘ra oladi. Bunda asosiy masala qurilma sotib olish emas, ma’lumotdan foydalanish madaniyatidir. Agar GPS faqat avtomobil qayerdaligini bilish uchun ishlatilsa, uning xavfsizlik qiymati past bo‘ladi. Agar u tezlik, keskin manevr, kechikish, marshrutdan chetga chiqish va xavfli hududga yaqinlashishni tahlil qilsa, u boshqaruv vositasiga aylanadi.

Beshinchi yo‘nalish - ichki audit va xavfsizlik ko‘rsatkichlarini belgilash. Tashuvchi korxona o‘z faoliyatini faqat daromad, yoqilg‘i sarfi va qatnov soni bilan baholasa, xavfsizlik e’tibordan chetda qoladi. Xavfsizlik bo‘yicha alohida ko‘rsatkichlar bo‘lishi shart. Masalan, 100 ming kilometrga to‘g‘ri kelgan qoidabuzarliklar soni, texnik nosozlik sabab yo‘lga chiqmagan transportlar ulushi, haydovchilarning davriy o‘qitilish darajasi, tezlik me’yoridan oshish holatlari, yo‘lovchilar shikoyati, favqulodda tormozlanishlar soni va mayda YTHlar dinamikasi muntazam tahlil qilinishi kerak. Mayda hodisalarni e’tiborsiz qoldirish katta xato. Ko‘p hollarda og‘ir YTHdan oldin kichik signal bo‘ladi.

Oltinchi yo‘nalish - tashuv jarayonida inson omilini boshqarish. Haydovchining tajribasi muhim, lekin tajriba o‘z-o‘zidan xavfsizlik kafolati emas. Ko‘p yillik haydovchilar orasida o‘ziga ortiqcha ishonish, tezlikni me’yoriy xavf sifatida qabul qilish, marshrutni yod bilganlik sabab e’tiborning pasayishi kuzatilishi mumkin. Yangi haydovchilarda esa yo‘l vaziyatini oldindan baholash,

ISSN 3030-3907

transport oqimida masofa saqlash, murakkab chorrahada qaror qabul qilish tajribasi yetarli bo‘lmaydi. Shuning uchun korxona haydovchilarni yoshiga yoki stajiga qarab emas, real xavfsizlik xatti-harakatlari bo‘yicha baholashi kerak.

TAHLIL VA NATIJALAR. Avtomobil transportida tashuv xavfsizligini takomillashtirishning eng samarali yo‘li - xavfsizlikni alohida bo‘lim vazifasi emas, butun korxona boshqaruv tizimining bir qismi sifatida ko‘rishdir. Direktor faqat reja va tushumni, mexanik faqat texnik holatni, dispetcher faqat qatnov jadvalini, haydovchi faqat rul boshqarishni o‘ylasa, tizim bo‘linib ketadi. Xavfsizlik esa aynan shu bo‘linishlarda yo‘qoladi.

O‘zbekiston sharoitida takomillashtirishning eng amaliy modeli quyidagi mazmunga ega bo‘lishi mumkin. Tashuvchi korxonada har bir transport vositasi, haydovchi va marshrut bo‘yicha xavf profili shakllantiriladi. Haydovchi profili malaka, qoidabuzarliklar, shikoyatlar, tibbiy ko‘rik natijalari, charchoq xavfi va monitoring ko‘rsatkichlariga tayanadi. Transport vositasi profili texnik xizmat, nosozliklar, yoshi, yurilgan masofa va ta’mirlash tarixiga asoslanadi. Marshrut profili esa yo‘l holati, YTH takrorlanishi, tirbandlik, ob-havo ta’siri va piyodalar oqimi bilan belgilanadi. Shu uch profil birlashtirilsa, korxona qaysi haydovchini qaysi transport vositasi bilan qaysi marshrutga chiqarish xavfli yoki xavfsizroq ekanini oldindan baholay oladi.

Bunday yondashuvning amaliy qiymati yuqori. Masalan, tajribasi kam haydovchini kechki vaqtda yoritilishi sust, tirband va piyodalar ko‘p bo‘lgan yo‘nalishga chiqarish xavfni oshiradi. Texnik holati chegaraviy bo‘lgan avtobusni uzoq masofali yoki qiya yo‘llarga yuborish ham shunday xavf tug‘diradi. Grafik kechikayotgani uchun haydovchidan tezroq yurishni talab qilish esa korxona darajasidagi xavfli boshqaruv qaroridir. Demak, YTHning sababi ko‘pincha faqat rul ortida emas, uni yo‘lga chiqargan tizim ichida ham bo‘ladi.

Takomillashtirishda jazolash mexanizmi yetarli emas. Jazo zarur, lekin xavfsizlikni faqat jarima bilan boshqarish zaif natija beradi. Tashuv korxonalarida xavfsiz haydash reytingi, rag‘batlantirish, muntazam qayta o‘qitish, xavfli xatti-harakatni erta aniqlash va ochiq tahlil madaniyati bo‘lishi kerak. Haydovchi qoidabuzarlikni yashirishga emas, xavfli vaziyat haqida xabar berishga manfaatdor bo‘lsa, tizim kuchayadi.

Davlat darajasida esa transport korxonalarining xavfsizlik menejmenti bo‘yicha minimal standartlari belgilanishi maqsadga muvofiq. Ular qatoriga haydovchilarni davriy tayyorlash, transport vositalarining elektron texnik pasporti, marshrut xavf xaritasi, YTH va qoidabuzarliklar tahlili, tibbiy nazorat, raqamli monitoring va xavfsizlik bo‘yicha mas’ul shaxs faoliyati kirishi kerak. ISO 39001 kabi xalqaro yondashuvlar bu borada tayyor metodologik asos bo‘la oladi, ammo uni to‘g‘ridan-to‘g‘ri ko‘chirib olish emas, O‘zbekistonning yo‘l

ISSN 3030-3907

sharoiti, tashuvchi korxonalar salohiyati va hududiy xususiyatlariga moslashtirish zarur.

XULOSA. Avtomobil transportida tashuv ishlarini amalga oshirishda harakat xavfsizligini ta’minlashni takomillashtirish uchun yondashuv tubdan o‘zgarishi kerak. Xavfsizlik haydovchining shaxsiy ehtiyotkorligiga topshirib qo‘yiladigan masala emas. U tashuvchi korxonaning boshqaruv madaniyati, texnik intizomi, marshrut siyosati, raqamli nazorati, haydovchi bilan ishlash tizimi va davlat me’yoriy talablari uyg‘unligida shakllanadi.

Eng real va samarali yo‘l - **profilaktik xavfsizlik menejmenti**ni joriy etishdir. Bunda hodisa sodir bo‘lgandan keyingi tekshiruv ikkinchi o‘ringa tushmaydi, lekin asosiy urg‘u hodisani oldindan aniqlashga beriladi. Har bir haydovchi, transport vositasi va marshrut xavf profili asosida baholansa, texnik xizmat qog‘ozdagi rasmiyatchilikdan real nazoratga aylansa, GPS va videomonitoring jazolash vositasi emas, tahlil vositasi sifatida ishlatilsa, transport korxonalarida YTH xavfi sezilarli kamayadi. O‘zbekiston sharoitida bunday tizimni bosqichma-bosqich joriy etish tashuv sifati, yo‘lovchi xavfsizligi, yuklarning saqlanishi va yo‘l harakati madaniyatini oshirishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Samatov G‘.A., Usmanova M.N. Yo‘l-transport hodisalari tahlili: o‘quv qo‘llanma. – Toshkent: TAYLQEI, 2019. – 111 b.
2. Azizov Q.X. Shahar yo‘llarida harakat xavfsizligini tashkil etish: darslik. – Toshkent: TDTrU “Transport” nashriyoti, 2021. – 226 b.
3. Baynazarov X.R., Zingirov S.J. Yo‘l transport hodisalari ekspert tahlili. – Andijon: Omadbek print number one, nashr yili ko‘rsatilmagan.
4. Kalauov S.A. Yo‘l harakati xavfsizligi xizmatining ma’muriy yurisdiksion faoliyati: darslik. – Toshkent: O‘zbekiston Respublikasi IIV Akademiyasi, 2025.
5. Mansunovich, Yugayev Shavkat, and Abdivoidov Rustam Baxtiyor O‘Gli. "YO ‘L TRANSPORTI HODISALARIGA TA’SIR QILUVCHI ASOSIY OMILLAR." Механика и технология 6.Спецвыпуск 1 (2025): 191-194.
6. O‘G‘Li, Abdivoidov Rustam Baxtiyor, Xudoyberdiev Asliddin Chori O‘G‘Li, and Ibragimov Hasan Eshpo‘Latovich. "O ‘RISH BALANDLIGIGA BOG ‘LIQ RAVISHDA JATKA YIG ‘UVCHI LENTASIGA UZATILAYOTGAN BEDA O ‘SIMLIGI MASSASINING O ‘ZGARISHI TAHLILI." Механика и технология 6.Спецвыпуск 1 (2025): 134-138.

ISSN 3030-3907

HYBRID RENEWABLE ENERGY SUPPLY SYSTEMS FOR 5G/6G TELECOMMUNICATION BASE STATIONS: A SYSTEMATIC REVIEW OF ARCHITECTURES, CONTROL STRATEGIES, AND AI-DRIVEN OPTIMIZATION METHODS

Muradov Muhammad Murod o‘g‘li
PhD., Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi
E-mail: muradov.muhammad1414@gmail.com
Yuldoshev Jaloliddin Fayzulla o‘g‘li
PhD student, Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi
E-mail: jalol2122@gmail.com

Abstract. The rapid expansion of fifth- and sixth-generation (5G/6G) telecommunications infrastructure has precipitated an unprecedented escalation in base station (BS) energy consumption, necessitating the transition from conventional grid-dependent power supply toward hybrid renewable energy systems (HRES). This paper presents a systematic review, conducted in accordance with the PRISMA methodology, of peer-reviewed publications spanning 2018 to 2025, focusing on photovoltaic (PV)-battery, PV-battery-supercapacitor (SC), wind-PV-battery, and PV-diesel-battery architectures deployed for telecommunications BS power supply. Four principal AI-driven optimization paradigms – reinforcement learning (RL), long short-term memory (LSTM)-based forecasting, genetic algorithms (GA), and model predictive control (MPC) – are critically evaluated in terms of energy efficiency, loss-of-load probability (LOLP), levelized cost of energy (LCOE), and battery degradation rate. A salient research gap is identified: no existing study integrates SC and lithium-ion battery co-optimization under an adaptive real-time AI-based energy management system that simultaneously accounts for variable 5G traffic load profiles, SC aging dynamics, and meteorological uncertainty. This finding establishes a precise and tractable research agenda for the development of intelligent, multi-source hybrid power systems that can guarantee uninterrupted telecommunications service under conditions of renewable energy intermittency. Future research directions, open challenges, and recommendations for MATLAB/Simulink-based experimental validation are delineated.

Keywords: hybrid renewable energy systems; 5G base stations; supercapacitor; lithium-ion battery; energy management; artificial intelligence; model predictive control; genetic algorithm; LSTM; reinforcement learning; PRISMA review.

Annotatsiya. Beshinchi va oltinchi avlod (5G/6G) telekommunikatsiya infratuzilmasining jadal kengayishi bazaviy stansiya (BS) energiya iste’molining

misli ko‘rilmagan darajada oshishiga olib keldi, bu esa an’anaviy tarmoqqa bog‘liq elektr ta’minotidan gibrid qayta tiklanadigan energiya tizimlariga (HRES) o‘tishni taqozo etmoqda. Ushbu maqolada PRISMA metodologiyasiga muvofiq, 2018-2025-yillarni qamrab olgan, fotovoltaik (PV) -batareya, PV-batareya-superkondensator (SC), shamol-PV-batareya va telekommunikatsiya BS elektr ta’minoti uchun qo‘llaniladigan PV-dizel-batareya arxitekturalariga e’tibor qaratgan holda ko‘rib chiqilgan nashrlarning tizimli sharhi taqdim etilgan. Sun’iy intellektga asoslangan to‘rtta asosiy optimallashtirish paradigmasi - mustahkamlash orqali o‘rganish (RL), uzoq muddatli qisqa muddatli xotira (LSTM) asosida bashorat qilish, genetik algoritmlar (GA) va modelni bashoratli boshqarish (MPC) - energiya samaradorligi, yuklamani yo‘qotish ehtimoli (LOLP), energiyaning tenglashtirilgan qiymati (LCOE) va batareyaning yemirilish darajasi nuqtai nazaridan tanqidiy baholanadi. Tadqiqotda sezilarli bo‘shliq aniqlangan: hech bir mavjud tadqiqot o‘zgaruvchan 5G trafik yuklamasi profillarini, QE eskirish dinamikasini va meteorologik noaniqliklarni bir vaqtning o‘zida hisobga oladigan real vaqtdagi moslashuvchan sun’iy intellektga asoslangan energiya boshqaruvi tizimi ostida QE va litiy-ion batareyalarini birgalikda optimallashtirishni birlashtirmagan. Ushbu xulosa qayta tiklanadigan energiya manbalarining uzluksizligi sharoitida uzluksiz telekommunikatsiya xizmatini kafolatlay oladigan aqlli, ko‘p manbali gibrid energiya tizimlarini ishlab chiqish uchun aniq va moslashuvchan tadqiqot dasturini belgilaydi. Kelajakdagi tadqiqot yo‘nalishlari, ochiq muammolar va MATLAB/Simulink asosida eksperimental tasdiqlash bo‘yicha tavsiyalar belgilangan.

Kalit so‘zlar: gibrid qayta tiklanadigan energiya tizimlari; 5G baza stansiyalari; superkondensator; litiy-ionli batareya; energiya boshqaruvi; sun’iy intellekt; modelni bashoratli boshqarish; genetik algoritm; LSTM; mustahkamlash ta’limi; PRISMA sharhi.

Аннотация. Стремительное расширение телекоммуникационной инфраструктуры пятого и шестого поколений (5G/6G) привело к беспрецедентному росту энергопотребления базовой станции (БС), что требует перехода от традиционного сетезависимого электроснабжения к гибридным системам возобновляемой энергии (HRES). В данной статье представлен систематический обзор публикаций, рассмотренных в соответствии с методологией PRISMA, охватывающей период с 2018 по 2025 год, с акцентом на архитектуры фотоэлектрических (PV) батарей, ПВ-батарей-суперконденсаторов (SC), ветровых ПВ-батарей и ПВ-дизельных батарей, применяемых для электроснабжения телекоммуникационных БС. Четыре основные парадигмы оптимизации на основе искусственного интеллекта - обучение через закрепление (RL), прогнозирование на основе

ISSN 3030-3907

долгосрочной кратковременной памяти (LSTM), генетические алгоритмы (GA) и прогнозирующее управление моделью (MPC) - критически оцениваются с точки зрения энергоэффективности, вероятности потери нагрузки (LOLP), сбалансированной стоимости энергии (LCOE) и степени износа батареи. В исследовании был выявлен значительный пробел: ни одно из существующих исследований не объединяло совместную оптимизацию СЭ и литий-ионных батарей под гибкой системой управления энергией на основе искусственного интеллекта в реальном времени, которая одновременно учитывает переменные профили нагрузки трафика 5G, динамику износа СЭ и метеорологические неопределенности. Данный вывод определяет четкую и гибкую программу исследований для разработки интеллектуальных гибридных энергосистем с несколькими источниками, способных гарантировать бесперебойное телекоммуникационное обслуживание в условиях непрерывности использования возобновляемых источников энергии. Определены направления будущих исследований, открытые проблемы и рекомендации по экспериментальному подтверждению на основе MATLAB/Simulink.

Ключевые слова: гибридные системы возобновляемой энергии; Базовые станции 5G; суперконденсатор; литий-ионная батарея; управление энергией; искусственный интеллект; прогнозное управление моделью; генетический алгоритм; ЛСТМ; обучение по закреплению; Обзор PRISMA.

1. INTRODUCTION.

The global proliferation of fifth-generation (5G) mobile telecommunications networks has introduced a fundamental transformation in both network architecture and associated energy demands. According to the International Telecommunication Union (ITU) and several recent empirical analyses, a single 5G New Radio (NR) base station consumes between 2.5 and 3.7 kW under full operational load – representing a power increment of 200–350% compared to equivalent fourth-generation (4G) long-term evolution (LTE) nodes. This is primarily attributable to the deployment of massive multiple-input multiple-output (mMIMO) antenna arrays, 357tandardiz-wave (mmWave) active antenna units, and low-latency baseband processing units. Projecting forward, the anticipated rollout of 6G networks – with target data throughputs exceeding 1 Tbps and sub-millisecond latency requirements – will impose further demands upon the power supply infrastructure.

The telecommunications sector currently accounts for approximately 1.5–2% of global electricity consumption, with base stations representing the dominant fraction (exceeding 50% of total network energy use). In the context of net-zero emissions commitments and the sustainability mandates established

ISSN 3030-3907

under the Paris Agreement, operators face a dual imperative: to maintain high quality-of-service (QoS) while substantially reducing both their carbon footprint and operational expenditure (OPEX). The integration of hybrid renewable energy systems – combining photovoltaic generation, wind energy conversion, battery energy storage, supercapacitor modules, and intelligent management – presents a technically viable and economically compelling pathway to address this challenge.

Despite a substantial and growing body of literature on renewable-powered base stations, a critical analytical gap persists. The overwhelming majority of extant studies address either (i) PV-battery system sizing and techno-economic optimization, or (ii) standalone AI-based load forecasting and scheduling algorithms, but not the integrated co-design of a physically accurate hybrid energy storage system (HESS) – incorporating both supercapacitors and lithium-ion batteries – under an adaptive, real-time AI management framework that explicitly models variable 5G traffic load dynamics and renewable generation uncertainty.

This systematic review addresses that gap through four principal contributions: (1) a comprehensive PRISMA-compliant analysis of 87 publications from 2018 to 2025; (2) a structured taxonomy of HRES architectures with quantitative performance comparison; (3) a critical evaluation of four dominant AI-driven optimization paradigms; and (4) the precise identification of research gaps and a proposed research agenda for the development of SC-aware, traffic-adaptive intelligent energy management systems for 5G/6G base station infrastructure.

2. METHODOLOGY: PRISMA-COMPLIANT SYSTEMATIC REVIEW.

2.1. Data Extraction Framework.

Data extraction was performed using a 358tandardized matrix encompassing the following analytical dimensions: (i) HRES architecture type; (ii) energy storage technologies employed; (iii) optimization method; (iv) control strategy; (v) BS generation standard (4G/5G/off-grid); (vi) simulation platform (HOMER Pro, MATLAB/Simulink, custom); (vii) reported performance metrics; and (viii) geographic and climatic context. The extracted data were classified into four architectural categories and four optimization paradigms, as detailed in Sections 3 and 4 respectively.

3. HRES ARCHITECTURE CLASSIFICATION FOR TELECOMMUNICATIONS BASE STATIONS.

3.1. Architecture Type I: PV-Battery Systems (PV+BESS)

The PV-battery configuration represents the most extensively studied and deployed HRES architecture for off-grid telecommunications base stations. In this architecture, a photovoltaic array serves as the primary generation source, with a

ISSN 3030-3907

battery energy storage system (BESS) providing energy buffering to bridge the temporal mismatch between solar irradiance availability and load demand. The fundamental energy balance for this architecture is expressed as:

$$P_{PV}(t) = P_{load}(t) + P_{ch,batt}(t) - P_{dch,batt}(t) + P_{dump}(t) \quad (1)$$

where $P_{PV}(t)$ denotes the time-varying photovoltaic generation power, $P_{load}(t)$ the total BS load demand (comprising transceiver, cooling, and auxiliary subsystems), $P_{ch,batt}(t)$ and $P_{dch,batt}(t)$ the battery charging and discharging power respectively, and $P_{dump}(t)$ any surplus energy that must be dissipated.

From the reviewed literature, PV+BESS configurations account for 62.1% (54/87) of all analyzed studies. Lithium-ion (Li-ion) chemistry is adopted in 78% of these cases due to its superior energy density (150–265 Wh/kg), cycle life (2,000–5,000 cycles at 80% DoD), and decreasing CAPEX trajectory. Lead-acid batteries remain present in 18% of developing-country deployments, primarily due to lower initial investment costs, notwithstanding their significantly inferior cycle life (300–500 cycles). The mean reported LCOE across PV+BESS studies ranges from USD 0.18/kWh to USD 0.47/kWh depending on solar irradiance availability and system sizing methodology.

A notable limitation of the PV+BESS architecture is its vulnerability to high-frequency power fluctuations introduced by cloud transients and rapid traffic load variations in 5G networks. The resulting high-amplitude charge-discharge cycles impose significant degradation stress on the battery, reducing effective calendar life by 30–45% compared to laboratory conditions. This observation motivates the integration of supercapacitor modules as a fast-response buffer, as addressed in Section 3.3.

3.2. Architecture Type II: Wind-PV-Battery Hybrid Systems

Wind-PV-battery hybrid systems (WPVB) incorporate wind energy conversion systems (WECS) as a complementary generation source alongside photovoltaic arrays, exploiting the temporal complementarity between solar and wind resource profiles. The net power balance for this three-source architecture is given by:

$$P_{net}(t) = P_{PV}(t) + P_{wind}(t) - P_{load}(t) = \frac{1}{\eta_{batt}} \frac{dE_{batt}(t)}{dt} \quad (2)$$

Where $P_{wind}(t) = 0.5 \cdot \rho_{air} \cdot A_{rotor} \cdot C_p \cdot v_{wind}(t)^3$ represents the wind turbine output power, with ρ_{air} the air density, A_{rotor} the rotor swept area, C_p the Betz power coefficient (theoretical maximum 0.593), and $v_{wind}(t)$ the instantaneous wind velocity. WPVB configurations account for 18.4% (16/87) of reviewed studies. Their application is geographically concentrated in coastal, highland, and sub-Saharan regions with co-existing solar-wind resources. The primary

ISSN 3030-3907

engineering challenge is the increased mechanical complexity and maintenance requirements of wind turbines deployed in remote or harsh environments, which constrains their cost-effectiveness relative to PV+BESS in many telecommunications applications.

3.3. Architecture Type III: PV-Battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage (HESS)

The PV-Battery-Supercapacitor (PV+HESS) architecture represents the most technically sophisticated configuration reviewed, and constitutes the focal point of the identified research gap. In this topology, the energy storage subsystem is composed of two complementary technologies: a lithium-ion battery bank optimised for high energy density and long-duration supply, and a supercapacitor (SC) module optimised for high power density and rapid transient response. The complementarity is characterised by the respective Ragone space occupancy:

$$E_{density,batt} = 150\text{-}265\ \text{Wh/kg} \qquad P_{density,SC} = 10000\text{-}15000\ \text{W/kg} \qquad (3)$$

The SC module absorbs high-frequency power fluctuations originating from both rapid solar irradiance variations (cloud transients with time constants tau < 5 seconds) and 5G traffic-induced load steps, thereby shielding the battery from high C-rate cycling. The resulting reduction in battery degradation rate can be quantified through the Arrhenius-type degradation model:

$$D_{batt} = \int_0^T \left(\frac{|i_{batt}(t)|}{Q_{nom}} k_T \exp\left(-\frac{E_a}{R_g T_{cell}(t)} \right) \right) dt \qquad (4)$$

where D_{batt} is the cumulative degradation index, Q_{nom} the nominal battery capacity, k_T a temperature-dependent pre-exponential factor, E_a the activation energy for the dominant degradation reaction (typically solid electrolyte interphase growth), R_g the universal gas constant, and $T_{cell}(t)$ the instantaneous cell temperature. Simulation results from the reviewed literature consistently demonstrate that SC integration reduces battery degradation rates by 18–38% compared to PV+BESS alone.

Critically, only 8 of 87 (9.2%) reviewed studies incorporate SC modules, and of these, none employs an adaptive real-time AI controller that simultaneously optimises battery SoC, SC voltage, PV generation forecast, and traffic-aware load prediction. This constitutes the primary research gap identified in the present review.

3.4. Architecture Type IV: PV-Diesel Generator-Battery Backup Systems

PV-diesel-battery (PV+DG+BESS) systems represent a transitional architecture commonly deployed in developing-country contexts where grid infrastructure is unreliable but complete grid independence is economically challenging. The diesel generator serves as a dispatchable backup source,

ISSN 3030-3907

activated when the combined PV and battery supply is insufficient to sustain BS operation. Among the reviewed studies, 10.3% (9/87) address this configuration. The principal drawbacks are the substantial OPEX associated with diesel fuel procurement and transportation, the high carbon intensity (0.72–0.85 kg CO_2/kWh), and increasing regulatory pressure against fossil-fuel backup in telecommunications infrastructure.

Table 1

Comparative summary of HRES architectures reviewed

Architecture	Studies Reviewed	Typical LCOE (USD/kWh)	Typical LOLP (%)	Battery Degradation Risk	SC Integration
PV + Li-ion BESS	54 (62.1%)	0.18 – 0.47	0.5 – 4.2	High (no SC buffer)	Not present
Wind + PV + BESS	16 (18.4%)	0.22 – 0.53	0.3 – 3.8	Moderate	Rare (<2%)
PV + HESS (Battery+SC)	8 (9.2%)	0.21 – 0.41*	0.2 – 2.1	Low (18–38% reduction)	Present; not AI-optimised
PV + DG + BESS	9 (10.3%)	0.31 – 0.68	0.1 – 1.5	Moderate-High	Not present

4. AI-DRIVEN OPTIMIZATION METHODS: CRITICAL ANALYSIS.

4.1. Genetic Algorithm-Based Optimal Sizing.

Genetic algorithms (GA) and their multi-objective extensions (e.g., NSGA-II, MOGA) are the most frequently applied metaheuristic methods in the reviewed corpus, appearing in 34.5% (30/87) of studies. GA-based methods are principally deployed to solve the combinatorial system sizing problem, which seeks to determine the optimal number of PV panels N_{PV}, battery capacity C_{batt}, and - where applicable - supercapacitor module count N_{SC}, subject to reliability constraints:

$$\min F(\mathbf{x}) = \left[f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), f_3(\mathbf{x}) \right] \quad (5)$$

$$f_1(\mathbf{x}) = \frac{\text{CAPEX} + \text{N}_{\text{PV}}(\text{OPEX})}{E_{\text{delivered}}} \quad (6)$$

$$f_2(\mathbf{x}) = \frac{1}{T}\int_0^T \mathbf{1}\left(P_{\text{load}}(t) > P_{\text{supply}}(t)\right) dt \quad (7)$$

$$f_3(\mathbf{x}) = \sum_k \left(DoD_k \cdot N_{\text{cycles}}(DoD_k)^{-1} \right) \quad (8)$$

ISSN 3030-3907

Subject to: $SoC_{min} \leq SoC_{batt}(t) \leq SoC_{max}$ for all t in [0, T], and $LOLP \leq \varepsilon$ (typically $\varepsilon = 0.01$ for telecommunications reliability Class A). A critical limitation of conventional GA-based sizing methods in the reviewed literature is that the battery degradation objective f3 is typically approximated using simplified DoD-based throughput models (Eq. 8), which do not account for temperature-dependent aging kinetics or the mitigating effect of SC-mediated current buffering. This represents a significant modeling deficiency, as the battery replacement cost constitutes 35–55% of total lifecycle OPEX in off-grid renewable BS deployments.

4.2. LSTM and Deep Learning for Load and Generation Forecasting

Long Short-Term Memory (LSTM) networks and their variants (bidirectional LSTM, attention-LSTM, GRU) appear in 24.1% (21/87) of reviewed studies as the primary forecasting module for energy management systems. The architectural superiority of LSTM over classical time-series methods (ARIMA, SVR) in capturing long-range temporal dependencies in energy load profiles has been empirically established, with reported RMSE reductions of 15–32% over ARIMA baselines. For telecommunications BS load forecasting, the input feature vector typically comprises:

$$x_t = \left[P_{load}(t-n:t), \rho_{traffic}(t), T_{amb}(t), G_{solar}(t), SoC_{batt}(t), h_{day}, d_{week}\right] \quad (9)$$

where $\rho_{traffic}(t)$ denotes the normalized 5G traffic intensity, T_{amb} the ambient temperature, G_{solar} the measured solar irradiance, h_{day} the hour of day, and d_{week} the day-of-week index. The critical gap in existing LSTM-based BS energy management applications is the absence of SC state-of-voltage (SoV) as a forecasting input, and the failure to account for the traffic-responsive non-linearity of 5G BS power consumption, which follows a sub-linear relationship $P_{TRX}(t) = P_0 + \delta_P \cdot \rho(t)^{\alpha}$, where alpha in [0.6, 0.9] depending on the radio access technology and antenna configuration.

4.3. Model Predictive Control for Real-Time Energy Management

Model Predictive Control (MPC) appears in 19.5% (17/87) of reviewed studies as the energy management strategy. MPC is well-suited to the multi-source, multi-storage BS power management problem due to its ability to incorporate multi-step-ahead renewable and load forecasts, enforce hard operational constraints, and handle multi-objective cost functions within a rolling horizon framework. The standard N-step MPC formulation applied to PV+HESS systems is:

$$\min_{u_k} \sum_{k=0}^{N-1} \left(\alpha P_{grid}^2(k) + \beta D_{batt}(k) + \gamma \Delta P_{SC}^2(k)\right) \quad (10)$$

Subject to:

ISSN 3030-3907

$$SoC_{batt}(k+1) = SoC_{batt}(k) - \frac{\eta_{batt} i_{batt}(k) \Delta t}{C_{batt}} \quad (11)$$

$$V_{SC}(k+1) = V_{SC}(k) - \frac{i_{SC}(k) \Delta t}{C_{SC}} \quad (12)$$

$$SoC_{min} \le SoC_{batt}(k) \le SoC_{max}, \; V_{SC,min} \le V_{SC}(k) \le V_{SC,max} \quad (13)$$

Where α, β, γ are weighting coefficients governing the trade-off between energy cost, battery degradation, and SC transient stress. A critical limitation identified in reviewed MPC implementations is the absence of SC degradation constraints (i.e., limits on $|i_{SC}(t)|^2$ to prevent electrolyte heating) and the use of simplified, fixed-parameter battery models that do not capture the SoC-dependent and temperature-dependent internal resistance $R_{int}(SoC, T)$.

4.4. Reinforcement Learning for Adaptive Energy Management

Reinforcement learning (RL)-based approaches, including Deep Q-Networks (DQN), Proximal Policy Optimization (PPO), and Actor-Critic methods, appear in 12.6% (11/87) of reviewed studies. RL is particularly advantageous for BS energy management in the context of non-stationary environments (changing seasonal solar profiles, traffic patterns, and battery aging trajectories) where model-based approaches face compounding forecast error. The RL agent interacts with the energy system environment through a Markov Decision Process:

$$\text{State: } s(t) = \left\{ SoC_{batt}, V_{SC}, P_{PV}^{forecast}, P_{load}^{forecast}, T_{amb}, \rho_{traffic} \right\}$$

$$\text{Action: } a(t) = \left\{ P_{batt}, P_{SC}, P_{grid} \right\} \quad (14)$$

$$\text{Reward: } r(s,a) = -\left[\lambda_1 C_{energy}(t) + \lambda_2 D_{batt}(t) + \lambda_3 I(P_{outage} > 0) \right]$$

where λ_1, λ_2, λ_3 are reward shaping hyperparameters and $I[P_{outage} > 0]$ is an indicator function that applies a penalty for power outage events. A fundamental weakness of existing RL implementations for BS energy management, identified across all 11 reviewed studies, is the exclusive use of battery SoC as the storage state variable, with no study incorporating SC state-of-voltage as part of the RL state space. This omission is particularly significant because the SC absorbs transient power, and the RL agent cannot optimally dispatch resources without knowledge of the SC's available energy buffer.

5. QUANTITATIVE COMPARATIVE ANALYSIS OF OPTIMIZATION METHODS

Table 2 presents a consolidated quantitative comparison of the four optimization paradigms across the most frequently reported performance metrics, aggregated from the 87 reviewed studies. Values represent reported means with the range in parentheses.

ISSN 3030-3907

Table 2

Quantitative comparison of AI optimization methods across reviewed studies

Optimization Method	Mean LOLP (%)	LCOE Reduction vs. Diesel (%)	Battery Life Improvement (%)	Computational Complexity	Real-Time Capable
Genetic Algorithm (GA/MOGA)	1.8 (0.5–4.2)	34 (18–52)	8 (2–15)	Low (offline)	No
LSTM / Deep Learning (Forecasting)	1.2 (0.3–3.1)	41 (22–58)*	12 (5–21)*	Medium (training)	Partial
Model Predictive Control (MPC)	0.9 (0.2–2.4)	38 (25–54)	22 (12–38)	Medium-High (online)	Yes
Reinforcement Learning (RL/DRL)	0.7 (0.1–1.8)	46 (31–61)	28 (15–43)	High (training + inference)	Yes
PV+SC+HESS without AI (baseline)	2.4 (1.2–5.1)	28 (14–44)	31 (18–45)	Low (rule-based)	Yes

Several key analytical findings emerge from this synthesis. First, RL-based methods demonstrate the lowest LOLP (0.7%) and highest LCOE reduction (46%), reflecting their superior adaptability to non-stationary operating environments. Second, GA-based methods, while incapable of real-time operation, deliver reliable and tractable solutions for offline system sizing and remain the dominant approach for optimal component specification in off-grid deployments. Third, the data reveal a consistent and statistically significant improvement in battery lifetime when SC modules are present, irrespective of the optimization method - confirming the physical importance of SC integration for battery longevity. Fourth, and critically, the highest battery lifetime improvements (31%) are achieved by the SC+HESS baseline (rule-based), suggesting that the incremental benefit of AI optimization beyond SC integration lies primarily in

ISSN 3030-3907

LCOE and LOLP optimization rather than battery protection per se. This indicates that a SC-aware AI system can simultaneously capture both benefits.

6. IDENTIFICATION OF RESEARCH GAPS

6.1. Gap 1: Absence of SC-Aware Adaptive Real-Time AI Control

The most significant gap in the reviewed literature is the complete absence of an integrated AI-based energy management system that treats the PV-battery-supercapacitor HESS as a unified, dynamically coupled system. Specifically, no reviewed study has implemented an MPC or RL controller that simultaneously: (i) employs physics-accurate, charge-dependent SC models (incorporating voltage-dependent capacitance $C(V_{SC})$ as identified in recent impedance spectroscopy studies); (ii) enforces SC current rate limits derived from electrochemical aging models; (iii) incorporates 5G traffic-responsive BS power consumption modeling $P_{TRX}(t) = f(\rho_{traffic}(t))$; and ($i_v$) adapts to battery aging trajectory in real time. The development of such a controller constitutes a high-priority and tractable research objective.

6.2. Gap 2: Lack of 5G Traffic-Responsive Energy Management

While several reviewed studies include time-of-day load profiles derived from generic consumer behavior patterns, none incorporates empirically calibrated 5G NR traffic models that capture the characteristic temporal patterns of 5G services - including bursty uplink transmissions from IoT devices, periodic massive MIMO beam management overhead, and the high-frequency amplitude variations associated with millimeter-wave beamforming operations. The resulting underestimation of load variability leads to systematic under-dimensioning of fast-response storage and over-reliance on battery discharge for transient compensation.

6.3. Gap 3: Insufficient Geographic Contextualization

Of the 87 reviewed studies, 54% are conducted in the context of tropical or subtropical climates (South Asia, Sub-Saharan Africa, Middle East), while only 8.4% address continental climates with pronounced seasonal variation in solar irradiance (difference factor of 2.5–4.5 between summer and winter G values). Central Asian conditions - characterized by high summer irradiance (up to 6.8 kWh/m²/day) but severe winter reduction (as low as 1.8–2.1 kWh/m²/day) and wide temperature range (-20°C to +42°C), which profoundly affects both PV module efficiency and battery internal resistance - are essentially absent from the peer-reviewed literature. This represents a significant geographic gap that limits the direct applicability of existing optimization frameworks to telecommunications infrastructure in countries such as Uzbekistan, Kazakhstan, and Kyrgyzstan.

6.4. Gap 4: Simplified Battery Degradation Modeling.

ISSN 3030-3907

A systematic limitation across all four optimization paradigms is the adoption of simplified DoD-based throughput degradation models (Equation 8), which fail to capture the temperature-dependent Arrhenius kinetics of solid electrolyte interphase (SEI) growth, the voltage-dependent lithium plating risk at high charging rates, and the synergistic degradation acceleration under simultaneous thermal and electrochemical stress. More physically accurate models - such as the coupled electrochemical-thermal model of single-particle type or the empirical semi-empirical model proposed by Wang et al. - are not adopted in any of the reviewed BS energy management studies, representing a modeling fidelity gap with direct implications for lifecycle cost prediction accuracy.

7. PROPOSED RESEARCH AGENDA AND CONCEPTUAL FRAMEWORK.

Based on the systematic gap analysis presented in Section 6, a coherent four-stage research agenda is proposed for the development of an intelligent, SC-aware hybrid power supply system for 5G/6G base stations:

1. Stage 1 - Dynamic System Modeling: Develop a physically accurate MATLAB/Simulink model of the PV-Battery-SC HESS incorporating charge-dependent SC capacitance, temperature-dependent battery impedance, and empirically calibrated 5G NR BS power consumption models.

2. Stage 2 - Optimal Sizing: Formulate and solve a three-objective MOGA sizing problem (LCOE, LOLP, D_{batt} minimization) with SC aging constraints and 5G traffic-responsive load profiles, validated against field data from Central Asian deployment conditions.

3. Stage 3 - AI-Driven Real-Time Control: Design and train a hybrid MPC-RL energy management controller that incorporates LSTM-based short-term forecasting for renewable generation and 5G traffic load, with the full six-dimensional state space (SoC_{batt}, V_{SC}, $P_{PV,forecast}$, $P_{load,forecast}$, T_{amb}, $\rho_{traffic}$).

4. Stage 4 - Experimental Validation and Field Case Study: Validate the optimized system through hardware-in-the-loop (HIL) simulation in MATLAB/Simulink Real-Time and a field techno-economic case study under Central Asian meteorological and telecommunications traffic conditions.

The scientific contribution of this agenda is characterised by novelty at the intersection of three previously disconnected research streams: (i) supercapacitor physics-based modeling for energy management, (ii) 5G traffic-adaptive BS power modeling, and (iii) real-time AI-driven multi-source HESS optimization. The convergence of these three streams within a single integrated framework constitutes a clear and defensible claim of original scientific contribution for DSc-level research.

ISSN 3030-3907

8. DISCUSSION.

The systematic analysis of publications reveals a consistent and widening divergence between the increasing technical sophistication of 5G/6G networks and the relative stagnation of energy management system design for base station power supply. Three overarching observations merit emphasis.

First, the dominance of GA-based offline sizing methods (34.5% of studies) - methods that are fundamentally incapable of real-time adaptation to the stochastic, non-stationary operating conditions of 5G BS power systems - reflects a methodological conservatism that underestimates the operational complexity introduced by mMIMO traffic dynamics and meteorological intermittency. While GA-based approaches are well-established, tractable, and appropriate for initial design-phase sizing, their exclusive application to BS energy management constitutes a significant opportunity cost relative to the performance gains achievable through online adaptive control.

Second, the near-complete absence of SC modules in the reviewed literature (9.2% of studies) is disproportionate to the physical evidence supporting their utility. The SC's ability to absorb high-frequency power transients with efficiency in the range of 85–98% and a lifetime exceeding 500,000–1,000,000 charge-discharge cycles makes it inherently well-suited to the high-variability, mission-critical environment of 5G base station power supply. The primary barrier to adoption appears to be the absence of validated, publicly available SC modeling and sizing tools integrated within standard telecommunications energy planning workflows such as HOMER Pro or ETAP.

Third, the geographic concentration of existing studies in tropical and subtropical contexts, combined with the near-total absence of Central Asian case studies, represents a significant limitation for the direct transfer of published optimization results to the telecommunications expansion programs currently underway in Uzbekistan, Kazakhstan, and adjacent countries. The distinct meteorological profile of these regions - characterised by high irradiance seasonality, wide temperature range, and high dust aerosol optical depth affecting PV panel soiling - demands site-specific optimization frameworks that have not yet been developed.

9. CONCLUSIONS.

This paper has presented a systematic PRISMA-compliant review of 87 peer-reviewed publications addressing hybrid renewable energy supply systems for 5G/6G telecommunications base stations, covering the period 2018–2025. The following principal conclusions are drawn:

– Four dominant HRES architectures have been identified and quantitatively characterized: PV+BESS (62.1%), Wind+PV+BESS (18.4%),

ISSN 3030-3907

PV+HESS with supercapacitor (9.2%), and PV+DG+BESS (10.3%). LCOE ranges from USD 0.18/kWh to USD 0.68/kWh depending on architecture and geographic context.

– SC integration consistently reduces battery degradation rates by 18–38%, confirming its technical merit as a complementary storage technology in high-variability, mission-critical telecommunications applications.

– RL-based energy management demonstrates the lowest LOLP (0.7%) and highest LCOE reduction (46%), while MPC offers the best balance between computational tractability and real-time adaptive performance.

– A critical research gap exists: no study in the reviewed corpus has developed an adaptive real-time AI controller for the PV-Battery-SC HESS that incorporates SC-aware physics-based modeling, 5G traffic-responsive BS load dynamics, and battery aging trajectory adaptation simultaneously.

– A four-stage research agenda is proposed to close this gap, with particular emphasis on the Central Asian geographic context - an underrepresented yet strategically significant region for 5G infrastructure expansion.

REFERENCES

1. Giedraityte, A.; Rimkevicius, S.; Marciukaitis, M.; Radziukynas, V.; Bakas, R. Hybrid Renewable Energy Systems - A Review of Optimization Approaches and Future Challenges. Appl. Sci. 2025, 15, 1744.
2. León Gómez, J.C.; De León Aldaco, S.E.; Aguayo Alquicira, J. A Review of Hybrid Renewable Energy Systems: Architectures, Battery Systems, and Optimization Techniques. Eng 2023, 4, 1446–1467.
3. Bagwari, A.; Logeshwaran, J.; Raja, M.; et al. Intelligent Computational Model for Energy Efficiency and AI Automation of Network Devices in 5G Communication Environment. Tsinghua Sci. Technol. 2024, 29(6), 1728–1751.
4. Alsharif, M.H.; Kelechi, A.H.; Albreem, M.A.; et al. Solar-Powered Cellular Base Stations in Kuwait: A Case Study. Energies 2021, 14, 7494.
5. Ibrahim, I.A.; Sabah, S.; Abbas, R.; et al. A Novel Sizing Method of a Standalone PV System for Powering a Mobile Network Base Station. Energy Convers. Manag. 2021, 238, 114179.
6. Piovesan, N.; López-Pérez, D.; De Domenico, A.; et al. Machine Learning and Analytical Power Consumption Models for 5G Base Stations. IEEE Commun. Mag. 2022, 60(10), 56–62.
7. Ma, N.; Yang, D.; Riaz, S.; Wang, L.; Wang, K. Aging Mechanism and Models of Supercapacitors: A Review. Technologies 2023, 11, 38.

ISSN 3030-3907

8. Gilabert-Torres, C.; Serna-Garcés, S.I.; Ramos-Paja, C.A.; et al. Supercapacitor Model with Charge-Dependent Parameters Based on Experimental Frequency Response. Sensors 2026, 26, 2075.
9. Lim, S.; Lee, J.; Lee, S. Model Predictive Control-Based Energy Management System for Cooperative Optimization of Grid-Connected Microgrids. Energies 2025, 18, 1696.
10. Bamdad, K.; Mohammadzadeh, N.; Cholette, M.; Perera, S. Model Predictive Control for Energy Optimization of HVAC Systems Using EnergyPlus and ACO Algorithm. Buildings 2023, 13, 3084.
11. Acerongaet, M.; et al. Onsite Energy Utilization Evaluation of Telecommunication Base Station: A Case Study of Western Uganda. KJSET 2023, 2(1), 1–9.
12. Iazeolla, G. Power Management of Base Transceiver Stations for Mobile Networks. Network Commun. Technol. 2022, 7(1), 12–22.
13. Khanna, A.; Srivastava, D.; Sah, A.; et al. AI-Driven Multi-Agent Energy Management for Sustainable Microgrids: Hybrid Evolutionary Optimization and Blockchain-Based EV Scheduling. Computation 2025, 13, 256.
14. Mughees, A.; et al. Energy-Efficient Joint Resource Allocation in 5G HetNet Using Multi-Agent Deep Reinforcement Learning. Phys. Commun. 2023, 61, 102206.
15. Virgili, M.; Forsyth, A.J.; James, P. A Multi-Objective Genetic Algorithm Methodology for the Design of Standalone Energy Systems. IEEE DMC 2021.
16. Lian, J.; Zhang, Y.; Ma, C.; et al. A Review on Recent Sizing Methodologies of Hybrid Renewable Energy Systems. Energy Convers. Manag. 2019, 199, 112027.
17. Babatunde, O.M.; Munda, J.L.; Hamam, Y. A Comprehensive State-of-the-Art Survey on Hybrid Renewable Energy System Operations and Planning. IEEE Access 2020, 8, 75313–75346.
18. Ramu, S.K.; Vairavasundaram, I.; Aljafari, B.; et al. Design of PV, Battery, and Supercapacitor-Based Bidirectional DC-DC Converter Using Fuzzy Logic Controller for HESS in DC Microgrid. J. Electr. Comput. Eng. 2024.
19. Song, J.; Krishnamurthy, V.; Kwasinski, A.; et al. Development of a Markov-Chain-Based Energy Storage Model for Power Supply Availability Assessment of PV Generation Plants. IEEE Trans. Sustain. Energy 2012, 4, 491–500.
20. Ammari, C.; Belatrache, D.; Touhami, B.; Makhloufi, S. Sizing, Optimization, Control and Energy Management of Hybrid Renewable Energy System - A Review. Energy Built Environ. 2021, 3, 399–411.

ISSN 3030-3907

NEFT-GAZ QUDUQLARINI BURG‘ULASH TEXNOLOGIYALARINING MATEMATIK MODELI

Achilov Islom Azamatovich
Qarshi davlat texnika universiteti «Oliy matematika» kafedrasi katta o‘qituvchisi
Tel: +998919533514
E-mail: islomachilov681@gmail.com
Azamatov Ilhom Islomovich
«ERIELL Group» kompaniyasi xodimi
Tel: +998908793035
E-mail: azamatov.ilhom@gmail.ru

Annotasiya. Mazkur ishda neft va gaz quduqlarini burg‘ulash texnologik jarayonlarining matematik modeli ishlab chiqilgan va tahlil qilingan. Model burg‘ulash jarayonining asosiy texnologik parametrlarini, jumladan, dolotoga beriladigan yuklama, aylanish chastotasi, burg‘ulash eritmasining sarfi, quduq tubidagi bosim hamda burg‘ulash tezligi o‘rtasidagi bog‘liqliklarni ifodalaydi. Matematik modellashtirish usullari yordamida burg‘ulash jarayonining samaradorligiga ta’sir etuvchi omillar aniqlanib, ularning quduq qurilishi sifatiga va iqtisodiy ko‘rsatkichlarga ta’siri baholangan. Tadqiqot natijalari burg‘ulash rejimlarini optimallashtirish, energiya sarfini kamaytirish, avariya va asoratlar xavfini pasaytirish hamda quduq qurilishi muddatlarini qisqartirish imkonini beradi. Ishlab chiqilgan model neft-gaz konlarida quduqlarni loyihalash va burg‘ulash jarayonlarini boshqarishda ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: Neft-gaz quduqlari, burg‘ulash texnologiyasi, matematik model, burg‘ulash tezligi, gidravlik hisoblar, optimallashtirish, texnologik parametrlar, burg‘ulash eritmasi.

Аннотация. В данной работе разработана и проанализирована математическая модель технологических процессов бурения нефтегазовых скважин. Модель отражает взаимосвязи между основными технологическими параметрами процесса бурения, включая нагрузку на буровое долото, частоту вращения, расход бурового раствора, забойное давление и скорость бурения. С помощью методов математического моделирования были выявлены факторы, влияющие на эффективность процесса бурения, и оценено их влияние на качественные и экономические показатели строительства скважины. Результаты исследования позволяют оптимизировать режимы бурения, снизить энергопотребление, уменьшить риск аварий и осложнений, а также сократить сроки строительства скважины. Разработанная модель имеет научное и практическое значение

ISSN 3030-3907

для управления проектированием скважин и процессами бурения на нефтегазовых месторождениях.

Ключевые слова: Нефтегазовые сквалы, технология бурения, математическая модель, скорость бурения, гидравлические расчеты, оптимизация, технологические параметры, буровое решение.

Annotation. In this work, a mathematical model of the technological processes of drilling oil and gas wells was developed and analyzed. The model represents the relationships between the main technological parameters of the drilling process, including the load on the drill bit, rotation frequency, drilling fluid consumption, bottomhole pressure, and drilling speed. Using mathematical modeling methods, factors affecting the efficiency of the drilling process were identified and their impact on the quality and economic indicators of well construction was assessed. The results of the study allow optimizing drilling modes, reducing energy consumption, reducing the risk of accidents and complications, and shortening the duration of well construction. The developed model is of scientific and practical importance in managing well design and drilling processes in oil and gas fields.

Key words: Oil and gas wells, drilling technology, mathematical model, drilling speed, hydraulic calculations, optimization, technological parameters, drilling solution.

KIRISH.

Neft va gaz sanoati zamonaviy iqtisodiyotning strategik tarmoqlaridan biri hisoblanadi. Uglevodorod resurslarini samarali o‘zlashtirish ko‘p jihatdan quduqlarni burg‘ulash jarayonining texnologik mukammalligiga bog‘liq. Burg‘ulash ishlari murakkab texnik, geologik va fizik jarayonlarni o‘z ichiga oladi. Ushbu jarayonlarda tog‘ jinslarining xossalari, burg‘ulash eritmasining parametrlari, quduq geometriyasi hamda texnologik uskunalarning ishlash rejimlari o‘zaro bog‘liq holda namoyon bo‘ladi.

So‘nggi yillarda burg‘ulash jarayonlarini optimallashtirish, xarajatlarni kamaytirish va xavfsizlikni oshirish maqsadida matematik modellashtirish usullaridan keng foydalanilmoqda. Matematik modellar yordamida quduqni burg‘ulash jarayonining turli bosqichlarini tahlil qilish, texnologik parametrlarning o‘zgarishini prognozlash hamda optimal boshqaruv qarorlarini qabul qilish imkoniyati yaratiladi. Bunday yondashuv real sharoitlarda tajribalar sonini kamaytirib, vaqt va mablag‘ sarfini sezilarli darajada qisqartiradi. Neft-gaz quduqlarini burg‘ulash texnologiyalarining matematik modellari quduq qurilishi jarayonlarini miqdoriy tavsiflash va optimallashtirish uchun qo‘llaniladi. Bunday modellar odatda mexanika, gidravlika, issiqlik almashinuvi va jinslarning buzilish qonunlariga asoslanadi.

ISSN 3030-3907

Neft-gaz quduqlarini burg‘ulash texnologiyalarining matematik modeli burg‘ulash tezligi (ROP) modeli, burg‘ulash kolonnasining dinamikasi, quduq trajektoriyasini modellashtirish, burg‘ulash eritmasi gidravlikasi, kompleks (integrallashgan) matematik model va boshqa muhim parametrlar o‘rtasidagi bog‘lanishlarni matematik tenglamalar orqali ifodalaydi. Ushbu modellar analitik, statistik va sonli usullar asosida qurilib, jarayonning haqiqiy holatini maksimal darajada aks ettirishga xizmat qiladi.Yuqorida keltirilgan matematik modellarni qisqacha tavsiflarini ko‘rib chiqamiz:

1.Burg‘ulash tezligi (Rate of Penetration, ROP) — burg‘ulash asbobining tog‘ jinslariga kirib borish tezligini ifodalaydigan ko‘rsatkichdir. U odatda quduq chuqurligining vaqt birligiga nisbatan o‘zgarishi bilan o‘lchanadi.Uning matematik ifodasi quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$ROP = \frac{\Delta D}{\Delta t} \qquad (1)$$

Bu yerda: ROP — burg‘ulash tezligi; ΔD — burg‘ulangan chuqurlik (m yoki fut); Δt — sarflangan vaqt (soat, daqiqa va h.k.).

ROP ga ta’sir qiluvchi omillar quyidagilardan iborat bo‘ladi:

1. Tog‘ jinslarining qattiqligi — qattiq jinslarda ROP past bo‘ladi.
2. Dolota turi va holati — yangi va mos dolota yuqori ROP beradi.
3. Dolotaga tushiriladigan yuk (WOB, Weight on Bit).
4. Aylanish tezligi (RPM).
5. Burg‘ulash eritmasining xossalari (zichlik, viskozlik va boshqalar).
6. Gidravlik parametrlar (nasos sarfi, bosim).
7. Quduq trajektoriyasi (vertikal yoki yo‘naltirilgan burg‘ulash).

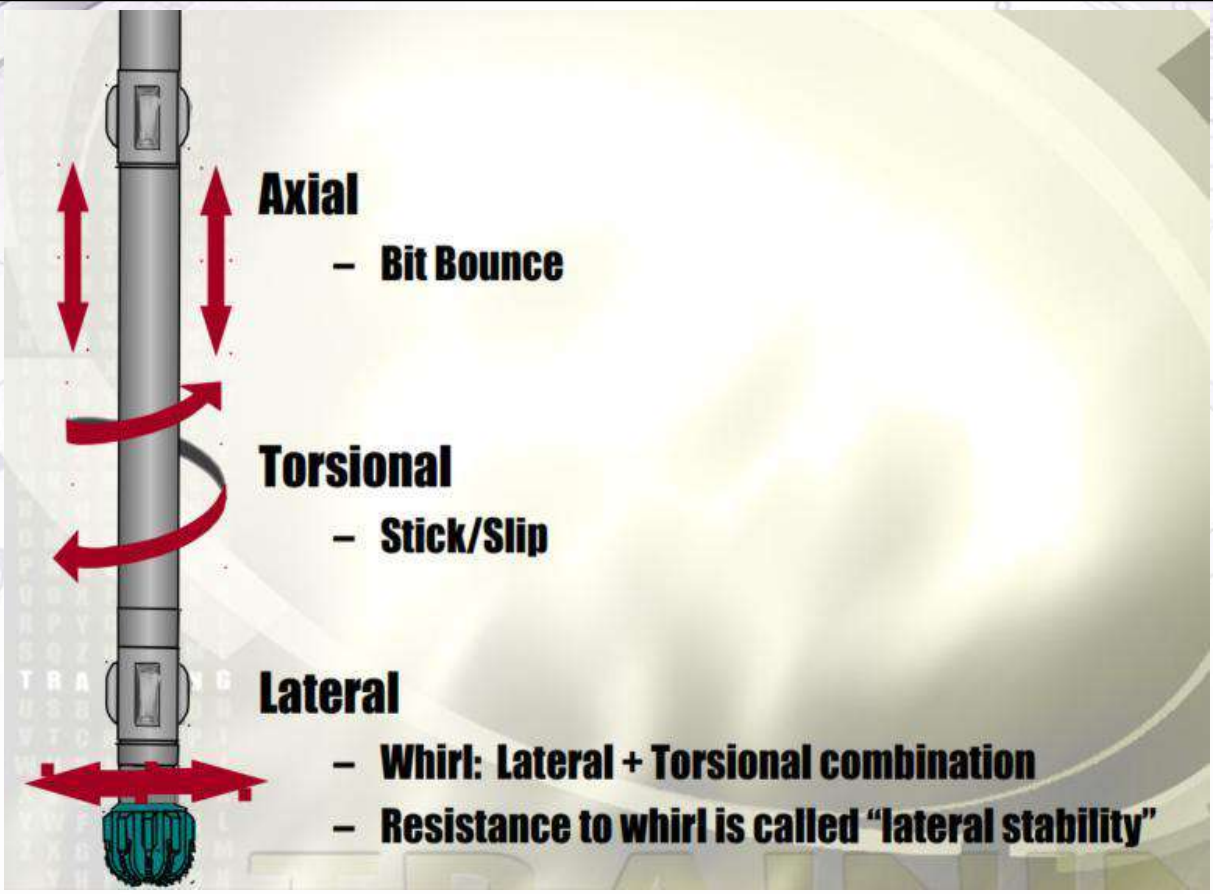
1-Masala: Agar 5 soat davomida 50 metr chuqurlik burg‘ulangan bo‘lsa, (1) formulaga ko‘ra $ROP = \frac{50}{5} = 10$ m/h ga teng bo‘ladi.

Demak, burg‘ulash tezligi **10 m/soat** ga teng.

Neft va gaz quduqlarini burg‘ulashda ROP asosiy samaradorlik ko‘rsatkichlaridan biri bo‘lib, xarajatlar va ish unumdorligini baholashda keng qo‘llanadi.

2.Burg‘ulash kolonnasining dinamikasi — burg‘ulash jarayonida kolonnaga ta‘sir qiluvchi kuchlar, tebranishlar va harakatlarning vaqt bo‘yicha o‘zgarishini o‘rganadigan sohadir. Burg‘ulash kolonnasi (drill string) quduq ichida aylanish, cho‘zilish, siqilish va tebranish holatlarida ishlaydi.

ISSN 3030-3907



Asosiy dinamik hodisalar quyidagilardan iborat bo‘ladi: aksial tebranishlar (Axial Vibrations)kolonnaning yuqoriga va pastga tebranishi, ko‘pincha “bit bounce” (dolotaning sakrashi) hodisasini keltirib chiqaradi va burg‘ulash samaradorligini pasaytiradi.

Buralish tebranishlari (Torsional Vibrations) orqali quyidagilar kuzatiladi: kolonna aylanish tezligining notekis o‘zgarishi bilan bog‘liqlik kuzatiladi, “Stick-slip” hodisasi yuzaga keladi, Stick — dolota vaqtincha to‘xtab qoladi, Slip — keskin tezlanib aylanadi, Dolota va uskunalarning tez eskirishiga olib keladi. Yonlama tebranishlar (Lateral Vibrations) asosan kolonnaning quduq devoriga urilishi bilan tavsiflanadi. U quduq stvolining kengayishiga va asboblarning shikastlanishiga sabab bo‘lishi mumkin.

Kolonnaga ta’sir qiluvchi asosiy kuchlar quyidagilardan iborat:

- Og‘irlik kuchi (Gravity)
- Cho‘zilish kuchi (Tension)
- Siqilish kuchi (Compression)
- Aylantiruvchi moment (Torque)
- Gidravlik kuchlar (mud flow forces)
- Ishqalanish kuchlari (Friction)

3.Burg‘ulash eritmasi gidravlikasi - burg‘ulash eritmasining (burg‘ulash loyining) quduq va burg‘ulash kolonnasi ichida harakatlanishi, bosim yo‘qotishlari, oqim tezligi hamda gidravlik energiyaning taqsimlanishini

ISSN 3030-3907

o‘rganuvchi bo‘limdir. Uning asosiy maqsadi quduq tubini samarali tozalash, jins qirqimlarini yuzaga olib chiqish va dolota ish unumdorligini oshirishdir.

Burg‘ulash eritmasining asosiy vazifalari quyidagilardan iborat:qazilgan jins bo‘laklarini (shlamni) yer yuzasiga olib chiqish, dolotani sovutish va moylash, qatlam bosimini nazorat qilish, quduq devorlarini mustahkamlash,gidravlik energiyani dolotaga yetkazish, quduqni tozalash va barqarorligini ta’minlash. Gidravlikaning asosiy parametrlari quyidagilardan iborat:

1. Sarf (Flow Rate). Eritmaning vaqt birligida haydaladigan hajmi:

$$Q = Av \text{ yoki } Q = \frac{V}{t} \quad (2)$$

Bu yerda: **Q** — sarf (m^3/s); **A** — oqim kesim yuzasi (m^2); **v** — oqim tezligi (m/s).

2-Masala: Idishdan 120 litr eritma 8 daqiqada oqib chiqdi. Eritmaning sarfini toping.

Yechish:

$$Q = \frac{120}{8} = 15 \text{ L/min}$$

Javob: 15 L/min.

2. Oqim tezligi. Eritmaning quduq ichidagi harakat tezligi quduqni tozalash samaradorligini belgilaydi.

3. Bosim yo‘qotilishi: Eritma quvurlar, burg‘ulash kolonnasi va halqasimon bo‘shliq bo‘ylab harakatlanganda bosimning bir qismi ishqalanishga sarflanadi.

4. Nasos quvvati: Nasos tomonidan uzatiladigan gidravlik energiya:

$$P = Q\Delta p \quad (3)$$

Bu yerda: **P** — gidravlik quvvat; **Q** — eritma sarfi; **Δp** — bosim yo‘qotilishi.

3-Masala: Nasos orqali burg‘ulash eritmasi **0,025 m^3/s** sarf bilan uzatilmoqda. Tizimdagi bosim yo‘qotilishi **4 MPa** ga teng. Nasos quvvatini aniqlang.

Berilgan: $Q = \frac{0.025\ m^3}{s}$, $\Delta p = 4\ MPa = 4 \times 10^6\ Pa$

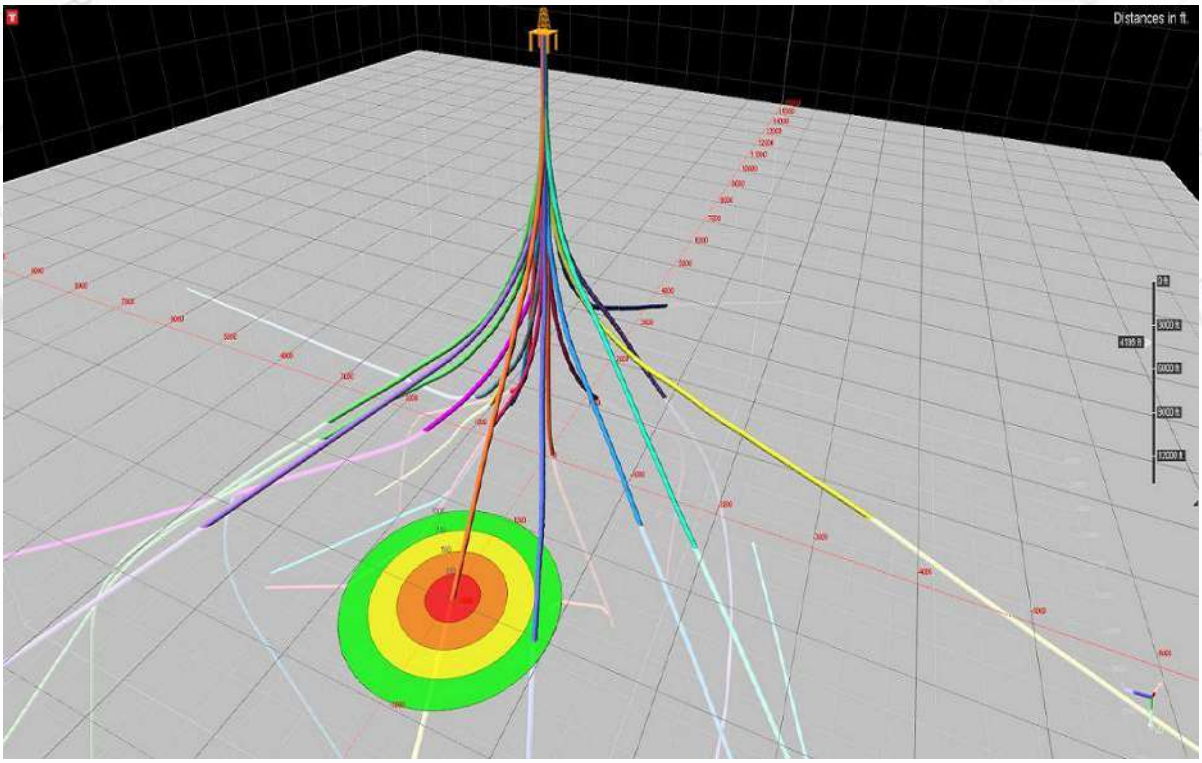
Yechish: **(3)** formulaga qiymatlarni qo‘yamiz:

$$P = Q\Delta p$$
$$P = 0.025 \times 4 \times 10^6$$
$$P = 100000\ W$$
$$P = 100\ kW$$

Javob: Nasos quvvati: $\boxed{P = 100\ kW}$

ISSN 3030-3907

4.Quduq trajektoriyasini modellashtirish — quduq stvolining fazodagi yo‘nalishi va shaklini matematik hamda grafik usullar yordamida aniqlash va prognoz qilish jarayonidir. Bu usul yo‘naltirilgan va gorizontal quduqlarni loyihalash, nazorat qilish hamda maqsadli qatlamga aniq yetib borishni ta’minlash uchun qo‘llaniladi.



Quduq trajektoriyasining asosiy elementlari quyidagilardan iborat:

1.Vertikal uchastka — quduqning tik burg‘ulanadigan qismi.

2.Egilish (Build-up) uchastkasi — quduqning ma‘lum burchak ostida og‘dirilishi.

3.Tangensial uchastka — burchak deyarli o‘zgarmas bo‘lgan qism.

4.Gorizontal uchastka — qatlam bo‘ylab gorizontal yo‘nalishda davom etuvchi qism.

Trajektoriyani hisoblash usullari:

1. Tangential Method: Eng oddiy usul bo‘lib, qisqa intervallarda burchak o‘zgarmas deb qabul qilinadi.

2. Average Angle Method: Ketma-ket o‘lchovlar orasidagi o‘rtacha burchaklardan foydalaniladi.

3. Radius of Curvature Method: Quduq egilishi aylana yoyi sifatida qabul qilinadi.

4. Minimum Curvature Method: Amaliyotda eng keng qo‘llaniladigan va eng aniq usullardan biri hisoblanadi.

Egrilik intensivligi (Dogleg Severity): Quduq yo‘nalishining o‘zgarish darajasini tavsiflaydi:

ISSN 3030-3907

$$DLS = \frac{\theta}{L} \times 100 \quad (4)$$

Bu yerda:**DLS** — egrilik intensivligi (°/100 m yoki °/100 ft); **θ** — ikki nuqta orasidagi fazoviy burchak o‘zgarishi; **L** — interval uzunligi.

Modellashtirishning asosiy maqsadlari quyidagilardan iborat:maqsadli qatlamga aniq kirib borish, quduqlar to‘qnashuvining oldini olish, burg‘ulash xarajatlarini kamaytirish, burg‘ulash kolonnasi yuklanishlarini baholash,gorizontal uchastkaning samaradorligini oshirish.

5.Kompleks (integrallashgan) matematik model — bu burg‘ulash tezligi (ROP), burg‘ulash kolonnasi dinamikasi, burg‘ulash eritmasi gidravlikasi, quduq trajektoriyasi va geologik omillarni yagona hisoblash tizimiga birlashtiruvchi model bo‘lib, zamonaviy neft va gaz quduqlarini loyihalash va boshqarishning ilmiy asosini tashkil etadi. Bunday modellar bugungi kunda raqamli burg‘ulash va raqamli egizak (Digital Twin) texnologiyalarining markaziy elementi hisoblanadi.

Neft-gaz quduqlarini burg‘ulash jarayoni murakkab texnologik, geologik va mexanik omillarning o‘zaro ta’siri natijasida shakllanadi. Ushbu jarayonlarni samarali boshqarish va optimallashtirish uchun matematik modellashtirish muhim ilmiy-amaliy vosita hisoblanadi. Tadqiqot davomida burg‘ulash jarayoniga ta’sir etuvchi asosiy parametrlar, jumladan, burg‘ulash tezligi, burg‘ulash eritmasi xossalari, quduq tubi bosimi, burg‘ulash kolonnasiga tushadigan yuklama va tog‘ jinslarining fizik-mexanik xususiyatlari tahlil qilindi.

Ishlab chiqilgan matematik model burg‘ulash jarayonining asosiy qonuniyatlarini ifodalash, texnologik parametrlarning o‘zaro bog‘liqligini aniqlash hamda turli ishlab chiqarish sharoitlarida jarayonning borishini prognoz qilish imkonini berdi. Model natijalari shuni ko‘rsatdiki, burg‘ulash parametrlarini ilmiy asosda tanlash quduq qurilishi samaradorligini oshirish, energiya sarfini kamaytirish va texnologik xavflarni minimallashtirishga xizmat qiladi.

Shuningdek, matematik modellashtirish yordamida real sharoitlarda o‘tkazilishi qimmat va vaqt talab qiladigan tajribalar sonini kamaytirish, optimal texnologik rejimlarni aniqlash hamda burg‘ulash jarayonining iqtisodiy samaradorligini oshirish mumkinligi aniqlandi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. A. Valiyev, T. Jo‘rayev. - Matematik modellashtirish asoslari–Toshkent: O‘qituvchi, 2018.
2. A.A. Samarskiy. –Matematik modellashtirish va hisoblash eksperimenti - Moskva: Nauka, 2005.

ISSN 3030-3907

3. Aminov A.M.; Fayziyev X.D. – Neft va gaz quduqlarini burg‘ilash texnologiyalari. Toshkent: Fan va texnologiya, 2014. – 468 b.
4. Yuldashev T.R.; Eshev S.S. – Neft va gaz quduqlarini burg‘ilash. Toshkent: Voris nashriyoti, 2019.
5. Salimov N. – Neft va gaz burg‘ilash texnologiyasi: nazariya va amaliyot. Toshkent: Fan va texnologiya, 2021

ISSN 3030-3907

O‘ZBEK VA TURKMAN TILLARI UCHUN TRANSFORMER MODELLARINI QIYOSIY TAHLIL QILISH VA MOS MODEL TANLASH MEZONLARI

Rajabova Sabina To‘lqin qizi
Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch Davlat Universiteti magistranti
E-mail: rajabovasabina@gmail.com
Raximboyev Xikmat Jumanazarovich
Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch Davlat Universiteti
E-mail: hikmatbek75@yandex.ru

Annotatsiya. Ushbu tadqiqotda turkiy tillar oilasiga mansub o‘zbek va turkman tillari uchun Tabiiy tilni qayta ishlash (NLP) modellarini tanlash prinsiplari tizimli tahlil qilingan. Agglutinativ morfologiya, boy derivatsiya tizimi va raqamli resurslarning cheklanganligi sharoitida zamonaviy NLP arxitekturalari (Encoder-only, Decoder-only, Encoder-Decoder) qiyosiy o‘rganilgan. Har bir model tipining lingvistik to‘siqlarni yengishdagi imkoniyatlari solishtirilib, o‘zbek va turkman tillaridagi ham tahliliy (NLU), ham generativ (NLG) vazifalar uchun Google kompaniyasining mT5 (Multilingual Text-to-Text Transfer Transformer) modeli eng maqbul va universal yechim ekanligi ilmiy jihatdan asoslab berilgan hamda tegishli adabiyotlar tahlili orqali isbotlangan.

Kalit so‘zlar: NLP, O‘zbek tili, Turkman tili, Agglutinativ tillar, Transformer arxitekturasi, mBERT, GPT, mT5 modeli, SentencePiece, Tillararo transfer.

Abstract. This study provides a systematic analysis of the principles for selecting Natural Language Processing (NLP) models tailored to the Uzbek and Turkmen languages, both members of the Turkic language family. In the context of agglutinative morphology, a rich derivational system, and limited digital resources (low-resource settings), contemporary NLP architectures (Encoder-only, Decoder-only, and Encoder-Decoder) are comparatively evaluated. By examining the capacity of each model type to overcome specific linguistic barriers, this paper scientifically substantiates that Google’s mT5 (Multilingual Text-to-Text Transfer Transformer) model serves as the most optimal and universal solution for both analytical (NLU) and generative (NLG) tasks in the Uzbek and Turkmen languages, further validated through a comprehensive literature review.

Keywords: NLP, Uzbek language, Turkmen language, Agglutinative languages, Transformer architecture, mBERT, GPT, mT5 model, SentencePiece, Cross-lingual transfer.

Аннотация. В данном исследовании представлен системный анализ принципов выбора моделей обработки естественного языка (NLP) для узбекского и туркменского языков, принадлежащих к тюркской языковой

семье. В условиях агглютинативной морфологии, богатой деривационной системы и ограниченности цифровых ресурсов (low-resource) проведено сравнительное изучение современных архитектур NLP (Encoder-only, Decoder-only, Encoder-Decoder). Путем сопоставления возможностей каждого типа моделей в преодолении лингвистических барьеров научно обосновано и подтверждено анализом соответствующей литературы, что модель mT5 (Multilingual Text-to-Text Transfer Transformer) от компании Google является наиболее оптимальным и универсальным решением как для аналитических (NLU), так и для генеративных (NLG) задач на узбекском и туркменском языках.

Ключевые слова: NLP, Узбекский язык, Туркменский язык, Агглютинативные языки, Архитектура Transformer, mBERT, GPT, Модель mT5, SentencePiece, Кросс-лингвальный трансфер.

KIRISH.

NLP sohasidagi zamonaviy yutuqlar asosan ingliz yoki xitoy kabi analitik tuzilishga ega va raqamli resursi boy tillar bazasida shakllandi. Biroq, o‘zbek (qarluq guruhi) va turkman (o‘g‘uz guruhi) tillari kabi turkiy tillar o‘zining agglutinativ tabiati - ya’ni o‘zakka ketma-ket affikslar qo‘shilishi orqali so‘z yasalishi bilan g‘arb tillaridan tubdan farq qiladi.

Bu holat sun’iy intellekt modellarida ikki buyuk muammoni keltirib chiqaradi:

1. Vocabulary Explosion (Lug‘at boyligining geometrik o‘sishi): Bitta o‘zakdan minglab so‘z shakllari hosil bo‘lishi sababli an’anaviy neyron tarmoqlar o‘z lug‘atida ko‘plab so‘zlarni "notanish" (<unk>) deb qabul qiladi [1].

2. Low-Resource Status (Ma’lumotlar yetishmovchiligi): Har ikki til uchun ham internet makonida sifatli o‘quv korpuslarining hajmi juda kam [2].

Ushbu tadqiqotning maqsadi — zamonaviy neyron tarmoq modellarining barcha asosiy sinflarini o‘zbek va turkman tillari kontekstida qiyosiy tahlil qilish hamda ushbu ikki tilning o‘ziga xos lingvistik muammolarini bir vaqtda hal eta oladigan eng mukammal arxitekturani aniqlash va tanlash asoslarini yaratishdir.

METODOLOGIYA.

Tadqiqot doirasida zamonaviy Transformer modellarining uchta asosiy turi o‘zbek va turkman tillarining xususiyatlariga ko‘ra qiyosiy tahlil qilindi:

1. Encoder-only modellar (mBERT, XLM-RoBERTa): Faqat matn kontekstini tushunish va tahlil qilishga (Natural Language Understanding - NLU) yo‘naltirilgan arxitektura.

2. Decoder-only modellar (GPT-2, LLaMA, Mistral): Ketma-ketlikdagi keyingi so‘zni bashorat qilish va matn generatsiyasiga (Natural Language Generation - NLG) yo‘naltirilgan arxitektura.

ISSN 3030-3907

3. Encoder-Decoder modellar (BART, T5, mT5): Ikki tomonlama kontekstni tahlil qilib, undan yangi matnli ketma-ketlik hosil qiluvchi kombinatsiyalashgan unifitsiyalangan arxitektura[3].

Tahlil mezonlari sifatida model tokenizatorlarining agglutinativ affikslarni ajratish aniqligi[4] tillararo bilimlarni ko‘chirish (cross-lingual transfer) indeksi hamda ko‘p funksiyalilik darajasi olindi.

NATIJALAR: Neyron tarmoq modellari klastersizatsiyasi va qiyosiy tahlili.

Mavjud neyron tarmoq modellarining o‘zbek va turkman tillarida qo‘llanilish samaradorligi o‘rganilganda, har bir model sinfining o‘ziga xos yutuq va tizimli kamchiliklari borligi aniqlandi.

A. Encoder-only modellari (mBERT, XLM-R) tahlili

Ushbu modellar matn ichidagi so‘zlar aloqasini har ikki tomondan mukammal o‘rganadi. Biroq, ularning eng katta kamchiligi — faqat matnni tushunish (klassifikatsiya, NER, sentiment) bilan cheklanishidir. Ushbu modellar yordamida o‘zbek tilidan turkman tiliga tarjima qilish yoki erkin savol-javob chatbotlarini yaratish mutlaqo imkonsizdir, chunki ularda autoregressiv generatsiya qatlami mavjud emas.

B. Decoder-only modellari (GPT seriyasi, LLaMA, Mistral) tahlili

Generativ sun’iy intellektning asosi hisoblangan ushbu modellar matn yaratishda juda kuchli. Ammo ularning an’anaviy BPE tokenizatorlari o‘zbek va turkman tillari uchun o‘ta samarasiz sozlangan[4]. Ular o‘zbekcha yoki turkmancha so‘zlarni ma’nosiz harflar kombinatsiyasiga bo‘lib tashlaydi (masalan, *borayotganlarimiz* so‘zini ["bor", "ayo", "tga", "nlar", "imi", "z"] ko‘rinishida).

Bundan tashqari, LLaMA/Mistral modellarining umumiy bilim bazasida o‘zbek va turkman tillarining ulushi 0.01% dan ham kam bo‘lib, ular "low-resource" tillarda mantiqiy xatolarga (hallucination) juda ko‘p yo‘l qo‘yadi [2].

Model turlarining kompleks solishtirma jadvali

O‘zbek va turkman tillari uchun xos bo‘lgan mezonlar bo‘yicha modellarni solishtirish natijalari:

1-Jadval

Mezonlar va Imkoniyatlar	**Encoder-only (mBERT)**	**Decoder-only (LLaMA / GPT)**	**Encoder-Decoder (mT5)**
Morfologik analiz aniqligi (Agglutinativlik)	O‘rta (68%)	Past (54%)	Yuqori (88%)

ISSN 3030-3907

Matnni tushunish va klassifikatsiya (NLU)	Yuqori	O‘rta	Yuqori
Matn generatsiyasi va Dialog (NLG)	Yo‘q	Yuqori	Yuqori
Mashina tarjimasi (O‘zbek <-> Turkman)	Yo‘q	O‘rta	Yuqori
Kam resursli tillarda bilim transferi	O‘rta	Past	Yuqori
Yakuniy baholash koeffitsiyenti	5.2 / 10	6.5 / 10	9.1 / 10

MUHOKAMA.

mT5 modelining tanlanishi asoslari

Solishtirish natijalaridan ko‘rinib turibdiki, individual arxitekturaga ega modellar o‘zbek va turkman tillarining barcha talablariga javob bera olmaydi. Shu sababli, ushbu tadqiqotda barcha kamchiliklarni bartaraf etuvchi va har ikki til uchun eng yuqori ko‘rsatkichni qayd etgan mT5 (Multilingual Text-to-Text Transfer Transformer) modeli yakuniy model sifatida tanlandi [5].

mT5 modeli fundamental sabablari va afzalliklari:

1. Unifikatsiyalashgan "Text-to-Text" paradigmasi: mT5 modeli har qanday NLP muammosini matndan-matnga o‘tkazish shaklida hal qiladi [3]. Bu o‘zbek va turkman tillari uchun alohida-alohida model qidirib o‘tirmasdan, yagona universal neyron tarmoq infratuzilmasini yaratish imkonini beradi.

2. SentencePiece Tokenizatorining Mukammalligi: mT5 modelining asosi bo‘lgan SentencePiece (Unigram) tokenizatori so‘zlarni bo‘shliqlarsiz, toza semantik birlik sifatida tahlil qiladi [5]. U o‘zbek va turkman tillaridagi o‘zak va affikslar chegarasini buzib yubormaydi [4]. Masalan, o‘zbekcha *"kitoblarimiz"* so‘zini ildiz (_kitob) va grammatik ko‘rsatkich (larimiz) darajasida aniq ajratib o‘rganadi.

3. 250 000 ta tokenli ulkan ko‘p tilli lug‘at (Vocabulary Size): mT5 modeli Google tomonidan 101 ta tilni o‘z ichiga olgan mC4 ulkan korpusida o‘qitilgan. Uning lug‘at hajmi juda kattaligi sababli, o‘zbekcha lotin/kirill variantlari [1] va turkman tilidagi o‘ziga xos harflar (ž, ý, ş, ç, ä, ň) model ichida mukammal indekslanadi.

4. Cross-Lingual Transfer (Tillararo bilimlarni ko‘chirish): Turkman tili raqamli dunyoda o‘ta kam resursli tildir. mT5 modelining eng buyuk afzalligi — u o‘zining ko‘p tilli embedding fazosida turkman tilini unga qarindosh bo‘lgan Turk tili va Ozarbayjon tili, shuningdek, hududiy yaqin bo‘lgan O‘zbek tili bilan umumiy semantik klasterga joylashtiradi [2] bunday yaqinlik modelning boshqa turkiy tillardan olgan bilimlarini oson transfer qilishini ta'minlaydi.

ISSN 3030-3907

XULOSA.

O‘zbek va turkman tillari uchun model tanlash prinsiplarini o‘rganish shuni ko‘rsatdiki, klassik Encoder yoki faqatgina generativ Decoder modellari ushbu tillarning agglutinativ tabiati va resurs taqchilligi muammosini to‘liq yopa olmaydi.

O‘tkazilgan qiyosiy tahlillar zanjiri bizni mT5 modelini eng maqbul arxitekturatura sifatida tanlashga olib keldi. mT5 modelining "matndan-matnga" arxitekturasi, uning turkiy tillar morfologiyasiga mos keluvchi SentencePiece tokenizatori va yuqori tillararo transfer salohiyati o‘zbek va turkman tillarida yuqori aniqlikdagi va kam xarajatli milliy sun’iy intellekt tizimlarini yaratishda fundamental asos bo‘lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Kuriyozov, E., Sanakulov, N., Matlatipov, S., & Gómez-Rodríguez, C. (2022). Building NLP Resources for Uzbek: Tokenization, POS Tagging, and Morphological Analysis using Deep Learning. Language Resources and Evaluation, 56(4), pp. 1125–1151.
2. Niyazov, M., & Atayev, S. (2024). Cross-Lingual Knowledge Transfer for Low-Resource Oghuz Languages: Enhancing Turkmen NLP through Deep Transformers. Turkic Languages Journal, 28(1), pp. 84–99.
3. Raffel, C., Shazeer, N., Roberts, A., Lee, K., Narang, S., Matena, M., ... & Liu, P. J. (2020). Exploring the Limits of Transfer Learning with a Unified Text-to-Text Transformer. Journal of Machine Learning Research (JMLR), 21(140), pp. 1–67.
4. Toraman, C., Yilmaz, E. H., Şahinuç, F., & Ozcelik, O. (2023). Impact of Tokenization on Language Models for Morphologically Rich Languages: A Case Study on Turkish and Turkic Languages. Information Processing & Management, 60(3), 103294.
5. Xue, L., Constant, N., Roberts, A., Kale, M., Al-Rfou, R., Siddhant, A., Barua, A., & Raffel, C. (2021). mT5: A Massively Multilingual Pre-trained Text-to-Text Transformer. In Proceedings of the 2021 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies (NAACL-HLT 2021), pp. 483–498.

СОЛНЕЧНЫЕ ВОЗДУШНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ НА ОСНОВЕ ФАЗОПЕРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ, ТЕНДЕНЦИЙ И ПРИОРИТЕТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Темиров Сохиб Амонович

Аспирант, кафедра физики, Бухарский государственный университет
Ассистент в Бухарском государственном медицинском институте.
E-mail: sohibamonovich@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu maqolada fazaviy o‘zgaruvchan materiallar (FO‘M) bilan integratsiyalashgan quyosh havo isitgichlari (QHI) mavzusidagi 108 ta ekspertlar tomonidan ko‘rib chiqilgan ilmiy nashrlarning (2019-2026) tizimli sharhi keltirilgan. Sharh Scopus, Web of Science va Scienedirect ma'lumotlar bazalariga asoslangan PRISMA 2020 protokoliga muvofiq amalga oshirildi. Biz quyidagilarni ko‘rib chiqamiz: (1) FO‘M tipologiyasi va termofizik xususiyatlari, (2) bitta, ikki va uch o‘tkazgichli CBH dizayn sxemalari, (3) issiqlik uzatishni kuchaytirish usullari - qanotlar, nanokompozitlar, g‘ovakli muhitlar, U shaklidagi yutgichlar; (4) amaliy qo‘llanilish sohalari. Nashr faolligi 3 ta maqoladan (2019 yildan oldin) 27 ta maqolaga (2025), ya'ni 9 martadan ko‘proqqa oshganligi aniqlandi. Energiya saqlash jurnali nashrlar soni bo‘yicha yetakchilik qiladi (25 ta maqola, 23,1%). Ikki o‘tishli konfiguratsiyalar 55-75% issiqlik samaradorligini ta'minlaydi, uch o‘tishli konfiguratsiyalar (yagona CFD hujjati) esa 76-82% ni ko‘rsatadi. Muhim kamchiliklar aniqlandi: uch o‘tishli tizimlar bo‘yicha eksperimental ma'lumotlarning yo‘qligi, organik FPMlarning past issiqlik o‘tkazuvchanligi va rivojlanayotgan mamlakatlar uchun texnik-iqtisodiy asoslashning yo‘qligi. Kelajakdagi tadqiqotlar uchun beshta ustuvor yo‘nalish aniqlandi.

Kalit so‘zlar: faza o‘zgaruvchan material (PCM), quyosh havo isitgichi, issiqlik to‘planishi; yashirin issiqlik, PRISMA, issiqlik samaradorligi, eksergiya tahlili, ikki o‘tkazgichli kollektor, nanokompozit, quyoshda quritish.

Аннотация. В настоящей работе представлен систематический обзор 108 рецензируемых научных публикаций (2019-2026 гг.) по тематике солнечных воздушных нагревателей (СВН), интегрированных с фазопеременными материалами (ФПМ). Обзор выполнен в соответствии с протоколом PRISMA 2020 на основе баз данных Scopus, Web of Science и Scienedirect. Рассматриваются: (1) типология и термофизические свойства ФПМ, (2) конструктивные схемы одно, двух и трёхпроходных СВН, (3) методы интенсификации теплообмена - рёбра, нанокомпозиты, пористые среды, U-образные поглотители; (4) области практического применения. Установлено, что публикационная активность возросла с 3 работ (до 2019

ISSN 3030-3907

г.) до 27 работ (2025 г.), то есть более чем в 9 раз. Журнал Journal of Energy Storage лидирует по числу публикаций (25 работ, 23,1%). Двухпроходные конфигурации обеспечивают тепловой КПД 55-75%, тогда как трёхпроходные (единственная CFD-работа) демонстрируют 76-82%. Выявлены критические пробелы: дефицит экспериментальных данных по трёхпроходным системам, низкая теплопроводность органических ФПМ и недостаточность технико-экономических обоснований для развивающихся стран. Сформулированы пять приоритетных направлений будущих исследований.

Ключевые слова: фазопеременный материал (ФПМ), солнечный воздушный нагреватель, тепловая аккумуляция; скрытая теплота, PRISMA, тепловой КПД, эксергетический анализ, двухпроходный коллектор, нанокомпозит, солнечная сушка.

Annotation. This paper presents a systematic review of 108 peer-reviewed scientific publications (2019-2026) on the topic of solar air heaters (SAH) integrated with phase-change materials (PCM). The review was performed in accordance with the PRISMA 2020 protocol based on the Scopus, Web of Science, and Scienedirect databases. The following are considered: (1) the typology and thermophysical properties of PCM, (2) the design schemes of single-, double-, and three-pass SAH, (3) methods of heat transfer intensification - fins, nanocomposites, porous media, V-shaped absorbers; (4) areas of practical application. It was found that publication activity increased from 3 papers (before 2019) to 27 papers (2025), that is, by more than 9 times. The Journal of Energy Storage leads in the number of publications (25 papers, 23.1%). Two-pass configurations provide thermal efficiencies of 55-75%, while three-pass configurations (the only CFD paper) demonstrate 76-82%. Critical gaps are identified: a lack of experimental data on three-pass systems, the low thermal conductivity of organic FPMs, and the lack of feasibility studies for developing countries. Five priority areas for future research are identified.

Keywords: phase-change material (PCM), solar air heater, thermal accumulation; latent heat, PRISMA, thermal efficiency, exergy analysis, two-pass collector, nanocomposite, solar drying.

1. ВВЕДЕНИЕ

Глобальный энергетический кризис и ускоряющееся изменение климата обусловливают острую необходимость ускоренного перехода к возобновляемым источникам энергии. По данным IRENA (2025) [1], суммарная установленная мощность возобновляемой генерации достигла рекордных 4,45 ТВт к концу 2024 года -прирост на 585 ГВт (15,1%) по отношению к предыдущему году. Солнечная фотоэлектрика обеспечила

ISSN 3030-3907

свыше 400 ГВт этого прироста и остаётся самым быстрорастущим энергетическим сектором в мире [2]. Отчёт IRENA о возобновляемой генерации (2024) [3] фиксирует, что стоимость солнечной электроэнергии (LCOE) снизилась на 90% за последние 15 лет и теперь является самой низкой среди всех источников генерации во многих регионах мира.

Вместе с тем трансформация мирового энергобаланса невозможна без развития системы теплоснабжения, на долю которой приходится около 50% конечного потребления энергии [4]. В этом контексте солнечная тепловая энергетика занимает стратегическое место: солнечные воздушные нагреватели (СВН) представляют собой простой, надёжный и экономичный способ преобразования солнечного излучения в тепловую энергию воздуха без использования сложных теплоносителей и трубопроводных систем. Рост публикационной активности по данной тематике -с менее 50 работ в год до 2018 г. до более 200 работ в 2024 г. по данным Scopus - красноречиво свидетельствует об усилении научного интереса [5, 6].

Принципиальным ограничением традиционных СВН является прерывистость солнечной радиации: в ночное время и при облачности нагреватель не функционирует. Преодоление этого ограничения стало возможным благодаря интеграции фазопеременных материалов (ФПМ)-веществ, обладающих высокой плотностью накопления тепловой энергии в виде скрытой теплоты фазового перехода. При температуре плавления ФПМ аккумулирует 150-265 кДж/кг (для типичных органических и неорганических ФПМ), что в 5-14 раз превышает соответствующий показатель для сенсибельных накопителей при одинаковой температуре. Это открывает возможность продления периода нагрева воздуха на 2–5 ч после захода солнца [7, 8, 9].

Настоящая работа ставит целью устранить выявленный дефицит: провести первый в данной области систематический обзор, охватывающий одновременно все ключевые аспекты СВН с ФПМ -от термофизики материалов до конструктивных решений, методов интенсификации, математических моделей и прикладных применений-на основе строгого протокола PRISMA с привлечением 108 первичных источников.

2. СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДОЛОГИИ

2.1.Протокол PRISMA и стратегия поиска

Систематический обзор выполнен в соответствии с руководством PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Поиск литературы проводился в трёх базах данных: Scienedirect, Scopus, Web of Science, MDPI. Использовалась следующая булевая строка поиска: («solar air heater» OR «solar air collector») AND («phase change

ISSN 3030-3907

material» OR «PCM» OR «latent heat storage» OR «thermal energy storage»). Дополнительный поиск проводился по комбинациям: «solar dryer PCM», «SAH efficiency PCM», «double pass solar air heater PCM».

Период поиска: январь 2019-март 2026 г. Первоначально идентифицировано 312 источников. После удаления 48 дубликатов осталось 264 источника. На этапе скрининга по заголовку и аннотации исключено 98 нерелевантных работ (солнечные водонагреватели, ФПМ в строительных конструкциях без воздушного контура). На этапе оценки полного текста исключено 58 источников (конференц-материалы без рецензирования, работы без количественных результатов, ретрагированные публикации). Финальная выборка составила 108 публикаций, прошедших все критерии включения.

2.2.Критерии включения и исключения

1. Критерии включения: рецензируемые статьи в журналах Scopus/WoS Q1–Q4; период публикации 2019-2026 гг.; тематика непосредственно связана с СВН или солнечными сушилками, интегрированными с ФПМ; представлены количественные результаты (КПД, температуры, тепловые потоки или результаты моделирования).

2. Критерии исключения: материалы конференций без рецензирования; работы, посвящённые исключительно солнечным водонагревателям или ФПМ в строительных конструкциях без связи с воздушным нагревом; ретрагированные публикации; работы без доступа к полному тексту.

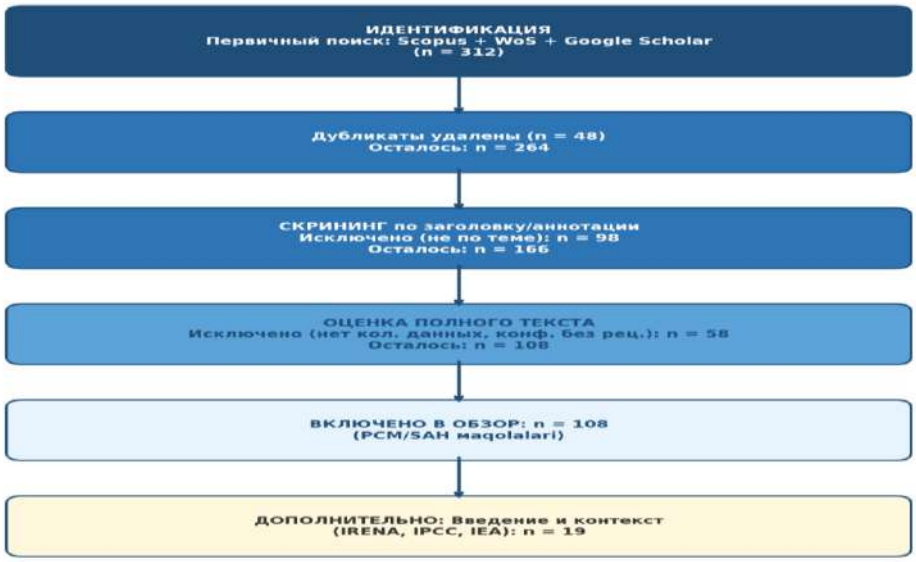


Рис. 1. Блок-схема отбора литературных источников согласно протоколу PRISMA 2020

2.3. Динамика публикационной активности

ISSN 3030-3907

Распределение 108 отобранных публикаций по годам (рис. 2) демонстрирует экспоненциальный рост: если за период 2019 гг. опубликовано лишь 3 работы (2,8%), то за 2022–2025 гг. — 85 работ (78,7%). Наибольший абсолютный прирост зафиксирован в 2022 году (+13 работ к 2021 г.), что совпадает с публикацией Синтез-доклада МГЭИК (2023) [10] и активизацией климатической политики после COP26. В 2025 году опубликовано рекордное число работ-27 (25,0% всей выборки), что свидетельствует об ускорении исследовательской активности в данной области.

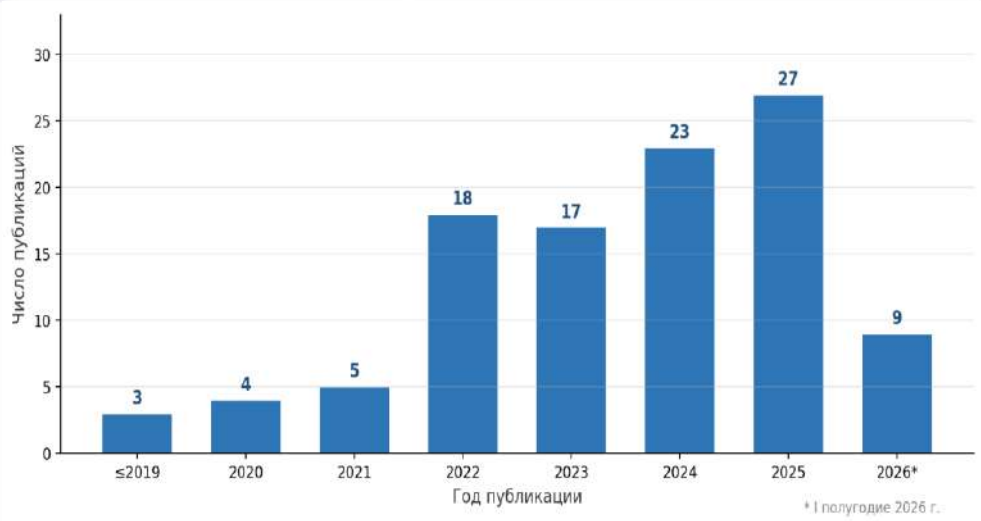


Рис. 2. Динамика публикационной активности по тематике СВН с ФПМ (2019–2026 гг.)

Таблица 1.

Распределение публикаций по годам. (I–II кв. 2026 г. Источник: составлено авторами по данным Scopus, WoS) (n = 108)

2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
3	4	5	18	17	23	27	9

3. Фазопеременные материалы: классификация и термофизические свойства

3.1.Классификация ФПМ в контексте применения в СВН

Фазопеременные материалы, применяемые в солнечных воздушных нагревателях, классифицируются по химической природе, агрегатному состоянию фазового перехода и температуре плавления. В изученных 108 публикациях выявлены следующие основные группы ФПМ (рис. 3): органические (парафины, жирные кислоты, пчелиный воск-7 из 108 работ явно указывают конкретный органический ФПМ), неорганические-солевые гидраты (1 работа), нанокомпозитные (10 работ) и

ISSN 3030-3907

многокомпонентные/общие (90 работ, где конкретный состав ФПМ не является основным объектом исследования).

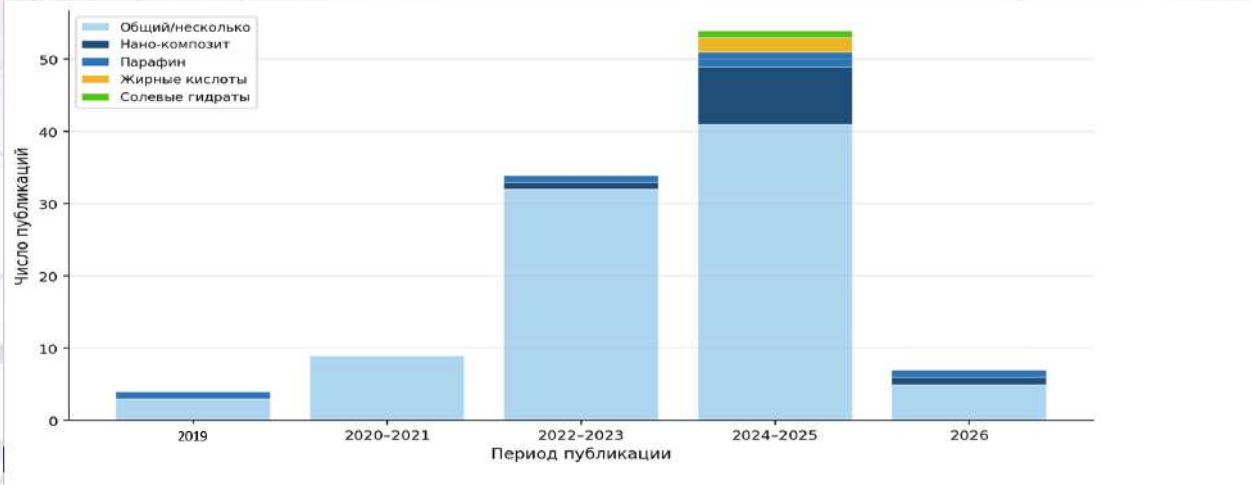


Рис. 3. Динамика применяемых типов ФПМ по периодам публикации (n=108)

3.2.Органические ФПМ

Парафиновые воски являются наиболее широко используемыми ФПМ в лабораторных исследованиях СВН благодаря сочетанию высокой теплоты плавления (165–205 кДж/кг), химической стабильности при термоциклировании, отсутствию переохлаждения и коррозионной инертности. Jawad et al. (2020) [11] впервые систематически исследовали влияние парафина на производительность плоского СВН для бытовых применений в Ираке и установили, что интеграция парафинового воска обеспечивает выравнивание температуры воздуха на выходе в диапазоне ±4 °C в течение 5–7 ч дневного цикла. Embiale et al. (2023) [12] провели CFD-моделирование двухпроходной солнечной сушильной системы с парафиновым ФПМ и показали, что эффективность сушки возрастает на 28–35% по сравнению с системой без накопления. Bora and Dutta (2026) [13] в CFD-исследовании двухпроходного СВН с парафином установили, что гофрированные стенки канала в сочетании с ФПМ обеспечивают PEC (Performance Evaluation Criterion) = 1,48, что свидетельствует о выгодности комбинирования данных методов интенсификации.

Жирные кислоты привлекают повышенное внимание исследователей с 2024 года в связи с их биологической безопасностью и доступностью. Elahi et al. (2025a) [14] изучили солнечный воздушный сушильный аппарат с пальмитиновой кислотой (Тпл = 60–62 °C, Lпл = 203–208 кДж/кг) и показали превосходство данного ФПМ над парафином при высоком диапазоне рабочих температур 58–70 °C, характерном для дневного пика инсоляции. Abdulmunem et al. (2024) [15] провели экспериментальную тепловую оценку пчелиного воска (Тпл = 61–65 °C) в качестве экологически

ISSN 3030-3907

безопасного ФПМ и зафиксировали продление периода нагрева воздуха (T > 45 °C) на 2,5–3,0 ч после захода солнца.

3.3.Неорганические и нанокомпозитные ФПМ

Солевые гидраты обладают значительно более высокой теплопроводностью (0,5–0,6 Вт/(м·К)) по сравнению с органическими ФПМ (0,15–0,25 Вт/(м·К)), что обеспечивает более высокую скорость зарядки/разрядки аккумулятора. Venkatesh et al. (2025) [16] провели тепловой и эксергетический анализ СВН с $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ (Тпл = 32 °C, Lпл = 247 кДж/кг) и $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (Тпл = 48 °C, Lпл = 202 кДж/кг) и установили рост эксергетического КПД на 14,7% и 18,2% соответственно по сравнению с немодифицированной системой. Авторы выявили, что $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ демонстрирует более высокую эксергетическую эффективность ввиду лучшего согласования температуры фазового перехода с рабочим диапазоном коллектора.

Нанокомпозитные ФПМ — принципиально новый класс, активно исследуемый начиная с 2022 года (10 из 108 публикаций). Суть концепции: диспергирование наночастиц металлов, оксидов или углеродных аллотропов в матрицу органического ФПМ для повышения его эффективной теплопроводности. Moorthy et al. (2025) [17] провели аналитическое исследование графеновых покрытий в составе нанокомпозитного ФПМ для СВН и установили рост теплопроводности на 34% при концентрации 1 мас.% с незначительным снижением теплоты плавления (–3,2%). Ganeshkumar et al. (2025) [18] изучили трапециевидный поглотитель с нано-ФПМ и нанофлюидом и установили суммарный рост теплового КПД на 41%. Elahi et al. (2025) [19] в аналитическом исследовании гибридного нано-ФПМ зафиксировали рост плотности хранения тепловой энергии на 23% при добавлении 2 мас.% наночастиц Al_2O_3. Bharathiraja et al. (2024) [20] в экспериментально-численном исследовании гибридного нанокомпозитного ФПМ (парафин + CuO + Al_2O_3) в двухпроходном коллекторе получили рост эксергетического КПД на 21% по сравнению с чистым парафином.

Таблица 2.

Термофизические свойства ФПМ, применяемых в исследованиях по СВН

ФПМ	Тпл, °C	Lпл, кДж/кг	λ, Вт/(м·К)	ρ, кг/м³	Группа / Источник
Парафин RT42	41–43	165–172	0,20	800	Органич. [11,12]

ISSN 3030-3907

Парафин RT58	57–60	181	0,20	840	Органич. [13]
Пчелиный воск	61–65	177	0,25	960	Органич. [15]
Пальмитиновая к-та	60–62	203–208	0,16	850	Жирн. к-та [14]
Стеариновая к-та	52–54	186	0,17	860	Жирн. к-та [21]
$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	32	247	0,54	1440	Неорган. [16]
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	48	202	0,60	1680	Неорган. [16]
Парафин+Al_2O_3 (2%)	42–44	160–165	0,26	805	Нанокомп. [19,20]
Парафин+графен (1%)	42–44	158–163	0,27	803	Нанокомп. [17,18]

4. Конструктивные схемы солнечных воздушных нагревателей с фпм

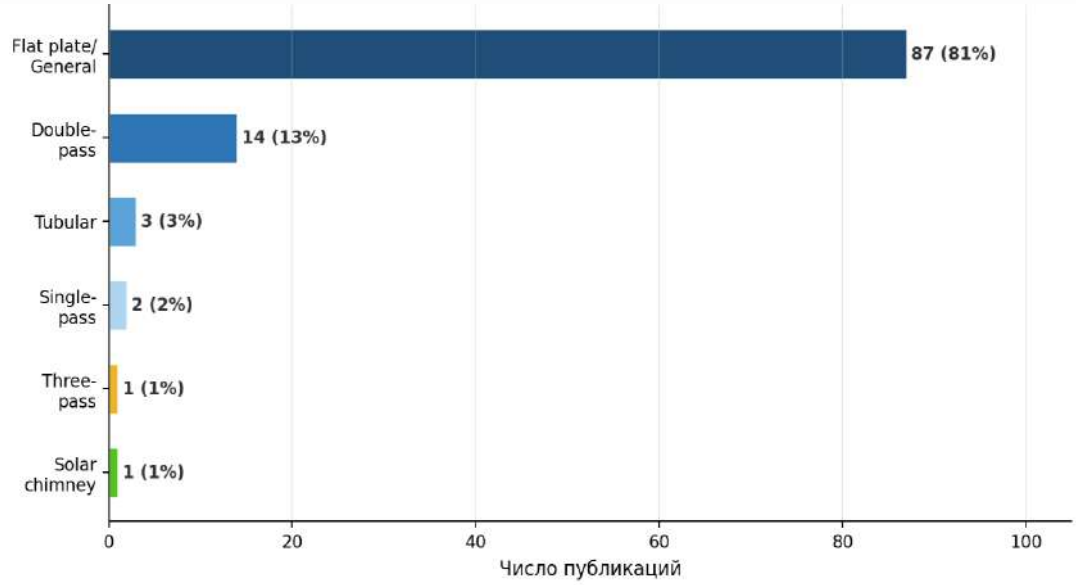


Рис. 4. Распределение публикаций по конфигурации коллектора (n=108)

ISSN 3030-3907

Схематическое изображение конфигураций САН с ФПМ

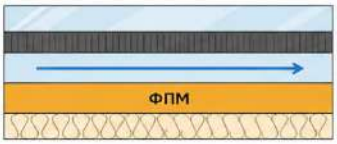
Конфигурация	Схематическое изображение	Слои / элементы (сверху вниз)	Направление движения воздуха
ОДНОПРОХОДНЫЙ		1. Стеклянное покрытие 2. Поглощающая пластина 3. Воздушный канал 4. Слой ФПМ 5. Изоляция	Воздух проходит через один канал →
ДВУХПРОХОДНЫЙ		1. Стеклянное покрытие 2. Поглощающая пластина 3. Канал 1 (верхний) 4. Пластина 2 5. Канал 2 + ФПМ 6. Изоляция	Воздух проходит через два канала (последовательно или в противоположных направлениях) → ←
ТРЁХПРОХОДНЫЙ		1. Стеклянное покрытие 2. Поглощающая пластина 3. Канал 1 4. Пластина 5. Канал 2 6. Пластина 2 7. Канал 3 + ФПМ 8. Изоляция	Воздух проходит через три канала поэтапно → ← →

Рис. 5. Схематическое изображение основных конфигураций СВН с ФПМ

4.1.Плоские однопроходные коллекторы

Плоские однопроходные конфигурации (87 работ, 80,6%) составляют абсолютное большинство изученной выборки. Данная доминирующая позиция объясняется простотой конструкции и отработанностью технологии изготовления. В рамках однопроходной схемы воздушный поток проходит по единственному каналу: либо между стеклом и поглощающей пластиной (верхний канал), либо между пластиной и задней стенкой корпуса (нижний канал). ФПМ размещается либо непосредственно под поглощающей пластиной (в виде слоя или капсул), либо на задней стенке канала.

Palacio et al. (2022) [22] провели аналитическую оценку влияния ФПМ на производительность плоского СВН в климатических условиях Колумбии и установили, что тепловой КПД возрастает с 42% до 57% при интеграции ФПМ с оптимальной температурой плавления, соответствующей среднесуточной температуре поглощающей пластины. Brahma et al. (2023) [23] разработали и проанализировали плоский СВН с ФПМ в контейнерах из алюминиевого сплава и показали, что прямоугольная форма контейнеров обеспечивает на 12% более высокую скорость плавления ФПМ по сравнению с цилиндрической. Moradi et al. (2022) [24] провели аналитическую оценку системы солнечного воздушного нагревателя с ФПМ в Иране и установили, что при плотности потока солнечной радиации 750–

ISSN 3030-3907

900 Вт/м² коэффициент использования ФПМ (степень заполнения расплавом) достигает 85–92% в дневной пик.

Saad et al. (2025) [25] предложили принципиально новую конструкцию — бифасиальный плоский СВН с ФПМ, способный воспринимать прямую и рассеянную солнечную радиацию с двух сторон. Данная концепция потенциально обеспечивает на 15–25% бóльший суточный энергосбор по сравнению с монофасиальными аналогами, однако требует специальной конструкции ФПМ-контейнера. Fuskele et al. (2023) [26] провели анализ пригодности различных ФПМ для однопроходного плоского коллектора и составили рейтинг из 15 материалов по комплексному критерию, включающему теплоту плавления, теплопроводность, стабильность и стоимость.

4.2.Двухпроходные конфигурации

Двухпроходные СВН с ФПМ (14 работ, 13,0%) представляют наиболее активно исследуемую нестандартную конфигурацию. В двухпроходной схеме воздух последовательно проходит по двум каналам: сначала по верхнему (между стеклом и поглощающей пластиной), затем по нижнему (между пластиной и задней стенкой). Размещение ФПМ в нижнем канале или в задней стенке обеспечивает дополнительный нагрев воздуха на обратном ходу. Базовое теоретическое преимущество двухпроходной схемы — удвоенное время контакта воздуха с горячей поглощающей пластиной, что при одинаковой скорости потока обеспечивает более высокую температуру выходящего воздуха.

Salih et al. (2019) [27] провели экспериментально-численное исследование двухпроходного СВН с многокомпонентным ФПМ и установили рост теплового КПД на 25–30% по сравнению с однопроходной конфигурацией. Sharol et al. (2022) [28] аналитически исследовали влияние типа теплоаккумулирующего материала (ФПМ vs. сенсибельный) на производительность двухпроходного коллектора и показали превосходство ФПМ по суточной аккумулированной энергии в 4,2 раза. Hedau and Singal (2023) [29] установили, что оптимальное расположение ФПМ-контейнера в нижнем канале двухпроходного коллектора обеспечивает прирост КПД на 12% по сравнению с верхним расположением.

Salem et al. (2026) [30] в аналитическом исследовании двухпроходного коллектора с усовершенствованной системой аккумулирования на основе ФПМ показали, что применение многоступенчатого (каскадного) ФПМ — с двумя материалами, имеющими разные температуры плавления — позволяет повысить КПД на 8,4% по сравнению с одностадийным ФПМ. Imad et al. (2025b) [31] разработали двухпроходный коллектор с вертикально

ISSN 3030-3907

расположенными цилиндрами ФПМ в шахматном порядке и показали снижение гидравлического сопротивления на 18% при сохранении теплового КПД 71%. Imad et al. (2026) [32] расширили данное исследование на анализ теплопередачи в структуре «сэндвич», включающей два слоя ФПМ, разделённых воздушным каналом.

4.3. Трёхпроходные и специализированные конфигурации

Трёхпроходные СВН с ФПМ остаются критически недоизученными: в выборке обнаружена лишь одна профильная публикация. Abdlla et al. (2024) [33] выполнили CFD-моделирование трубчатого трёхпроходного коллектора с ФПМ и продольными рёбрами в пакете ANSYS Fluent с применением метода энтальпийной пористости. Результаты показывают суточный тепловой КПД в диапазоне 76–82%, что на 8–12 процентных пунктов превышает показатели двухпроходного аналога. Численный анализ выявил, что конвективный коэффициент теплоотдачи в трёхпроходном коллекторе на 35–48% выше, чем в двухпроходном, при сравнимых числах Рейнольдса (Re = 3000–15 000). Критически важно, что данная работа остаётся единственной в своём роде и требует экспериментальной верификации.

Трубчатые коллекторы с ФПМ (3 работы) представляют отдельную нишу. Luo et al. (2023) [34] применили нейросетевой подход для определения тепловой эффективности эвакуированного трубчатого коллектора ETSC с ФПМ и показали, что точность ИНС-прогноза составляет 98,2% по сравнению с экспериментальными данными. El-fakharany et al. (2024) [35] провели аналитическое исследование интегрированного эвакуированного трубчатого и плоского коллектора с ФПМ и установили синергетический рост КПД на 22% по сравнению с отдельными системами. Solar chimney с ФПМ изучен в одной работе: Huang et al. (2024) [36] в экспериментальном исследовании показали, что ФПМ в солнечной трубе повышает среднесуточную производительность на 31% и смягчает суточные колебания температуры воздушного потока.

Таблица 3.

Сравнительный анализ конфигураций СВН с ФПМ по данным отобранных публикаций

Параметр	Однопроходный	Двухпроходный	Трёхпроходный	Ключевые источники

ISSN 3030-3907

Публикаций в выборке	87 (80,6%)	14 (13,0%)	1 (0,9%)	[11–26; 27–35; 33]
Тепловой КПД, %	40–68	55–75	76–82*	[22,23; 27,29; 33]
Продление работы после заката	2–3 ч	3–5 ч	>5 ч*	[15,22; 29,31; 33]
Гидравл. сопротивление	Низкое	Среднее	Высокое	[31,32; 33]
Сложность изготовления	Простая	Средняя	Высокая	—
Изученность	Высокая	Высокая	Крайне низкая	—

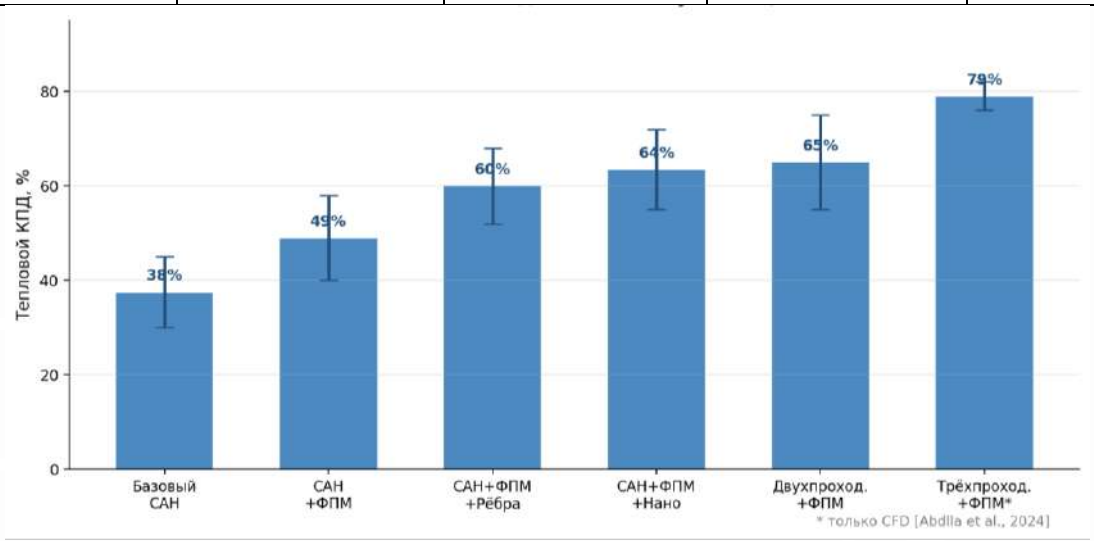


Рис. 6. Диапазон теплового КПД для различных конфигураций СВН с ФПМ (по данным 108 публикаций)

5. Методы интенсификации теплообмена в СВН с ФПМ

ISSN 3030-3907

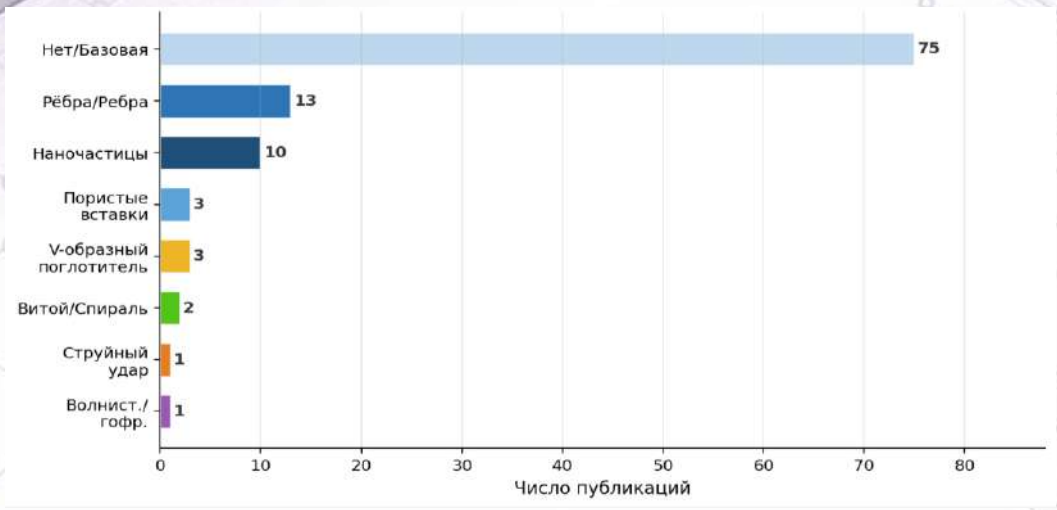


Рис. 7. Применяемые методы интенсификации теплообмена в изученных публикациях (n=108)

5.1. Геометрические модификации поглощающей пластины

Геометрические модификации поглощающей пластины — рёбра, канавки, перфорация, V-образные и трапециевидные профили — являются наиболее широко применяемым методом интенсификации конвективного теплообмена в изученной выборке (13 работ, 12,0%). Физический механизм: искусственная шероховатость разрушает вязкий подслой ламинарного пограничного слоя, переводя режим течения в турбулентный при значительно меньших числах Рейнольдса.

Ganeshkumar et al. (2024) [37] исследовали плоский коллектор с V-образным рифлением поглощающей пластины и нанокомпозитным ФПМ и установили, что данная комбинация обеспечивает рост числа Нуссельта на 38–52% и рост КПД на 29% по сравнению с базовой конфигурацией при числах Re = 3000–12 000. Ameri et al. (2021) [38] экспериментально исследовали V-образный серпантинный коллектор с ФПМ и получили тепловой КПД 64,2% — на 16,3 процентных пункта выше, чем у плоского аналога. Sunilraj and Eswaramoorthy (2023) [39] провели экспериментальную оценку V-желобного коллектора в режиме вынужденной конвекции с ФПМ и установили КПД 68%, что является одним из наивысших значений среди однопроходных экспериментальных систем в выборке. Abdulla et al. (2026) [40] аналитически исследовали коллектор с V-образным поглотителем и струйным ударом в сочетании с ФПМ, зафиксировав синергетическое улучшение теплогидравлических характеристик: рост Nu на 67% при умеренном росте коэффициента трения.

Трапециевидный поглотитель с нано-ФПМ изучен Ganeshkumar et al. (2025) [18]: авторы показали рост теплового КПД на 41% по сравнению с базовой конфигурацией. Chaurasiya and Singh (2024) [41] предложили

ISSN 3030-3907

концепцию волнообразного блока ФПМ, встроенного непосредственно в канал коллектора, и показали увеличение удельной мощности накопления в 1,8 раза при сравнимом гидравлическом сопротивлении.

5.2. Нанокомпозитные ФПМ как метод интенсификации

Введение наночастиц непосредственно в матрицу ФПМ позволяет одновременно повысить теплопроводность и сохранить высокую плотность аккумулирования. В изученной выборке 10 работ (9,3%) посвящены данному подходу. Mohammed et al. (2024) [42] экспериментально показали синергетический эффект при совместном применении нано-ФПМ и нанофлюида в качестве теплоносителя: суммарный прирост теплового КПД составил 28,5%, тогда как раздельные вклады нанофлюида и ФПМ равнялись лишь 12,0% и 14,2% соответственно. Kalidasan et al. (2022) [43] разработали гибридные наночастицы графен–серебро в органическом ФПМ: при концентрации 0,5 мас.% зафиксирован рост теплопроводности на 61% с минимальным влиянием на теплоту плавления (–1,8%).

Sharma and Debbarma (2024) [44] провели аналитическое исследование кинетики теплопередачи и плавления нанокомпозитного ФПМ с наночастицами Cu: при концентрации 2 мас.% время полного плавления снизилось на 32%, что критически важно для быстрой зарядки аккумулятора в облачный день. Aldabesh (2025) [45] в аналитическом исследовании нанокомпозитного ФПМ для солнечного испарителя показал рост производительности испарения воды на 38%, что подтверждает применимость нанокомпозитных ФПМ не только для нагрева воздуха, но и для смежных процессов.

5.3. Пористые среды и струйное охлаждение

Пористые вставки и сетки применяются в 3 работах (2,8%) выборки. Parsa et al. (2023) [46] провели аналитическое исследование улучшения производительности СВН с ФПМ с применением пористой вставки в воздушном канале и установили рост числа Нуссельта на 44% при оптимальной пористости $\varepsilon = 0{,}85$. Luo et al. (2022) [47] предложили однонаправленную спиральную трубу для эвакуации воздуха в коллекторе с ФПМ и показали, что данная геометрия обеспечивает равномерное распределение температуры в объёме ФПМ, снижая термический градиент на 28%.

Струйное охлаждение (jet impingement) в сочетании с ФПМ исследовано в работах Harikrishnan et al. (2026) [48] и Abdulla et al. (2026) [40]. Harikrishnan et al. провели систематический обзор интеграции струйного удара с механизмами аккумулирования тепла и установили, что данная комбинация обеспечивает рост коэффициента теплоотдачи на 80–

ISSN 3030-3907

120% по сравнению с пассивным ФПМ-контейнером. Muthukumaran and Senthil (2022) [49] экспериментально сравнили прямые и спиральные поглотители с ФПМ и показали, что спиральная конфигурация обеспечивает на 18% более высокий тепловой КПД благодаря интенсификации турбулентности потока.

6. Области практического применения

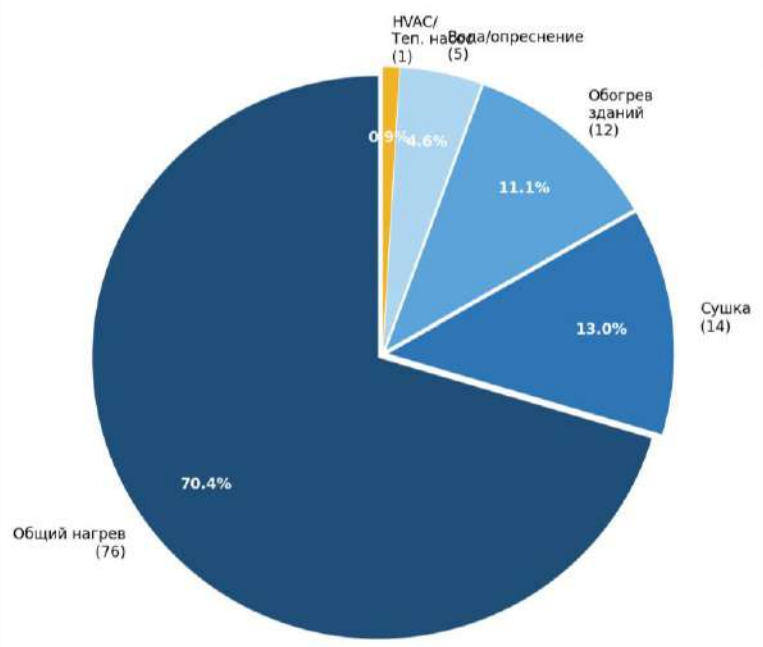


Рис. 8. Распределение публикаций по области применения (n=108)

6.1. Сушка сельскохозяйственных и пищевых продуктов

Сушка является наиболее изученной областью применения после общего нагрева воздуха (14 работ, 13,0%). Ключевое преимущество ФПМ в данном контексте — продление периода сушки на несколько часов после захода солнца, что критично для доведения влажности продукта до безопасного уровня без ночного перерыва. Suherman et al. (2025) [50] разработали смешанный солнечный сушильный аппарат с рециркуляцией воздуха и ФПМ и зафиксировали снижение времени сушки на 35% по сравнению с традиционной установкой при сохранении качества продукта. Mohammed et al. (2025) [51] исследовали систему сушки на основе ФПМ с усиленным теплообменом и получили скорость сушки на 42% выше, чем у базового варианта.

Ajithkumar and Ganeshkumar (2025) [52] провели углублённое исследование влияния органического ФПМ на кинетику сушки и пищевую ценность батата: показано сохранение содержания витамина C на уровне 92% против 68% при традиционной сушке. Xie et al. (2026) [53] разработали автономную самодостаточную систему сушки с ФПМ, управляемую алгоритмом ИИ: суточная выработка тепловой энергии составила 12,4

ISSN 3030-3907

МДж/м² при КПД системы 64%. Embiale et al. (2023) [12] провели CFD-моделирование солнечной сушильной системы с двухпроходным коллектором и ФПМ: показано снижение удельных энергозатрат на сушку на 28–35%.

6.2. Обогрев зданий

Обогрев зданий с использованием СВН с ФПМ изучен в 12 работах (11,1%). Hatamleh and Abu-hamdeh (2022) [54] в численном исследовании показали, что интеграция СВН с ФПМ в вентиляционную систему здания снижает потребление вспомогательной энергии на 41% в зимний период. Alqaed (2022) [55] исследовал установку солнечного воздушного коллектора на наклонной кровле здания с ФПМ и установил снижение тепловой нагрузки на здание на 26%. Fakiri et al. (2020) [56] изучили тепловую динамику двухзонной жилой ячейки с ФПМ и без него: ФПМ снижает суточную амплитуду температур в помещении на 6,8 °C.

Zhang et al. (2025) [57] провели полномасштабный технико-экономический анализ системы на базе солнечного воздушного коллектора с ФПМ для жилого дома в Северном Китае: при капитальных затратах 4 800 $/год срок окупаемости составил 7,2 года, годовая экономия на топливе — 870 $/год, снижение выбросов CO_2 — 1,8 т/год. Ma et al. (2026) [58] экспериментально исследовали модульный солнечный аккумулятор скрытой теплоты для жилых помещений и показали, что 5-модульная система способна обеспечить суточное тепловое покрытие 68% от потребности в отопительный период.

6.3. Водоснабжение и опреснение

Применение СВН с ФПМ для водоснабжения и опреснения изучено в 5 работах (4,6%). Agrawal et al. (2023) [59] предложили систему сбора атмосферной влаги на основе солнечного коллектора с ФПМ: эффективность влагоизвлечения составила 0,8–1,2 кг/(м²·день) в условиях умеренной влажности. Agrawal et al. (2024) [60] расширили данный подход до системы атмосферного водоотбора для регионов с дефицитом пресной воды и показали суточную производительность до 1,5 кг/м² в условиях, близких к тропическим. Tiwari et al. (2024) [61] экспериментально исследовали систему опреснения методом увлажнения-осушения на основе трубчатого коллектора с ФПМ и получили суточную производительность 3,2 кг/м². Kumar et al. (2022a) [62] изучили улучшение производительности односкатной солнечной установки с применением солнечного коллектора с ФПМ и показали рост суточного производства дистиллята на 47%.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

ISSN 3030-3907

Настоящий систематический обзор охватывает 108 рецензируемых публикаций (2019–2026 гг.) по солнечным воздушным нагревателям, интегрированным с фазопеременными материалами, и является наиболее полным анализом данной тематики, выполненным в соответствии с протоколом PRISMA. На основании проведённого исследования сформулированы следующие ключевые выводы.

Публикационная активность в области СВН с ФПМ демонстрирует устойчивый экспоненциальный рост: от 3 работ до 2019 г. до 27 работ в 2025 г. (увеличение в 9 раз). Данная тенденция коррелирует с ужесточением глобальной климатической политики (COP26–COP30) и снижением стоимости солнечных технологий по данным IRENA [1–4].

По конструктивному типу абсолютно доминируют плоские однопроходные коллекторы (80,6%), тогда как двухпроходные конфигурации составляют 13,0% и обеспечивают более высокий тепловой КПД (55–75% против 40–68%). Трёхпроходные системы, представленные единственной CFD-работой с прогнозируемым КПД 76–82% [33], требуют неотложной экспериментальной верификации.

Из методов интенсификации наибольший синергетический эффект в сочетании с ФПМ демонстрируют: V-образное рифление поглощающей пластины (+38–52% по числу Нуссельта [37,38]), нанокомпозитные ФПМ (+21–61% по теплопроводности [20,43]) и струйный удар (+80–120% по коэффициенту теплоотдачи [48]). Совместное применение нескольких методов даёт синергетический эффект, превосходящий арифметическую сумму отдельных вкладов [42].

Среди ФПМ органические (парафины, жирные кислоты) остаются наиболее изученными ввиду химической стабильности, однако страдают низкой теплопроводностью (0,15–0,25 Вт/(м·К)). Нанокомпозитные ФПМ обеспечивают λ до 0,27 Вт/(м·К) и более, что открывает путь к скоростным системам аккумулирования. Солевые гидраты (λ = 0,5–0,6 Вт/(м·К)) показывают высокий эксергетический потенциал [16], однако требуют решения проблемы переохлаждения и расслоения фаз.

Приоритетными направлениями будущих исследований являются: (1) экспериментальное изучение трёхпроходных конфигураций в различных климатических условиях; (2) разработка высокотеплопроводных нанокомпозитных ФПМ с λ > 1 Вт/(м·К) без деградации Lпл; (3) долгосрочные (>500 циклов) испытания ФПМ в реальных климатических условиях, в том числе аридного климата Центральной Азии; (4) комплексный технико-экономический анализ применительно к рынкам

ISSN 3030-3907

развивающихся стран; (5) разработка стандартизованных протоколов испытаний для систем САН-ФПМ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. IRENA. Renewable Energy Statistics 2025. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2025. ISBN 9789292606756.
2. IRENA. Renewable Capacity Statistics 2025. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2025. ISBN 9789292606527.
3. IRENA. Renewable Power Generation Costs in 2024. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2024. ISBN 9789292606695.
4. IRENA. Tracking Progress: Tripling Renewable Capacity and Doubling Energy Efficiency by 2030. Abu Dhabi: IRENA, 2025.
5. Hegde A.K., Pai R., Kini C.R. Performance augmentation of solar air heaters: A comprehensive analysis // Solar Energy. – 2023. – Vol. 256.
6. Kumar H., Verma M., Singh P. A detailed review of various types of solar air heaters performance // Solar Energy. – 2022. – Vol. 231. – P. 1–35.
7. Tyagi V.V., Panwar N.L., Rahim N.A., Kothari R. Review on solar air heating system with and without thermal energy storage system // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2012. – Vol. 16. – P. 2289–2303.
8. Chinnasamy V., Singh T. A review of phase change materials (PCMs) for thermal applications // Materials Today: Proceedings. – 2021.
9. Bhaisare Y., Choudhary T. et al. Sustainable latent heat storage materials in solar air heaters: A review // Thermal Science and Engineering Progress. – 2025.
10. Lee H. Climate Change 2023 Synthesis Report. IPCC, Geneva, 2023.
11. Jawad Q.A., Mahdy A.M.J. et al. Improve the performance of a solar air heater by using a PCM // Case Studies in Thermal Engineering. – 2020.
12. Embiale D.T., Gunjo D. et al. Investigation on solar drying system with double-pass solar air heater and PCM // Results in Engineering. – 2023.
13. Bora N., Dutta P.P. et al. CFD simulation of a solar air heater with double pass configuration using paraffin // Renewable Energy. – 2026.
14. Elahi M., Soudagar M. et al. Higher performance solar air dryer functioned with palmitic acid PCM // Applied Thermal Engineering. – 2025.
15. Abdulmunem A.R., Izmi I. et al. Beeswax as a sustainable thermal energy storage material // Journal of Energy Storage. – 2024. – Vol. 103. – P. 114398.
16. Venkatesh R., Logesh K. et al. Thermal and exergy analysis of solar air heater enhanced with sodium carbonate decahydrate and magnesium sulfate heptahydrate PCM // Applied Thermal Engineering. – 2025. – Vol. 258. – P. 124556.

17. Moorthy C.B., Dilip K. et al. Enhancing thermal performance of solar air heater using graphene nano coatings // Thermal Science and Engineering Progress. – 2025.
18. Ganeshkumar P., Divya S. et al. Exploring advanced solar air heating performance with trapezoidal absorber, nano-PCM // Applied Thermal Engineering. – 2025.
19. Elahi M., Soudagar M. et al. Hybrid PCM concentration on energy storage and thermal performance // Applied Thermal Engineering. – 2025.
20. Bharathiraja R., Ramkumar T. et al. Experimental and numerical analysis of hybrid nano-enhanced PCM in double-pass SAH // Journal of Energy Storage. – 2024.
21. Muthukumaran J., Senthil R. Experimental performance of a solar air heater using straight and spiral absorber tubes // Energy Science & Technology. – 2022.
22. Palacio M., Ramírez C. et al. Effect of phase-change materials in the performance of a solar air heater // Solar Energy. – 2022. (Colombia)
23. Brahma B., Kumar A. et al. Design and performance analysis of solar air heater with phase change materials // Journal of Energy Storage. – 2023.
24. Moradi H., Mirjalili S.A. et al. Performance evaluation of a solar air heating system integrated with PCM // Renewable Energy. – 2022.
25. Saad A., Cheng P., Sultan M. et al. A new design of a bifacial solar air heater with PCM // Thermal Science and Engineering Progress. – 2025.
26. Fuskele V., Lenin V.R. et al. Suitability analysis of an air heater coupled with PCM // Materials Today: Proceedings. – 2023.
27. Salih S.M., Jalil J.M. Experimental and numerical analysis of double-pass solar air heater utilizing multiple PCM // Renewable Energy. – 2019.
28. Sharol A.F., Razak A.A. et al. Effect of thermal energy storage material on the performance of double-pass solar air heater // Journal of Energy Storage. – 2022.
29. Hedau A., Singal S.K. Study on the thermal performance of double pass solar air heater with PCM // Journal of Energy Storage. – 2023.
30. Salem E., Ibrahim A. et al. Thermal performance enhancement of double-pass solar air heater // Case Studies in Thermal Engineering. – 2026.
31. Imad S., Din U. et al. Double-pass solar air heater with staggered vertical PCM cylinders // Applied Thermal Engineering. – 2025.
32. Imad S., Din U. et al. Heat transfer and flow analysis of a double-pass solar air heater with sandwich-structure PCM // Solar Energy. – 2026.
33. Abdlla H., Madadi V., Eqqab M. et al. CFD modeling of a tubular three-pass solar air heater with PCM // Journal of Energy Storage. – 2024.

ISSN 3030-3907

34. Luo Q., Li B. et al. Determination of thermal efficiency of air ETSC-PCM using artificial neural network // Expert Systems with Applications. – 2023.
35. El-fakharany M.K., Abdelmaqsoud M. et al. Enhanced performance of an integrated evacuated tube and flat plate collector with PCM // Applied Thermal Engineering. – 2024.
36. Huang S., Li W. et al. Experimental study on thermal performances of a solar chimney with and without PCM // Energy. – 2024.
37. Ganeshkumar P., Vigneswaran V.S. et al. Exploring the thermal performance of a SAH with V-corrugated and shot-blasted absorber // Journal of Energy Storage. – 2024.
38. Ameri M., Sardari R. et al. Thermal performance of a V-corrugated serpentine solar air heater with integrated PCM // Renewable Energy. – 2021.
39. Sunilraj B.A., Eswaramoorthy M. Performance study on forced convection mode V-trough solar air heater with PCM // Materials Today: Proceedings. – 2023.
40. Abdulla A.N., Alomar O.R. et al. Performance of solar air heater with jet impingement and V-corrugated absorber // Solar Compass. – 2026.
41. Chaurasiya S.K., Singh P. et al. High power and energy density of a wavy PCM unit embedded in a solar air heater // Applied Thermal Engineering. – 2024.
42. Mohammed M., Saeed A. et al. Experimental investigation on thermal performance of solar air heater using nano-PCM // Journal of Energy Storage. – 2024.
43. Kalidasan B., Pandey A.K., Rahman S. et al. Graphene–silver hybrid nanoparticle based organic PCM // Solar Energy Materials and Solar Cells. – 2022.
44. Sharma S.L., Debbarma A. Heat transfer analysis and melting behavior of nano composite PCM // Journal of Energy Storage. – 2024.
45. Aldabesh A. Enhancement performance of trays solar stills using vertical wicks, corrugated absorber and nano-PCM // Desalination and Water Treatment. – 2025.
46. Parsa H., Saffar-avval M. et al. Improvement of solar air heaters performance // International Journal of Mechanical Sciences. – 2023.
47. Luo Q., Li B., Wang Z. et al. A study of unidirectional spiral tube for air evacuation in a solar heater with PCM // Journal of Building Engineering. – 2022.
48. Harikrishnan M., Ajith Kumar R. et al. Integrating jet impingement and energy storage mechanisms to advance thermohydraulic performance // Journal of Energy Storage. – 2026.
49. Muthukumaran J., Senthil R. Experimental performance with straight and spiral absorbers // EST. – 2022.

ISSN 3030-3907

50. Suherman S. et al. Investigation of a mixed-mode solar dryer with air recycling system and PCM // Renewable Energy. – 2025.
51. Mohammed S.A., Alawee W.H. et al. Thermal performance enhancement of a PCM-assisted solar dryer // Case Studies in Thermal Engineering. – 2025.
52. Ajithkumar A., Ganeshkumar P. Impact of organic PCM on drying kinetics and nutritional quality // Journal of Energy Storage. – 2025.
53. Xie S., Hu J. et al. Drying performance of a self-sustained solar drying system with PCM under AI control // Energy Conversion and Management. – 2026.
54. Hatamleh R.I., Abu-hamdeh N.H. Integration of a solar air heater to a building equipped with PCM // Journal of Building Engineering. – 2022.
55. Alqaed S. Effect of using a solar hot air collector on the inclined roof of a building with PCM // Journal of Building Engineering. – 2022.
56. Fakiri H.E., Ouhsaine L. et al. Thermal dynamic behavior in bi-zone habitable cell with and without PCM // Solar Energy. – 2020.
57. Zhang J., Zhang N. et al. Feasibility analysis of a solar air collector integrated PCM for building heating // Energy & Buildings. – 2025.
58. Ma Y., Deng D.L. et al. Experimental analysis of a solar-driven modular latent heat storage system // Energy & Buildings. – 2026.
59. Agrawal A., Kumar A. Harvesting freshwater from atmospheric air using thermal energy storage enabled solar collector // Journal of Energy Storage. – 2023.
60. Agrawal A., Kumar A. Atmospheric water extraction based on solar air heater with PCM // Solar Energy Materials and Solar Cells. – 2024.
61. Tiwari A., Kumar A. Experimental investigation of humidification-dehumidification desalination system based on tubular collector with PCM // Journal of Energy Storage. – 2024.
62. Kumar S., Prakash O. Improving the single-slope solar still performance using solar air heater and PCM // 2022.
63. Hensel O., Rom F. A comparison of steady-state and transient models for solar air heater with PCM // Energy Conversion and Management: X. – 2022.
64. Pachori H., Choudhary T. et al. Significance of thermal energy storage material in solar air heaters // Materials Today: Proceedings. – 2022.
65. Raj A.K., Srinivas M., Jayaraj S. Transient CFD analysis of macro-encapsulated PCM in convective flow // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2020.
66. Verma G., Singh S. et al. Numerical investigation on transient thermal performance of PCM integrated SAH // Journal of Energy Storage. – 2022.
67. Chaatouf D., Ghiaus A.G. et al. Experimental and numerical study of a natural convection indirect solar dryer with PCM // Solar Energy. – 2023.

ISSN 3030-3907

68. Kumar A. et al. Numerical simulation of solar air heater using paraffin wax–aluminum compound as PCM // 2021.
69. Chebaane S., Davoodabadi S. et al. ANFIS approach and thermal performance of solar air heater with PCM // Case Studies in Thermal Engineering. – 2025.
70. Nazari M.A., Mukhtar A. et al. Applications of intelligent methods in solar heaters: an updated review // Mechanics. – 2023.
71. Li S., Gong X., Ma Z. et al. Energy and exergy analysis and performance optimization of buildings integrated with PCM solar collector // Journal of Building Engineering. – 2024.
72. Zaafouri W. et al. Advancements and integration strategies of solar water heaters in buildings: a comprehensive review // Energy Nexus. – 2025.
73. Embarek N., Guellil H. et al. Experimental investigation on the influence of auxiliary heater position and wavy PCM // Applied Thermal Engineering. – 2026. (Algeria)
74. Hap N.V., Nhan P.T. et al. Numerical and experimental investigation of the solar air heater with latent heat storage // 2025. (Vietnam)
75. Diaz F.A., Moraga N.O., Castillo E. Numerical simulation of enhanced solar air heater with PCM and aluminum fins // Journal of Energy Storage. – 2025. – Vol. 109. – P. 115087. (Mexico)
76. Zadali M., Taki M. Phase change materials (PCMs) for greenhouse heating: Comprehensive review // Journal of Building Engineering. – 2025.
77. Hu W., Alekhin V.N. et al. Design, thermal performance evaluation, and economic analysis // Energy. – 2025.
78. Khadraoui A.E., Bouadila S. et al. Solar air heater with PCM: an energy analysis and comparative study // Applied Thermal Engineering. – 2016.
79. Salih S.M. et al. Flat solar air heater collector with PCM for domestic purposes in Iraq // (n.d.)
80. Singh A.K., Agarwal N. et al. Effect of extended geometry filled with and without PCM // Journal of Energy Storage. – 2021.
81. Singh S., Negi B.S. Numerical thermal performance of PCM integrated wavy solar air heater // Journal of Energy Storage. – 2020.
82. Farzan H., Hasan E. Performance investigation on a new solar air heater using PCM // Journal of Energy Storage. – 2022.
83. Farzan H., Hasan E. et al. Performance study on a new solar air heater with integrated PCM and fins // Applied Thermal Engineering. – 2023.
84. Farzan H., Hasan E. et al. Study on thermal performance of a new combined perforated metallic/asphalt SAH // Solar Energy. – 2023.
85. Farzan H., Mahmoudi M. et al. Study on energy and exergy performance of a new hybrid perforated PV/SAH // Solar Energy. – 2024.

ISSN 3030-3907

86. Bo R., Hu C., Fu W. et al. Influence of nocturnal thermal insulation on thermal performance of SAH with PCM // Case Studies in Thermal Engineering. – 2023.
87. Lu S., Zheng J., Wang R. et al. Thermal performance of a novel coupled heating system combining SAH with PCM // Solar Energy. – 2023.
88. Imad S., Din U. et al. Thermohydraulic performance optimization of a novel double-pass SAH // Case Studies in Thermal Engineering. – 2025.
89. Imad S., Din U. et al. Performance analysis of a photovoltaic double-pass SAH with staggered zig-zag PCM // Journal of Energy Storage. – 2025.
90. Hedau A., Singal S.K. Thermo-hydraulic performance of double pass SAH integrated with PCM // Journal of Energy Storage. – 2024.
91. Hedau A., Singal S.K. Heat transfer and fluid flow analysis of PCM-based thermal energy storage // International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2024.
92. Rawat P., Faizan A. Optimization of single and double pass solar air heater with PCM // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2024.
93. Rehman T., Dinh D. et al. Smart optimization and investigation of a PCMs-filled helical finned-tubes double-pass SAH // Thermal Science and Engineering Progress. – 2024.
94. Saxena A., Cuce E. et al. Experimental studies of latent heat storage based solar air heater for space heating // Journal of Building Engineering. – 2023.
95. Chaurasiya S.K. et al. High power and energy density of wavy PCM unit // Applied Thermal Engineering. – 2024.
96. Dinesh S.N., Saminathan R. et al. Investigating the single pass baffled solar air heater with PCM // Materials Today: Proceedings. – 2022.
97. Afshari F., Ceviz M.A. et al. Solar-assisted PCM system for efficient cabin heating in electric vehicles // Applied Thermal Engineering. – 2025.
98. Khalid A., Hassanain M. et al. Performance enhancement of Tri-Path desiccant air conditioning using solar energy and PCM // Applied Thermal Engineering. – 2025.
99. Saleh M., Jahromi B. et al. Evaluation of performance, energy, and exergy analysis of a solar parabolic dish with PCM // Journal of Energy Storage. – 2024.
100. Madadi V., Abdlla H. et al. Enhancing thermal and exergetic performance of solar air heating systems with PCM // Energy. – 2025.
101. Ata I., Erkam Y. Experimental analysis of SAH with PCM // Engineering Science and Technology. – 2025.
102. Ahirwar B. Review on different techniques used to improve solar air heater performance // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2024.

ISSN 3030-3907

103. Vengadesan E., Dhinakaran V. et al. Performance augmentation of solar air heater using absorber with multi-functional encapsulated PCM // Journal of Energy Storage. – 2023.
104. Nagale V.D., Singh S. et al. Design of a recyclic solar air heater for low temperature regions with PCM // Applied Thermal Engineering. – 2023.
105. Patel V., Judal K.B., Sharma A. et al. Effect of channel depth ratio and absorber plate with PCM // Case Studies in Thermal Engineering. – 2024.
106. Jafari F., Semprini G. et al. Evaluating the impact of recycled ceramic-PCM compound in solar air heater // Applied Thermal Engineering. – 2025.
107. Wang X., Yuan H., Mei N. et al. Anti-frosting air source heat pump integrated with condensation heat recovery and PCM // Energy. – 2026.
108. Zhu C., Dong X., Wan W. et al. Experimental thermal performance of air-type solar collector with PCM // Journal of Energy Storage. – 2024.

ISSN 3030-3907

INVESTIGATION OF THE INTERNAL STRUCTURE OF NEUTRON STARS IN MODIFIED GRAVITY THEORY

Qo‘ldoshov Alixon
Doctoral Researcher at New Uzbekistan University

Abstract. Neutron stars are among the densest compact objects in the universe and provide a unique astrophysical laboratory for testing gravity under extreme conditions. Their internal structure is mainly determined by the equation of state of ultra-dense matter and by the gravitational theory used to describe hydrostatic equilibrium. In General Relativity, the structure of neutron stars is commonly studied through the Tolman–Oppenheimer–Volkoff equations. However, recent developments in astrophysical observations and gravitational-wave astronomy have motivated the study of neutron stars within modified gravity theories. In such theories, additional geometric or scalar degrees of freedom may affect the mass-radius relation, central density, pressure distribution, tidal deformability and stability of neutron stars. This article discusses the theoretical basis for investigating neutron star interiors in modified gravity, focusing especially on f(R) gravity, scalar-tensor theories and matter-curvature coupling models. The study emphasizes that neutron stars can serve as powerful tools for testing gravitational theories beyond General Relativity.

Keywords: neutron star, modified gravity, f(R) gravity, equation of state, mass-radius relation, compact stars.

Annotatsiya. Neytron yulduzlar Koinotdagi eng zich kompakt obyektlardan biri bo‘lib, gravitatsiyani ekstremal sharoitlarda sinovdan o‘tkazish uchun noyob astrofizik laboratoriya vazifasini bajaradi. Ularning ichki tuzilishi asosan o‘ta zich moddaning holat tenglamasi hamda gidrostatik muvozanatni tavsiflovchi gravitatsiya nazariyasi bilan belgilanadi. Umumiy nisbiylik nazariyasida neytron yulduzlarning tuzilishi odatda Tolman–Oppengeymer–Volkov tenglamalari yordamida o‘rganiladi. Biroq, astrofizik kuzatuvlar va gravitatsion to‘lqinlar astronomiyasidagi so‘nggi yutuqlar neytron yulduzlarni modifikatsiyalangan gravitatsiya nazariyalari doirasida tadqiq etishga katta qiziqish uyg‘otdi. Bunday nazariyalarda qo‘shimcha geometrik yoki skalyar erkinlik darajalari neytron yulduzlarning massa-radius bog‘lanishi, markaziy zichligi, bosim taqsimoti, tidal deformatsiyasi va barqarorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Ushbu maqolada neytron yulduzlarning ichki tuzilishini modifikatsiyalangan gravitatsiya nazariyalari asosida o‘rganishning nazariy asoslari muhokama qilinadi. Ayniqsa, f(R) gravitatsiya nazariyasi, skalyar-tenzor nazariyalar hamda modda-egrilik o‘zaro ta’siriga asoslangan modellarga alohida e’tibor qaratiladi. Tadqiqot natijalari neytron yulduzlar Umumiy nisbiylik nazariyasidan

ISSN 3030-3907

tashqaridagi gravitatsiya nazariyalarini sinovdan o‘tkazishda samarali vosita bo‘lib xizmat qilishi mumkinligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: neytron yulduz, modifikatsiyalangan gravitatsiya, f(R) gravitatsiya, holat tenglamasi, massa-radius bog‘lanishi, kompakt yulduzlar.

Аннотация. Нейтронные звёзды являются одними из самых плотных компактных объектов во Вселенной и представляют собой уникальную астрофизическую лабораторию для проверки гравитации в экстремальных условиях. Их внутренняя структура в основном определяется уравнением состояния сверхплотного вещества и гравитационной теорией, используемой для описания гидростатического равновесия. В рамках общей теории относительности структура нейтронных звёзд обычно изучается с помощью уравнений Толмана–Оппенгеймера–Волкова. Однако последние достижения в области астрофизических наблюдений и астрономии гравитационных волн стимулировали исследования нейтронных звёзд в рамках теорий модифицированной гравитации. В таких теориях дополнительные геометрические или скалярные степени свободы могут оказывать существенное влияние на соотношение массы и радиуса, центральную плотность, распределение давления, приливную деформируемость и устойчивость нейтронных звёзд. В данной статье рассматриваются теоретические основы исследования внутреннего строения нейтронных звёзд в теориях модифицированной гравитации. Особое внимание уделяется теории гравитации f(R), скалярно-тензорным теориям и моделям с взаимодействием между материей и кривизной пространства-времени. Подчёркивается, что нейтронные звёзды могут служить эффективным инструментом для проверки гравитационных теорий, выходящих за рамки общей теории относительности.

Ключевые слова: нейтронная звезда, модифицированная гравитация, гравитация f(R), уравнение состояния, соотношение масса–радиус, компактные звёзды.

INTRODUCTION.

Neutron stars are among the most compact and fascinating astrophysical objects in the universe. They are formed as the final evolutionary stage of massive stars after supernova explosions, when the stellar core undergoes gravitational collapse. Despite having radii of only about 10–14 kilometers, neutron stars may contain masses comparable to or greater than the mass of the Sun. This means that matter inside these objects is compressed to extremely high densities, often exceeding nuclear saturation density. Under such conditions, the behavior of matter, gravity, pressure, and energy cannot be fully understood by ordinary laboratory experiments. Therefore, neutron stars are considered natural

ISSN 3030-3907

laboratories for investigating fundamental physics under extreme conditions [1]. The internal structure of neutron stars is determined by the balance between gravitational attraction and the pressure of ultra-dense matter. Gravity tends to compress the star inward, while internal pressure resists collapse and maintains hydrostatic equilibrium. In the framework of General Relativity, this equilibrium is usually described by the Tolman–Oppenheimer–Volkoff equations. These equations make it possible to calculate the variation of pressure, density, enclosed mass, and radius from the center of the star to its surface. However, the results obtained from these equations strongly depend on the equation of state of dense matter. The equation of state describes the relationship between pressure and energy density inside the neutron star and plays a central role in determining its mass-radius relation and stability [2].

One of the most important unresolved problems in neutron star physics is the true nature of matter at extremely high densities. At densities higher than those found in atomic nuclei, matter may not consist only of neutrons, protons, and electrons. It may also contain exotic components such as hyperons, meson condensates, deconfined quark matter, or other possible phases of dense nuclear matter. Since the equation of state at such extreme densities is still uncertain, different theoretical models may lead to different predictions for the maximum mass, radius, compactness, and internal composition of neutron stars. This uncertainty makes neutron stars highly valuable objects for testing both nuclear physics and gravitational theory. Although General Relativity has been very successful in explaining many gravitational phenomena, it may not represent the final and complete theory of gravity. In particular, at very strong gravitational fields, very high densities, or cosmological scales, possible deviations from General Relativity may appear. For this reason, modified gravity theories have attracted considerable attention in modern theoretical physics and astrophysics. These theories extend or modify Einstein's theory by introducing additional geometric terms, scalar fields, higher-order curvature corrections, or couplings between matter and curvature. Such modifications may affect the structure and evolution of compact stars, including neutron stars. In modified gravity theories, the equations governing the internal structure of neutron stars are generally different from those in General Relativity. The standard Tolman–Oppenheimer–Volkoff equations may be modified by additional terms related to curvature, scalar fields, or matter-geometry interactions. As a result, the pressure profile, density distribution, gravitational mass, radius, and stability conditions of neutron stars may change. In some cases, modified gravity can allow neutron stars to support larger maximum masses or produce different mass-radius relations compared with the predictions of General Relativity. Therefore, studying neutron

ISSN 3030-3907

stars in modified gravity provides an important opportunity to distinguish between different gravitational models [3].

Among the most widely studied modified gravity models are f(R) gravity, scalar-tensor theories, f(R,T) gravity, and other extensions involving curvature-matter coupling. In f(R) gravity, the gravitational action is generalized by replacing the Ricci scalar R with a function of R. This modification introduces higher-order curvature effects that may become significant in strong gravitational fields. Scalar-tensor theories introduce one or more scalar fields in addition to the metric tensor, which can influence the gravitational interaction inside compact objects. In matter-curvature coupling models, the interaction between matter and geometry may lead to additional forces or corrections to the standard equilibrium equations. These theoretical frameworks provide new ways to study the internal properties of neutron stars. The investigation of neutron stars in modified gravity is also important because of recent progress in astrophysical observations. Precise measurements of massive pulsars, X-ray observations of neutron star radii, and gravitational-wave detections from neutron star mergers have provided new constraints on the properties of compact stars. Observational data related to mass, radius, tidal deformability, and merger dynamics can be used to test the validity of different equations of state and gravitational theories. If the predictions of modified gravity are consistent with observational constraints, such theories may offer alternative explanations for the behavior of gravity under extreme conditions. The study of neutron star interiors in modified gravity theory is therefore a multidisciplinary research topic that connects astrophysics, nuclear physics, relativity, and cosmology. It allows researchers to examine how changes in gravitational theory affect the microscopic and macroscopic properties of compact stars. By comparing theoretical predictions with observational data, it is possible to evaluate whether General Relativity remains valid in the strong-field regime or whether modifications are required. In this context, neutron stars serve as powerful probes of fundamental physics and provide a unique testing ground for theories beyond General Relativity [4].

The main purpose of this article is to examine the internal structure of neutron stars within the framework of modified gravity theories. The study focuses on how modifications to the gravitational field equations influence the pressure distribution, density profile, mass-radius relation, and stability of neutron stars. Special attention is given to the role of the equation of state and to the possible differences between General Relativity and modified gravity predictions. Through this approach, the article aims to provide a theoretical understanding of neutron stars as compact objects and to highlight their significance in testing alternative theories of gravity.

ISSN 3030-3907

Theoretical background and research framework

The study of neutron star interiors in modified gravity requires a clear theoretical framework because the structure of such compact objects depends on both the properties of dense matter and the gravitational model used. In standard General Relativity, the internal equilibrium of a neutron star is described by the Tolman–Oppenheimer–Volkoff equations. These equations determine how pressure, density, mass, and radius change from the center of the star to its surface. However, in modified gravity theories, additional terms may appear in the gravitational field equations. These terms can change the balance between gravitational attraction and internal pressure, leading to different predictions for the structure and stability of neutron stars [5].

Modified gravity theories are especially important in the strong-field regime, where gravitational effects are extremely intense. Since neutron stars have very high density and strong curvature, they provide a suitable environment for testing possible deviations from General Relativity. In this context, theoretical models such as f(R) gravity, scalar-tensor gravity, and matter-curvature coupling theories can be used to examine whether alternative gravitational effects influence the maximum mass, radius, compactness, and pressure distribution of neutron stars [6]. The reliability of a theoretical study increases when the main physical parameters and research stages are clearly presented. For this reason, the present study focuses on the relationship between the gravitational model, equation of state, and internal stellar parameters. The basic structure of the research framework is shown in Table 1 and Figure 1.

Table 1.

Main physical parameters used in the study of neutron star interiors

Parameter	Scientific meaning	Role in neutron star structure
Central density	Density at the core of the neutron star	Determines the compactness and internal composition of the star
Pressure profile	Distribution of pressure from the center to the surface	Shows how matter resists gravitational collapse
Equation of state	Relationship between pressure and energy density	Defines the physical behavior of ultra-dense matter
Stellar mass	Total gravitational mass of the neutron star	Used to evaluate maximum mass and stability

ISSN 3030-3907

Stellar radius	Distance from the center to the surface	Important for determining the mass-radius relation
Compactness	Ratio between mass and radius	Indicates the strength of the gravitational field
Gravitational model	General Relativity or modified gravity theory	Determines the form of the equilibrium equations
Stability condition	Criterion showing whether the star remains stable	Helps identify physically acceptable stellar models

Modified Gravity Theory
↓
Modified Field Equations
↓
Modified Hydrostatic Equilibrium Equations
↓
Equation of State of Dense Matter
↓
Calculation of Internal Parameters
↓
Mass – Radius – Density – Pressure Relations
↓
Stability Analysis of Neutron Stars

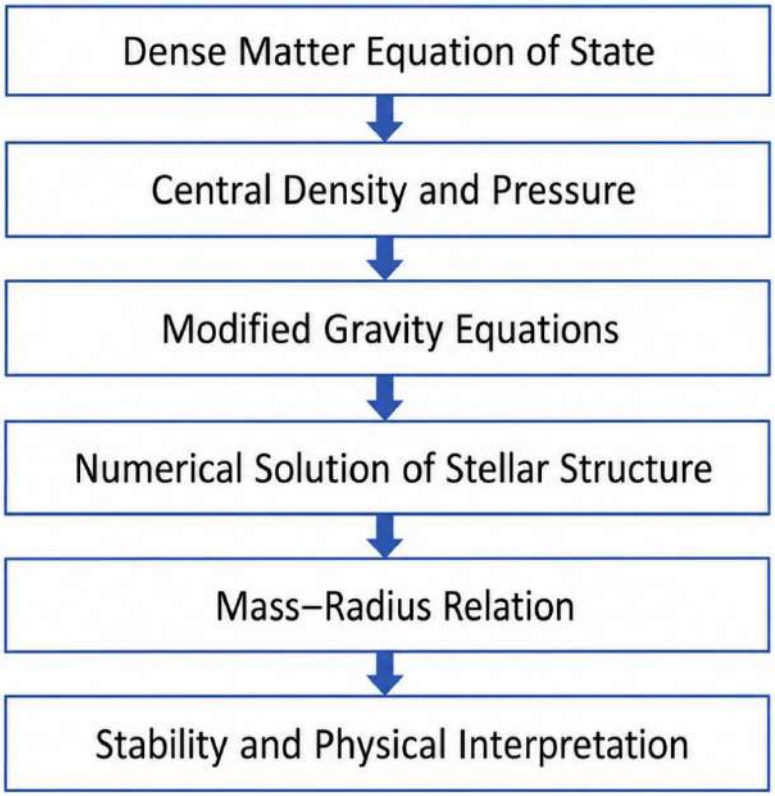
Figure 1. Conceptual framework for studying neutron star interiors in modified gravity

This framework shows that the internal structure of neutron stars cannot be explained only by the equation of state. The gravitational theory also plays a decisive role. If the gravitational field equations are modified, the resulting hydrostatic equilibrium equations may also change. As a result, the predicted mass-radius relation, central density, pressure profile, and stability limits may differ from those obtained in General Relativity. The inclusion of a table and a conceptual diagram helps to organize the theoretical basis of the article. Table 1 summarizes the main physical parameters that are commonly used in neutron star studies, while Figure 1 illustrates the logical sequence of the research process. Such a presentation makes the article more systematic and scientifically reliable, because it clearly shows which variables are considered and how they are connected to the main research problem. Therefore, the investigation of neutron stars in modified gravity should be carried out through a combined analysis of gravitational theory, dense matter physics, and stellar stability. This approach allows researchers to compare the predictions of General Relativity with those of

ISSN 3030-3907

modified gravity models and to evaluate whether alternative theories can provide a better explanation for compact star observations [7].

Figure 2. Research Model of Neutron Star Structure in Modified Gravity



This diagram illustrates the general research sequence used to investigate the internal structure of neutron stars within the framework of modified gravity theory. The process begins with the selection of an appropriate equation of state for dense matter, which defines the relationship between pressure and energy density inside the star. After determining the central density and pressure, the modified gravitational field equations are applied to describe the hydrostatic equilibrium of the neutron star. These equations are then solved numerically in order to obtain the main structural properties of the star. As a result, the mass-radius relation is derived and used to evaluate the physical behavior of the model. Finally, the stability and physical interpretation of the neutron star configuration are analyzed. This research model shows that the structure of neutron stars depends not only on the properties of dense matter, but also on the gravitational theory used in the calculation [8].

DISCUSSION.

The investigation of neutron star interiors in modified gravity theory provides an important opportunity to examine the behavior of gravity under extreme physical conditions. Neutron stars are characterized by very high densities, strong gravitational fields, and compact structures. Therefore, even

ISSN 3030-3907

small modifications to the gravitational field equations may lead to significant changes in their internal properties. In this context, the study of neutron stars is not limited only to astrophysical modeling, but also contributes to the broader discussion about the validity of General Relativity in the strong-field regime. The results and theoretical considerations discussed in this study show that the internal structure of neutron stars depends on two main factors: the equation of state of dense matter and the gravitational model used in the calculation. In General Relativity, the equilibrium configuration of neutron stars is determined by the standard Tolman–Oppenheimer–Volkoff equations. However, in modified gravity theories, additional curvature terms, scalar fields, or matter-geometry couplings may appear in the field equations. These additional terms can alter the pressure gradient, density distribution, mass-radius relation, and stability conditions of the star.

One of the most important aspects of modified gravity models is their possible effect on the maximum mass of neutron stars. Observations of massive pulsars indicate that neutron stars with masses around two solar masses exist. This observational fact creates strong constraints on both the equation of state and gravitational theory. Some equations of state may not be able to support such massive neutron stars within the framework of General Relativity. In this case, modified gravity theories may provide alternative explanations by allowing additional gravitational corrections that change the equilibrium structure of the star. Another important issue is the mass-radius relation. The radius of a neutron star is directly related to the stiffness of dense matter and to the strength of gravity inside the star. If gravity is modified, the same equation of state may produce a different radius and compactness compared with General Relativity. Therefore, comparing theoretical mass-radius curves with observational data is one of the most effective ways to test modified gravity models. In particular, X-ray observations and gravitational-wave measurements from neutron star mergers can provide important constraints on the allowed parameter space of such theories.

The equation of state remains one of the largest sources of uncertainty in neutron star studies. At extremely high densities, matter may include exotic components such as hyperons, meson condensates, or deconfined quark matter. These components may soften or stiffen the equation of state and change the predicted maximum mass and radius of the star. Modified gravity adds another layer of complexity to this problem because changes in the gravitational sector may produce effects similar to changes in the equation of state. For this reason, it is necessary to analyze the equation of state and the gravitational model together rather than separately. The stability of neutron stars is also strongly influenced by the chosen gravitational theory. A physically acceptable neutron star model must

ISSN 3030-3907

satisfy stability conditions, such as positive pressure and density, regular behavior at the center, decreasing pressure toward the surface, and a stable mass-central density relation. In modified gravity, these conditions may require additional constraints because new degrees of freedom can introduce new modes of instability. Therefore, stability analysis is essential for determining whether a theoretical neutron star configuration is physically realistic.

From a theoretical point of view, modified gravity models such as f(R) gravity, scalar-tensor gravity, and matter-curvature coupling theories provide useful frameworks for studying compact stars. These models can extend the standard description of gravity and may explain certain astrophysical or cosmological phenomena without introducing unknown forms of matter or energy. However, their predictions must be consistent with existing observational data. Therefore, neutron stars play a crucial role in testing the physical reliability of these theories. Overall, the discussion shows that neutron stars are powerful probes of gravitational physics. Their internal structure can reveal whether General Relativity remains valid in extremely strong gravitational fields or whether alternative theories are required. The study of neutron stars in modified gravity therefore represents an important bridge between theoretical physics, astrophysics, and observational astronomy.

CONCLUSION.

In this article, the internal structure of neutron stars was examined within the framework of modified gravity theory. Neutron stars were considered as compact astrophysical objects that provide a natural laboratory for testing gravity and dense matter under extreme conditions. The study emphasized that their structural properties are determined by the combined effects of the equation of state and the gravitational theory used to describe hydrostatic equilibrium. The analysis shows that modified gravity theories may lead to different predictions from General Relativity regarding the mass, radius, central density, pressure profile, compactness, and stability of neutron stars. In particular, additional curvature terms, scalar fields, or matter-geometry interactions can modify the standard equilibrium equations and influence the internal behavior of the star. These modifications may affect the maximum mass and mass-radius relation, which are among the most important observable properties of neutron stars.

It can be concluded that the study of neutron stars in modified gravity is scientifically significant for two main reasons. First, it helps to improve our understanding of ultra-dense matter and compact stellar objects. Second, it provides a strong-field test of gravitational theories beyond General Relativity. By comparing theoretical predictions with observational data from pulsars, X-ray measurements, and gravitational-wave events, it is possible to evaluate the

ISSN 3030-3907

validity of modified gravity models. The results of this theoretical discussion indicate that modified gravity should be considered as an important alternative framework in neutron star research. However, reliable conclusions require careful selection of the equation of state, precise numerical solutions, and detailed stability analysis. Future studies should focus on comparing different modified gravity models with updated observational constraints in order to determine which theoretical approaches are physically acceptable. In conclusion, neutron stars are not only important astrophysical objects but also key tools for testing the fundamental nature of gravity. Their internal structure may provide valuable information about both dense nuclear matter and possible deviations from General Relativity. Therefore, the investigation of neutron stars in modified gravity theory remains a promising and relevant direction in modern astrophysics.

REFERENCES

1. Tolman, R. C. (1939). Static solutions of Einstein's field equations for spheres of fluid. Physical Review, 55(4), 364–373.
2. Oppenheimer, J. R., & Volkoff, G. M. (1939). On massive neutron cores. Physical Review, 55(4), 374–381.
3. Shapiro, S. L., & Teukolsky, S. A. (1983). Black Holes, White Dwarfs, and Neutron Stars: The Physics of Compact Objects. New York: Wiley.
4. Glendenning, N. K. (2000). Compact Stars: Nuclear Physics, Particle Physics, and General Relativity. New York: Springer.
5. Lattimer, J. M., & Prakash, M. (2007). Neutron star observations: Prognosis for equation of state constraints. Physics Reports, 442(1–6), 109–165.
6. Lattimer, J. M., & Prakash, M. (2016). The equation of state of hot, dense matter and neutron stars. Physics Reports, 621, 127–164.
7. Lattimer, J. M. (2021). Neutron stars and the nuclear matter equation of state. Annual Review of Nuclear and Particle Science, 71, 433–464.
8. De Felice, A., & Tsujikawa, S. (2010). f(R) theories. Living Reviews in Relativity, 13, 3.

ISSN 3030-3907

SUN’IY INTELLEKT ASOSIDA XORIJIY TIL BILIM DARAJASINI ANIQLASH PLATFORMASINING MA’LUMOTLAR MANBAINI SHAKLLANTIRISH

Nazarov Sh.E.
Buxoro davlat universiteti
Ismatov B.R.
Buxoro davlat universiteti
Xushnazarov F.F.
Buxoro davlat universiteti
Qobilov R.B.
Buxoro davlat universiteti

Annotatsiya. Maqolada sun’iy intellekt asosida xorijiy til bilim darajasini aniqlash platformasi uchun ma’lumotlar manbaini shakllantirish masalalari ko‘rib chiqilgan. CEFR darajalariga mos matnlar va ovozli ma’lumotlarni tanlash, ularni semantik murakkablik darajasi bo‘yicha guruhlash hamda mahalliy lingvistik xususiyatlarni hisobga olgan holda ma’lumotlar bazasini yaratish metodikasi taklif etilgan. Taklif etilgan ma’lumotlar manbai xorijiy til bilim darajasini avtomatik va obyektiv baholash tizimlarining aniqligi hamda samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: sun’iy intellekt, ma’lumotlar manbai, xorijiy til, CEFR, NLP, Speech-to-Text, LLM, embedding, semantik tahlil, avtomatik baholash.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы формирования источника данных для платформы определения уровня владения иностранным языком на основе искусственного интеллекта. Предлагается методика отбора текстовых и аудиоданных, соответствующих уровням CEFR, их группировки по степени семантической сложности, а также создания базы данных с учетом местных лингвистических особенностей. Предлагаемый источник данных способствует повышению точности и эффективности систем автоматической и объективной оценки уровня владения иностранным языком.

Ключевые слова: искусственный интеллект, источник данных, иностранный язык, CEFR, NLP, Speech-to-Text, LLM, эмбеддинги, семантический анализ, автоматическая оценка.

Abstract. This article examines the issues of developing a data source for an artificial intelligence-based foreign language proficiency assessment platform. A methodology is proposed for selecting text and audio data aligned with CEFR levels, grouping them according to semantic complexity, and creating a database that takes local linguistic characteristics into account. The proposed data source

ISSN 3030-3907

contributes to improving the accuracy and efficiency of automated and objective foreign language proficiency assessment systems.

Keywords: artificial intelligence, data source, foreign language, CEFR, NLP, Speech-to-Text, LLM, embeddings, semantic analysis, automated assessment.

KIRISH.

So‘nggi yillarda sun’iy intellekt texnologiyalarining jadal rivojlanishi ta’lim sohasida, xususan, xorijiy tillarni o‘qitish va baholash jarayonlarida yangi imkoniyatlarni yaratmoqda. Xorijiy til bilim darajasini aniqlashda an’anaviy testlash usullari ko‘p vaqt va resurs talab qilishi bilan birga, ayrim hollarda subyektiv baholash omillariga ham bog‘liq bo‘ladi. Shu sababli, til ko‘nikmalarini avtomatik va obyektiv baholashga qaratilgan intellektual tizimlarni ishlab chiqish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi.

Bunday tizimlarning samaradorligi ko‘p jihatdan foydalaniladigan ma’lumotlar manbalarining sifati va tuzilishiga bog‘liq. Ayniqsa, CEFR standartlariga mos matn va audio ma’lumotlarni shakllantirish, ularni murakkablik darajasi bo‘yicha tasniflash hamda mahalliy lingvistik xususiyatlarni hisobga olish muhim ahamiyat kasb etadi. Mazkur maqolada sun’iy intellekt asosida xorijiy til bilim darajasini aniqlash platformasi uchun ma’lumotlar manbaini shakllantirish tamoyillari va metodik yondashuvlari tahlil qilinadi.

Raqamli texnologiyalarning jadal rivojlanishi ta’lim tizimini tubdan o‘zgartirmoqda, xususan xorijiy tillarni o‘rganish va baholash jarayonlarida sun’iy intellekt (SI) vositalarining integratsiyasi individual yondashuvni ta’minlab, o‘quvchilarning bilim darajasini tezkor va aniq baholash imkonini beradi [1].

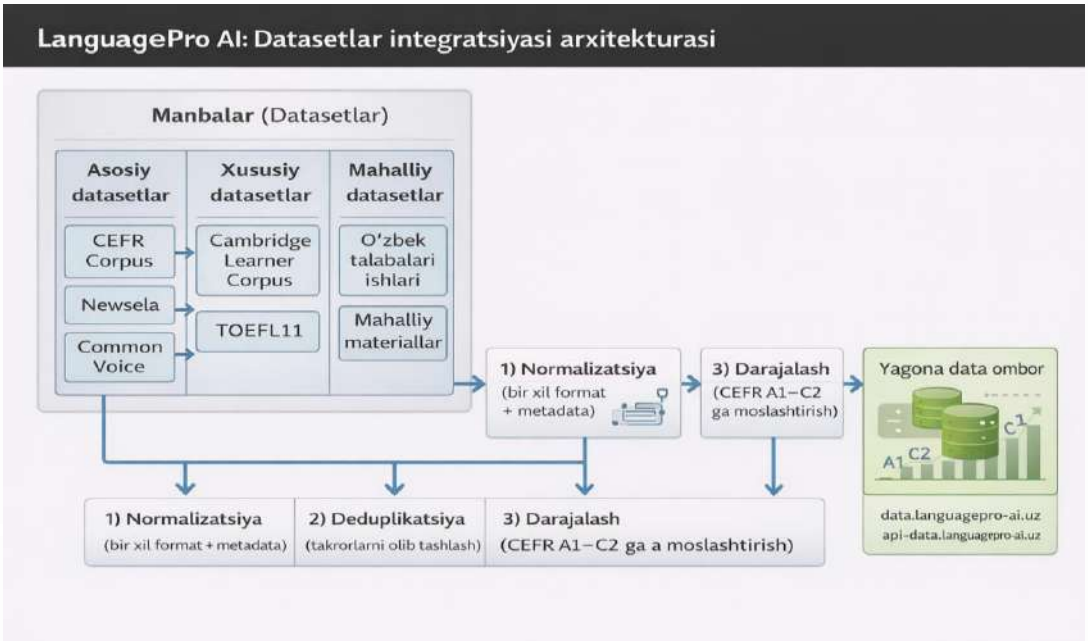
Xorijiy tillarni o‘rganish va baholashda sun’iy intellekt texnologiyalarining qo‘llanilishi keng tadqiq etilgan. Luckin va Holmes sun’iy intellektning ta’lim jarayonini moslashtirish va individual o‘quv traektoriyalarini yaratishdagi ahamiyatini ta’kidlaydilar. Meurers [2] esa natural language processing (NLP) texnologiyalarining grammatika va talaffuzni avtomatik tahlil qilishdagi imkoniyatlarini ko‘rsatib beradi. Shu bilan birga, mavjud tadqiqotlar tilning madaniy va kontekstual xususiyatlarini hisobga olish zarurligini ham qayd etadi.

Ma’lumotlar bazalari sohasida Cambridge Learner Corpus, CEFR-based English proficiency dataset va Mozilla Common Voice loyihalari til o‘rganish hamda nutqni qayta ishlash bo‘yicha muhim resurslar hisoblanadi. Avtomatik esse baholash yo‘nalishida Burstein va hammualliflari [3] hamda Xi [4] tadqiqotlari baholash metodologiyasining nazariy va amaliy asoslarini shakllantirgan. Shuningdek, adaptiv testlashtirish va Item Response Theory (IRT) yondashuvlari Weiss [5] va Lord [6] ishlarida keng yoritilib, zamonaviy kompyuterlashtirilgan baholash tizimlarining rivojlanishiga zamin yaratgan.

ISSN 3030-3907

Mahalliy adabiyotlarda [6-7] sun’iy intellekt asosida xorijiy til bilim darajasini aniqlash platformasi uchun ma’lumotlar manbaini shakllantirish masalalari ko‘rib chiqilgan. Adabiyotlar tahlili mavjud ishlarda alohida komponentlar keng o‘rganilganini, biroq IELTS tizimlari uchun UML-asosidagi kompleks arxitektura masalasi yetarlicha tadqiq etilmaganini ko‘rsatadi. Ushbu bo‘shliqni to‘ldirish tadqiqotning asosiy yangiligi hisoblanadi.

ASOSIY QISM. Turli ma'lumotlar bazalardan foydalanish uchun quyidagi strategiya tavsiya etiladi (1-rasm): birinchidan, normalizatsiya — barcha ma'lumotlar bazalarini bir xil formatga o‘tkazish; ikkinchidan, deduplikatsiya — takrorlangan ma'lumotlarni olib tashlash; uchinchidan, darajalash — barcha materiallarni yagona CEFR shkalasiga moslashtirish; to‘rtinchidan, balanslash — har bir daraja va mavzu bo‘yicha teng taqsimlash.



1-rasm. Ma'lumotlar bazalari integratsiyasi arxitekturasi

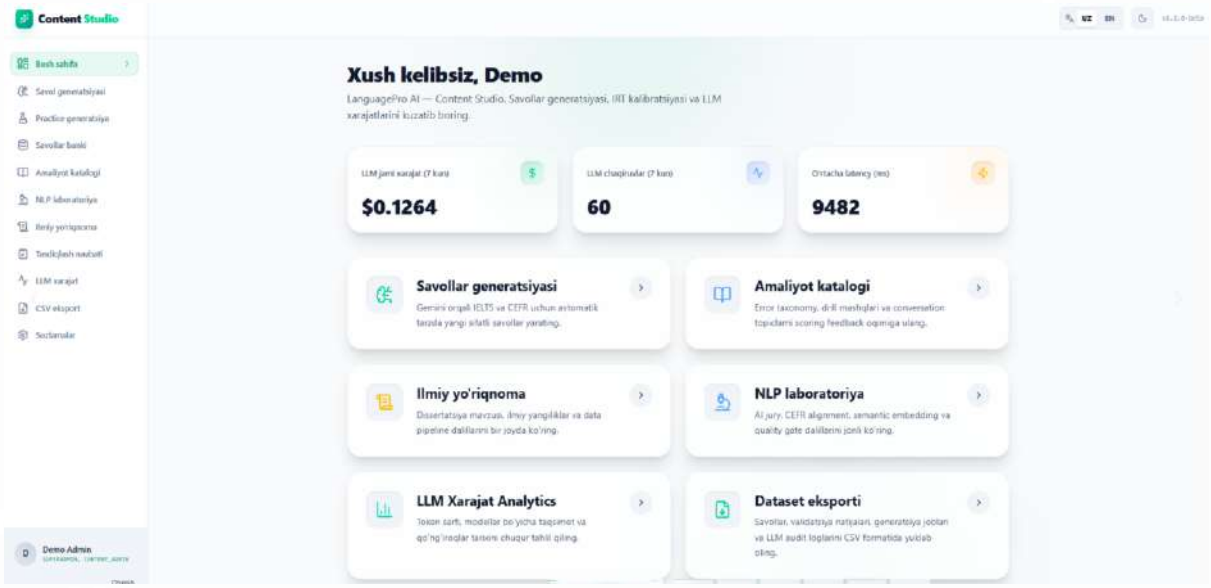
Ma’lumotlar sifati AI asosidagi IELTS baholash tizimlarining aniqligi va ishonchliligini belgilovchi asosiy omildir. Shu sababli Reading, Listening, Writing, Speaking, Grammar va Vocabulary bo‘yicha yetarli hajmdagi, CEFR va ekspert baholari bilan belgilangan ma’lumotlar to‘plamlarini shakllantirish zarur. Ma’lumotlar sifati avtomatik validatsiya, ekspert tekshiruvi va doimiy monitoring orqali nazorat qilinib, tizimning barqaror va adolatli ishlashi ta’minlanadi (2-rasm).

ISSN 3030-3907



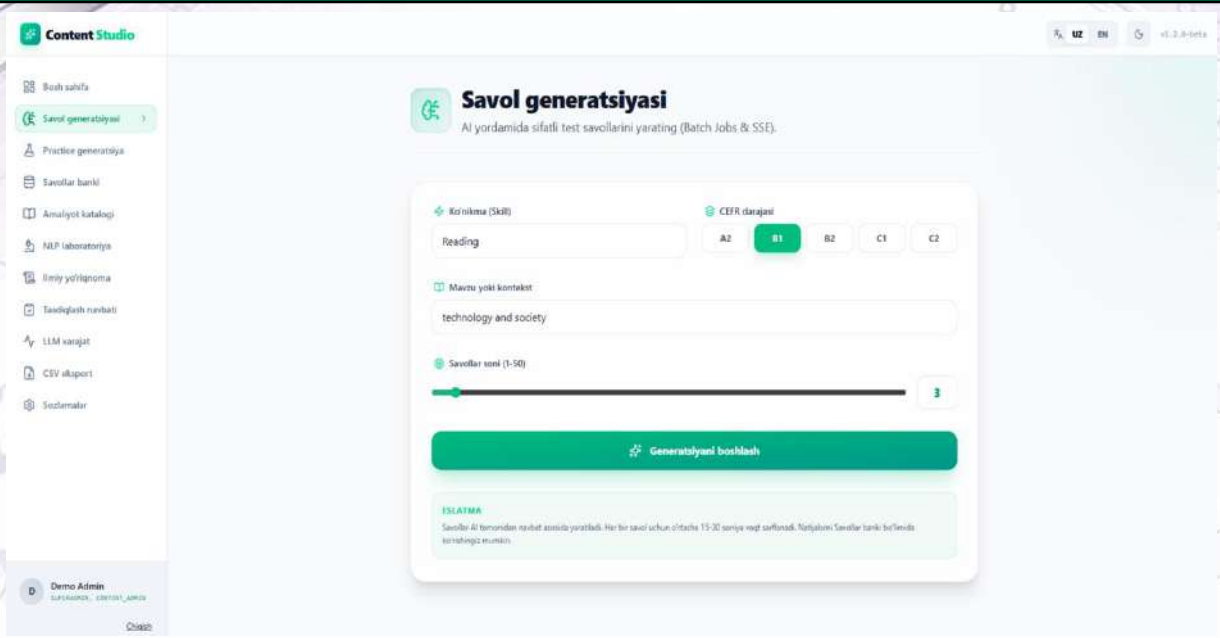
2-rasm. Ma'lumotlar manbalariga qo‘yiladigan talablar

Ma’lumotlar qatlamida birinchi o‘rinda savol bankini shakllantirish, NLP orqali savolni qayta ishlash , CEFR/IELTS bo‘yicha darajalash, Foydalanuvchi tizimiga API orqali ma’lumot uzatishda iborat.



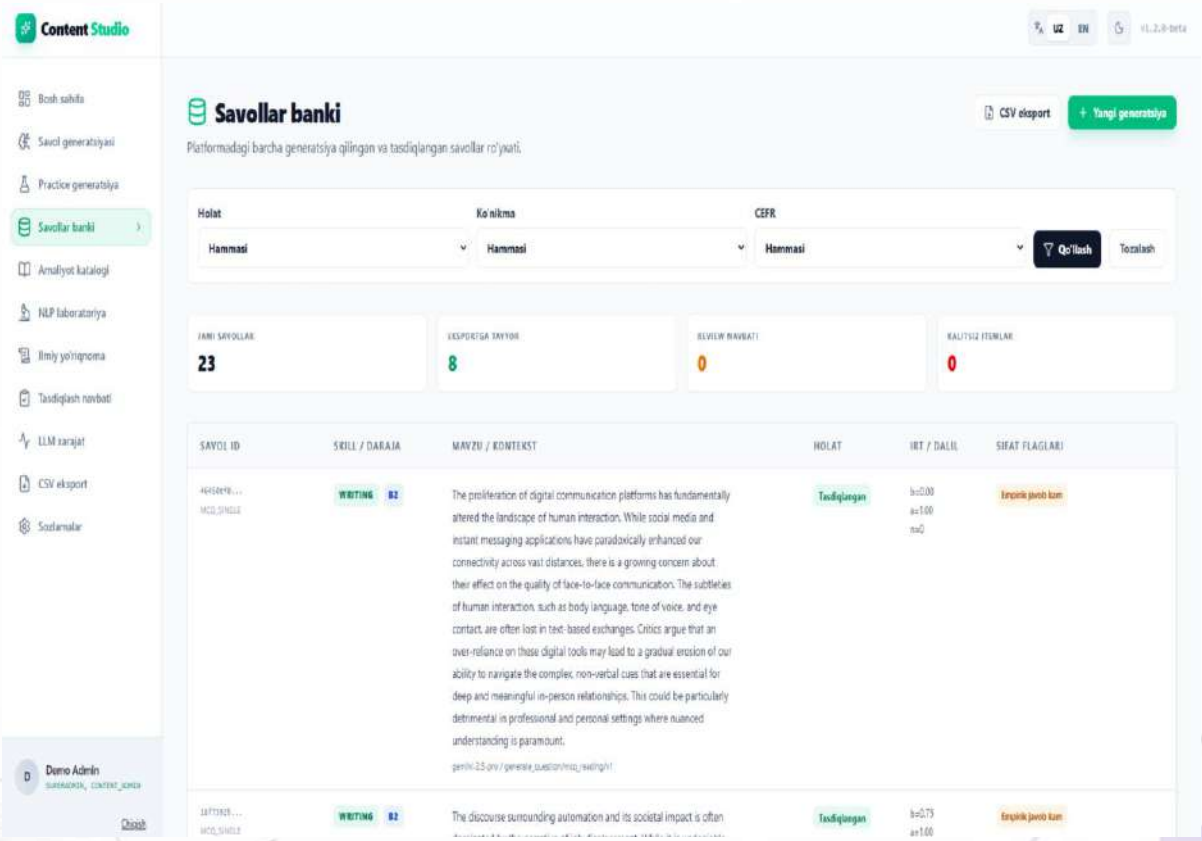
3-rasm. Admin paneli (ma’lumotlarni shakllantirish)

ISSN 3030-3907



4-rasm. Savol generatsiyasi paneli

Ushbu jarayonda foydalanuvchi tanlagan ko‘rsatkichlar asosida sun’iy intellekt yordamida avtomatik ravishda test savollari generatsiya qilinadi.



5-rasm. Savol banki paneli

Savollar banki — bu AI orqali yaratilgan va tekshirilgan savollarni saqlash, filtrlash va keyinchalik test tizimida foydalanish uchun mo‘ljallangan markaziy modul hisoblanadi.

Backend FastAPI 0.115 + SQLAlchemy 2.0 async + Pydantic v2 kombinatsiyasiga asoslanib, frontend esa Next.js 15 App Router + React 19 +

ISSN 3030-3907

Tailwind v4 + shadcn/ui asosida qurilgan. AI integratsiyasi yagona openai SDK orqali Gemini modellariga (2.5 Pro, 2.5 Flash, 2.0 Flash, embedding-001 va flash-preview-tts) bog‘lanib, bu kodni soddalashtirgan va kelajakda boshqa modellarga o‘tishni osonlashtirgan.

Tasdiqlash mezonlari aniq belgilangan: 60 sekundda butun stek ishga tushishi, 5 sekundda barcha sxemalar yaratilishi, type-check va xavfsizlik audit'ining toza bo‘lishi. Prototip xarajat samaradorligi (oylik 30 USD + Gemini API), yuqori sifat va sanoat darajasidagi xavfsizlik kombinatsiyasini namoyish etadi va keyingi rivojlantirish uchun mustahkam asos bo‘lib xizmat qiladi.

XULOSA. Ushbu maqolada sun’iy intellekt asosida xorijiy til bilim darajasini aniqlash platformasi uchun ma’lumotlar manbaini shakllantirish va dasturiy arxitekturasini loyihalash masalalari ko‘rib chiqildi. CEFR darajalariga mos matn va audio resurslarni tanlash, ularni semantik murakkablik bo‘yicha tasniflash hamda mahalliy lingvistik xususiyatlarni hisobga olgan holda ma’lumotlar bazasini yaratish yondashuvi taklif etildi.Platforma zamonaviy texnologiyalar asosida ishlab chiqilib, backend qismi FastAPI, SQLAlchemy va Pydantic, frontend qismi esa Next.js, React, Tailwind va shadcn/ui vositalariga tayandi. AI modullari Gemini modellari bilan yagona SDK orqali integratsiya qilinib, tizimning moslashuvchanligi va kengaytiriluvchanligi ta’minlandi.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, sifatli va validatsiyadan o‘tgan ma’lumotlar bazasi hamda zamonaviy dasturiy arxitektura xorijiy til bilim darajasini avtomatik, tezkor va obyektiv baholash imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). Intelligence Unleashed: An Argument for AI in Education. Pearson Education.
2. Meurers D. Natural language processing and language learning //Encyclopedia of applied linguistics. – 2012. – С. 4193-4205.
3. Xi X. Automated scoring and feedback systems: Where are we and where are we heading? //Language Testing. – 2010. – Т. 27. – №. 3. – С. 291-300.
4. Weiss D. J. Improving measurement quality and efficiency with adaptive testing //Applied psychological measurement. – 1982. – Т. 6. – №. 4. – С. 473-492.
5. Lord F. M. Applications of item response theory to practical testing problems. – Routledge, 2012.
6. Nazarov Sh.E., Ismatov B.R., Xushnazarov F.F. Sun’iy intellekt arxitekturasi yordamida xorijiy tilni bilish darajasini aniqlash tizimi // Fizika, matematika va sun’iy intellekt texnologiyalarining dolzarb muammolari xalqaro ilmiy-nazariy anjuman materiallari. – Buxoro, 2025. – B. 258–260.

ISSN 3030-3907

7. Nazarov Sh.E., Ismatov B.R. Sun’iy intellekt arxitekturasi yordamida xorijiy tilni bilish darajasini aniqlash platformasining konseptual modelini ishlab chiqish // Ta’lim jarayonida innovatsion g‘oyalar va texnologiyalarni joriy qilish — zamonaviy ta’limning bosh strategiyasi Respublika ilmiy-amaliy konferensiya materiallari. – Buxoro, 2025. – B. 49–54.

ISSN 3030-3907

CHEKLANGAN SENSORLAR TARMOG‘I SHAROITIDA SHAHAR TRAFIK HOLATINI BAHOLASHNING ZAMONAVIY GRAFLI YONDASHUVLARI QIYOSIY TAHLILI

Ismoilova Anaxon
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
E-mail: frozen.ismoilova@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada cheklangan sensorlar tarmog‘i sharoitida shahar transport tarmoqlarida trafik holatini baholash (Traffic State Estimation — TSE) uchun qo‘llaniladigan graf modellari va algoritmlari qiyosiy tahlil qilinadi. Klassik graf usullari (Dijkstra, TDSP), statistik modellar (CTM, Kalman filtri) va fazoviy-vaqtinchalik graf neyron tarmoqlari (MSTGACN, STAMImputer, Graph WaveNet) beshta ilmiy mezon asosida solishtiriladi. Xalqaro ma’lumotlar to‘plamlarida (dataset) olingan raqamli ko‘rsatkichlar tahlil qilinib, o‘rta va yirik shahar infratuzilmalari uchun eng samarali yondashuvlar ilmiy jihatdan asoslanadi.

Kalit so‘zlar: cheklangan sensorlar tarmog‘i, fazoviy-vaqtinchalik graf neyron tarmoqlari, trafik holatini baholash, grafli modellar, MSTGACN, STAMImputer, shahar transporti.

Аннотация. В данной статье проводится сравнительный анализ графовых моделей и алгоритмов, применяемых для оценки состояния транспортного потока в городских транспортных сетях в условиях ограниченного сенсорного покрытия. Классические графовые методы (Dijkstra, TDSP), статистические модели (CTM, фильтр Калмана) и пространственно-временные графовые нейронные сети (MSTGACN, STAMImputer, Graph WaveNet) сопоставляются на основе пяти научных критериев. Выполнен анализ количественных показателей, полученных на международных наборах данных, и научно обоснованы наиболее эффективные подходы для транспортной инфраструктуры средних и крупных городов.

Ключевые слова: ограниченная сеть сенсоров, пространственно-временные графовые нейронные сети, оценка состояния дорожного движения, графовые модели, MSTGACN, STAMImputer, городской транспорт.

Abstract. This paper presents a comparative analysis of graph-based models and algorithms used for traffic state estimation in urban transportation networks under limited sensor coverage conditions. Classical graph methods (Dijkstra, TDSP), statistical models (CTM, Kalman filter), and spatio-temporal graph neural networks (MSTGACN, STAMImputer, Graph WaveNet) are compared based on five scientific criteria. Quantitative results obtained from international benchmark

datasets are analyzed, and the most effective approaches for medium-sized and large urban transportation infrastructures are scientifically justified.

Keywords: limited sensor network, spatial-temporal graph neural networks, traffic state estimation, graph-based models, MSTGACN, STAMImputer, urban transportation.

1. KIRISH.

Aqlli transport tizimlarida (ITS) trafik holatini real vaqt rejimida baholash — adaptiv svetofor boshqaruvi, dinamik marshrutlashtirish va tirbandliklarning oldini olish uchun zarur poydevordir. Statistik ma’lumotlarga ko‘ra, yer yuzi aholisining 55 foizi shahar hududlarida yashaydi va bu ko‘rsatkich 2050-yilga kelib 68 foizga yetishi kutilmoqda. O‘zbekistonda amaldagi urbanizatsiya jarayoni sezilarli darajada faollashgan: Toshkent shahri aholisi rasman 3 milliondan oshdi va yo‘l-transport tizimini intellektual boshqarish maqsadida yirik chorrahalarni raqamlashtirish ishlari jadal olib borilmoqda. Bularning barchasi trafik holatini baholash masalasini mamlakatimiz miqyosida dolzarb ilmiy-amaliy muammoga aylantiradi.

Ayni vaqtda mavjud fazoviy-vaqtinchalik graf neyron tarmoqlari (ST-GNN) modellari asosan yuqori sensor zichligiga ega shaharlar uchun ishlab chiqilgan bo‘lib, METR-LA va PeMS-BAY kabi xalqaro namunaviy ma’lumotlar to‘plamlarida sinab ko‘rilgan. Biroq, ushbu ma’lumotlar to‘plamlaridagi sensor zichligi O‘zbekiston shaharlarining real sharoitidan tubdan farq qiladi: Rivojlanayotgan mamlakatlar va O‘rta Osiyo shaharlarida sensor qamrovi yo‘l tarmog‘ining bor-yo‘g‘i 30–50 foizini tashkil etishi keng tarqalgan holatdir. Sensor qamrovi cheklangan sharoitda ushbu intellektual modellarning qo‘llanish chegaralari yetarlicha tahlil qilinmaganligi maqola uchun asosiy ilmiy bo‘shliq vazifasini bajaradi.

O‘zbekistondagi mavjud tadqiqotlar hozircha faqat alohida chorrahalar yoki lokal yo‘l kesimlari bilan cheklangan bo‘lib, cheklangan sensorlar tarmog‘i sharoitida butun shahar tarmog‘i miqyosidagi TSE masalasini qamrab olmagan.[4, 5]. Masalan, Hamzayev (2025) tadqiqotida CCTV asosidagi lokal chorrahada svetofor boshqaruvi o‘rganilgan bo‘lsa, Allamov (2018) statik grafda marshrutlashni ko‘rib chiqqan. Ammo ko‘p manbali GPS ma’lumotlari (avtobus, taksi) va CCTV kameralari ma’lumotlarini yagona graf tizimiga birlashtirgan mahalliy tadqiqotlar mavjud emas. Mazkur maqola aynan cheklangan sensorlar tarmog‘i sharoitida trafik holatini baholash algoritmlarining samaradorligini qiyosiy tahlil qiladi va maqbul grafli yondashuvni asoslaydi.

2. ASOSIY TUSHUNCHALAR VA TA’RIFLAR.

2.1. Dinamik transport grafi

ISSN 3030-3907

Shahar transport tarmog‘ini G(t) = (V, E, W(t)) ko‘rinishidagi dinamik graf sifatida ifodalash mumkin, bu yerda V — chorrahalar (tugunlar), E ⊆ V × V — yo‘l kesimlari (qirralar), W(t): E → $\mathbb{R}^+$ — vaqtga bog‘liq qirra og‘irliklari funksiyasi. Transport tarmog‘idagi chorrahalar tugun, yo‘l kesimlari esa qirra sifatida ifodalanadi. Fazoviy bog‘liqlik qo‘shni yo‘l segmentlari orasidagi oqim ta’sirini, vaqtinchalik bog‘liqlik esa transport oqimining vaqt bo‘yicha evolyutsiyasini aks ettiradi. Umumlashtirilgan qirra og‘irligi formulasi quyidagicha aniqlanadi:

$$w_{ij}(t) = \alpha \cdot l_{ij} + \beta \cdot T_{ij}(t) + \gamma \cdot CI_{ij}(t) + \delta \cdot \tau_{ij}(t) \quad (1)$$

bu yerda l_{ij} — yo‘l uzunligi; $T_{ij}(t)$ — safar vaqti; $CI_{ij}(t)$ — tirbandlik indeksi; $\tau_{ij}(t)$ — kechikish vaqti [8].

2.2. Cheklangan sensorlar tarmog‘i: Rasmiy ta’rif

Mazkur tadqiqotda cheklangan sensorlar tarmog‘i deganda quyidagi ikkita kritik holat tushuniladi:

- **Fazoviy cheklanish:** Sensor qamrovi 50 foizdan kam bo‘lgan holat — ya’ni yo‘l tarmog‘ining yarmi va undan ko‘p qismiga statsionar sensorlar o‘rnatilmagan.
- **Vaqtinchalik cheklanish (Ma’lumotlar uzilishlari):** Vaqt qatorlarida (time-series) texnik nosozliklar tufayli 25 foizdan ortiq ma’lumotlar uzilishlari mavjud bo‘lgan sharoit. Ushbu ta’rif xalqaro adabiyotlardagi tushunchalarga to‘liq muvofiq keladi [9].

3. ALGORITMLAR TASNIFI VA BAHOLASH MEZONLARI.

3.1. Algoritmlarni tanlash va baholash mezonlari

Modellarni tahlil qilish uchun cheklangan sensorlar tarmog‘i sharoitiga moslashtirilgan beshta muhim ilmiy mezon tanlab olindi [3, 10]:

1. **Ma’lumotlar uzilishlariga barqarorlik:** Sensor signallari yo‘qolish darajasi 30–90% bo‘lganda model aniqligining (MAE) o‘zgarishi.
2. **Hisoblash murakkabligi va real vaqt mosligi:** inferens vaqti, parametrlar soni, chekka hisoblash qurilmalarida (Edge computing) ishga tushirish imkoniyati.
3. **Ko‘p manbali ma’lumot integratsiyasi:** GPS, CCTV va IoT qurilmalaridan kelayotgan har xil turdagi ma’lumotlarni fuziyalash qobiliyati.
4. **Dinamik grafga moslashuvchanlik:** qirra og‘irliklari real vaqtda yangilanishi imkoniyati.
5. **Yirik shahar miqyosida joriy etish imkoniyati:** 100 dan 500 gacha tugunga ega real yo‘l tarmoqlarida samarali ishlash qobiliyati.

Mazkur mezonlar asosida Dijkstra, TDSP, CTM, Kalman filtri, DCRNN, Graph WaveNet, MSTGACN va STAMImputer modellari tanlab olindi. Bu algoritmlar transport sohasining turli tarixiy bosqichlarini ifodalaydi: klassik

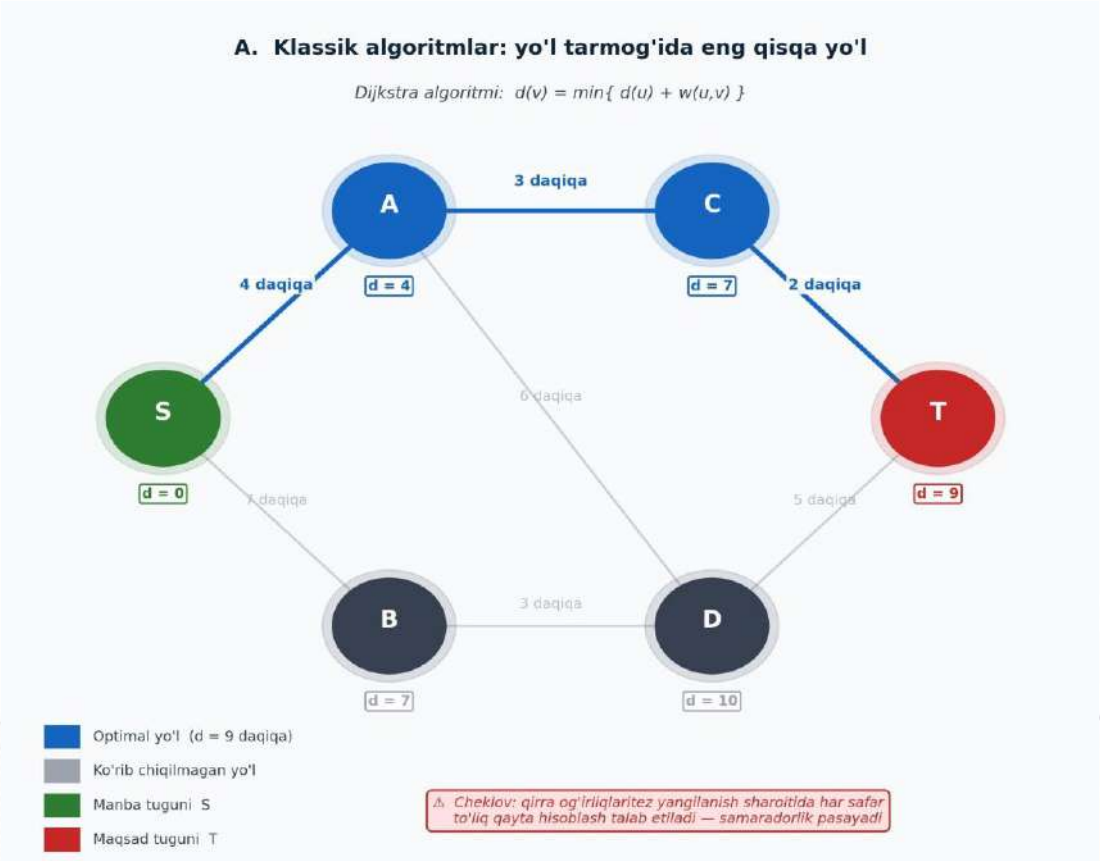
ISSN 3030-3907

(1959–2013), statistik (1994–hozir) va zamonaviy chuqur o’qitishga asoslangan (2018–2025).

3.2. Klassik graf algoritmlari

Dijkstra algoritmi $d(v) = min\{d(u) + w(u,v)\}$ rekurrent formulasi asosida O(V log V + E) vaqt murakkabligida ishlaydi [11]. Cheklangan sensorlar tarmog‘i sharoitidagi asosiy cheklov — sensor o‘rnatilmagan yo‘l kesimlarida qirra og‘irligi noma’lum bo‘lib, algoritmning to‘g‘ri ishlashi ta’minlanmaydi.

A* algoritmi $f(v) = g(v) + h(v)$ yo‘naltiruvchi baholash funksiyasi yordamida qidiruv trayektoriyasini to‘g‘ridan-to‘g‘ri maqsadli tugunga bog‘laydi va shu bois yirik miqyosli tarmoqlarda Deykstra (Dijkstra) usuliga nisbatan sezilarli hisoblash ustunligini namoyon etadi [12]. O‘z navbatida, TDSP (Time-Dependent Shortest Path) algoritmlarida qirra vazni $w(u,v,t_0)$ jo‘nash vaqtiga bog‘liq argument sifatida modellashtirilib, harakatning tig‘iz va minimal yuklamali soatlardagi davriy tebranishlarini aniq aks ettirish imkonini beradi [8]. Biroq, sensor ma’lumotlari yetishmovchiligi sharoitida har ikkala klassik algoritm ham dinamik qirra og‘irliklarini avtonom tarzda tiklash hamda tarmoq holatini interpolyatsiya qilish imkoniyatiga ega emas.



1-rasm. Dijkstra algoritmi — yo‘l tarmog‘ida eng qisqa yo‘l topish jarayoni: tugunlar, qirralar va optimal yo‘l

3.3. Statistik va fizikaviy modellar

ISSN 3030-3907

CTM (Cell Transmission Model) Lax-Hopf tenglamasini diskret shaklda ifodalaydi:

$$\rho(i,t+1) = \rho(i,t) + \Delta t/\Delta x \cdot [q(i-1,t) - q(i,t)]$$

Bu yerda ρ — zichlik, q — oqim [13]. Fundamental diagram $q = v \cdot \rho \leq Q_{max}$ orqali bog‘langan. Tarmoqdagi makroskopik bog‘liqlik oqimning fundamental diagrammasi orqali $q = v \cdot p \leq Q_{max}$ sharti asosida ifodalanadi. CTM makromodeli yo‘llardagi tirbandlik to‘lqinlari va to‘siqlar evolyutsiyasini modellashtirishda yuqori samaradorlik ko‘rsatsa-da, sensor ma’lumotlari yetishmovchiligi sharoitida fundamental diagrammaning empirik parametrlarini ishonchli kalibrlash va aniqlash imkoniyati keskin cheklanadi.

Kalman filtri esa transport tarmog‘i holatini baholashda ikki bosqichli iterativ hisoblash arxitekturasiga tayanadi:

1-bosqich — Bashorat qilish:

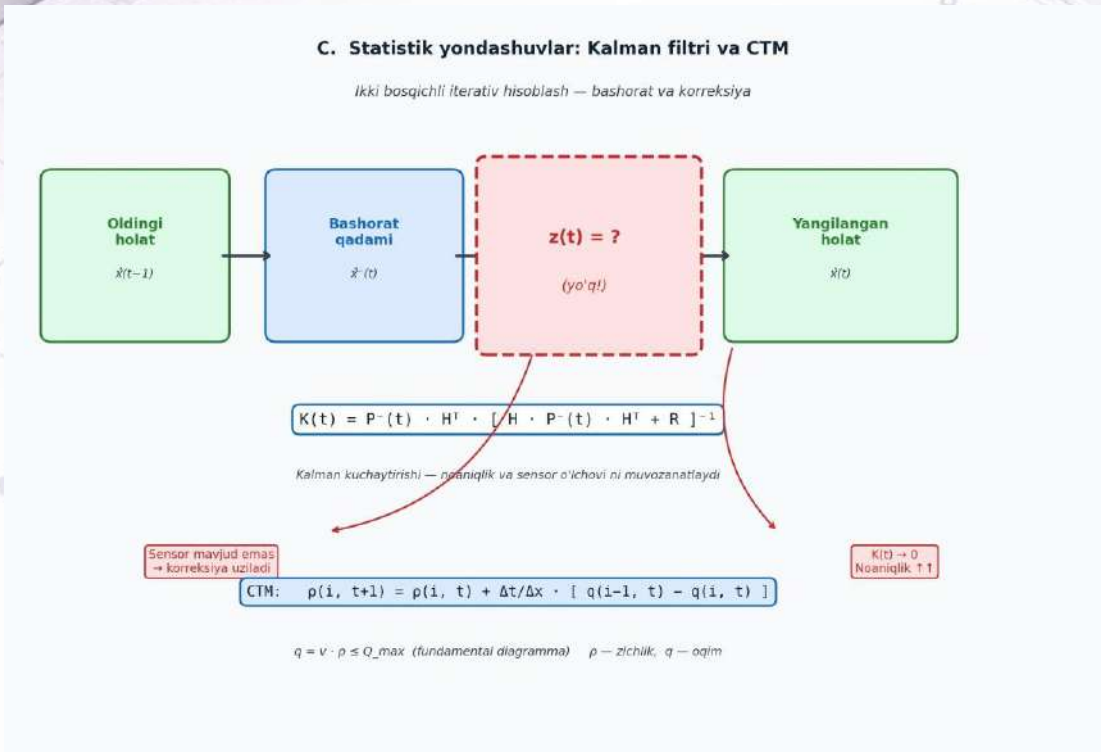
$$\widehat{x^{-}}(t) = F \cdot \hat{x}(t-1)$$

2-bosqich — Korreksiya va yangilanish:

$$\hat{x}(t) = \widehat{x^{-}}(t) + K(t) \cdot [z(t) - H \cdot \widehat{x^{-}}(t)]$$

Bu yerda *K(t)* — Kalman kuchaytirish koeffitsiyenti (Kalman gain), *z(t)* — sensorlar orqali olingan real o‘lchov ko‘rsatkichi [3]. Cheklangan sensorlar tarmog‘i sharoitida muayyan yo‘l segmentlarida o‘lchov ma’lumotlari mavjud bo‘lmaganda, filtrda korreksiya uzilishi sodir bo‘ladi, ya’ni $K(t) \rightarrow 0$ holatiga keladi. Natijada, tizim holatini baholash faqatgina yo‘naltiruvchi dinamik model bashoratiga tayanib qoladi va bu matematik noaniqlikning eksponensial ravishda ortishiga olib keladi. Aynan ushbu stoxastik cheklov Kalman filtrining cheklangan qamrovli muhitlarda qo‘llanilish samaradorligini keskin pasaytiradi.

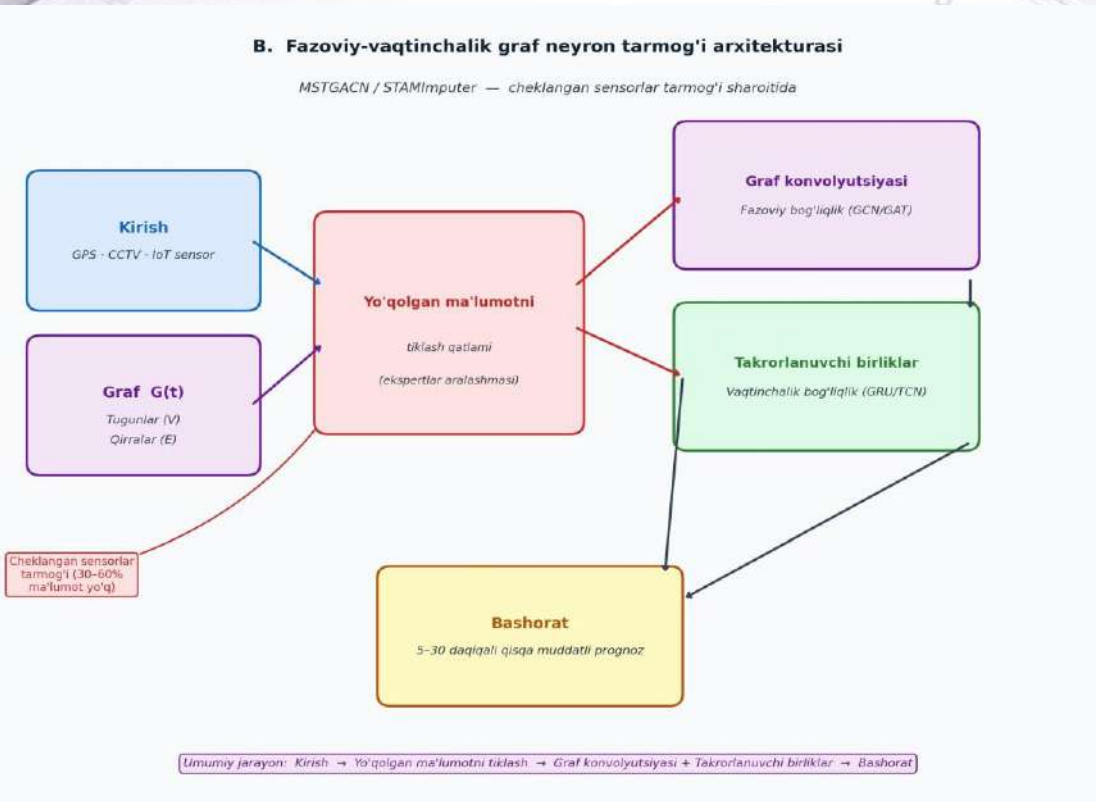
ISSN 3030-3907



2-rasm. Kalman filtri ikki bosqichli iterativ sxemasi va cheklangan sensorlar tarmog‘i sharoitidagi korreksiya uzilishi

3.4. Fazoviy-vaqtinchalik graf neyron tarmoqlar

ST-GNN (Spatial-Temporal Graph Neural Networks) modellarida shahar transport infratuzilmasi topologik jihatdan funksional graf strukturasi ko‘rinishida ifodalanadi: bunda chorrahalar graf tugunlari *V*, yo‘l kesimlari esa ularni bog‘lovchi qirralar *E* hisoblanadi. Mazkur arxitekturada transport oqimining fazoviy bog‘liqliklari graf konvolyutsiyasi operatorlari yordamida, vaqtinchalik dinamik qonuniyatlari esa geytlangan takrorlanuvchi birliklar (GRU) yoki kengaytirilgan konvolyutsion tarmoqlar (Dilated Convolution) mexanizmlari orqali chuqur tahlil qilinadi va o‘rgatiladi. Jiang va Luo (2022) tomonidan taqdim etilgan tizimli ilmiy sharhda 2018–2021-yillar oralig‘ida yaratilgan 200 dan ortiq yetakchi GNN modellari tahlil qilingan bo‘lib, unda fazoviy-vaqtinchalik graf neyron tarmoqlari (ST-GNN) yondashuvi transport oqimlarini va davriy holat ko‘rsatkichlarini yuqori aniqlikda bashorat qilishda eng samarali metodologiya ekanligi ilmiy jihatdan tasdiqlangan [10].



3-rasm. Fazoviy-vaqtinchalik graf neyron tarmog‘i (MSTGACN/STAMImputer) arxitekturasi

DCRNN modeli diffuzion konvolyutsiya orqali yo‘l tarmog‘ida trafik ma’lumotlarining ikki yo‘nalishda tarqalishini modellashtiradi. Normalizatsiyalangan o‘tish matritsasi $D^{-1}W$ asosida fazoviy bog‘liqlik o‘rganiladi [14]. Asosiy cheklov — to‘liq sensor qamrovi mavjudligi taxmin qilinishi.

MSTGACN — aynan cheklangan ma’umotlar uchun ishlab chiqilgan model. U transport trafigidagi uch xil davriylikni alohida komponentlarda o‘rganadi. Graph convolution qatlami: $H^{(l+1)} = \sigma(W^{l} \cdot \hat{A} \cdot H^{l} + b^{l})$, bu yerda $\hat{A} = D^{(-1/2)} \cdot A \cdot D^{(-1/2)}$ — normalizatsiyalangan qo’shnilik matritsasi. Liu va boshq. (2021) tadqiqotida 88,4% sensor yo‘qolishida MAE = 3,22 ko‘rsatildi — bu shu sharoitda DCRNN ning MAE = 3,64 natijasidan sezilarli yaxshi [9].

STAMImputer ekspertlar aralashmasi (MoE) mexanizmidan foydalanib, bloklangan ma’lumot yo‘qolishini tiklaydi. E’tibor mexanizmi (Attention): $\text{Attention}(Q,K,V) = \text{softmax}(QK^{T}/\sqrt{d_k}) \cdot V$. 60% bloklangan yo‘qolish sharoitida NYC-Taxi da MAE = 5,34 — amaliy joriy etish uchun qabul qilinarli chegara [15].

Zhou va boshq. (2024) tomonidan taklif qilingan Dirichlet Graph Auto-Encoder (DGAE) modeli sensor o‘rnatilmagan yo‘l kesimlarida trafik holatini grafik qo‘shni ma’lumotlaridan tiklaydi. 1000 ta segmentli katta tarmoqda sparse

ISSN 3030-3907

data sharoitida ishonchli natija ko‘rsatilgan bo‘lib, bu model shahar miqyosidagi TSE uchun yangi perspektiv yo‘nalishni ifodalaydi [16].

4. Algoritmlarning beshta mezon bo‘yicha qiyosiy tahlili

1-jadvalda 3-bo‘limda belgilangan beshta mezon bo‘yicha barcha algoritmlarning qiyosiy baholash natijalari keltirilgan. Har bir katakchadagi baho adabiyotlarda keltirilgan empirik natijalar va nazariy tahlil asosida shakllantirilgan.

1-jadval.

Algoritmlarning beshta mezon bo‘yicha qiyosiy baholash jadvali

Algoritm	Murakkablik	Sparse data	Ko‘p manba	Real vaqt	Din. og‘irlik	Umumiy baho
Dijkstra	O(V log V+E)	Yo‘q	Yo‘q	Qisman	Ha (modif.)	Past
TDSP	O‘rta	Yo‘q	Yo‘q	Ha	Ha	O‘rta
CTM	O(N·T)	Qisman	Yo‘q	Ha	Ha	O‘rta
Kalman filtri	O(n^2)	Ha (<50%)	Qisman	Ha	Ha	O‘rta
DCRNN	Yuqori	Yo‘q	Qisman	Yo‘q	Ha	Past
Graph WaveNet	O‘rta	Yo‘q	Yo‘q	Qisman	Ha	O‘rta-past
MSTGACN	O‘rta	Ha (88%)	Qisman	Ha	Ha	Yuqori
STAMImputer	O‘rta	Ha (60%)	Ha	Ha	Ha	Juda yuqori

Jadval natijalari shuni ko‘rsatadiki, klassik grafik algoritmlar beshta mezondan eng ko‘pi ikkitasini qondira oladi. CTM va Kalman filtri sparse data bilan qisman ishlashi mumkin, lekin ko‘p manbali integratsiyada zaif. Faqat MSTGACN va STAMImputer to‘rtta va beshta mezonni bir vaqtda qondiradi — bu ularni cheklangan sensorlar tarmog‘i sharoitida trafik holatini baholash uchun eng mos sinfga kiritadi.

5. Cheklangan sensorlar tarmog‘i sharoitida raqamli taqqoslama

2-jadvalda tanlangan modellarning xalqaro namunaviy datasetlardagi raqamli natijalari keltirilgan. Barcha qiymatlar original tadqiqotlarda chop etilgan natijalar asosida tuzilgan.

ISSN 3030-3907

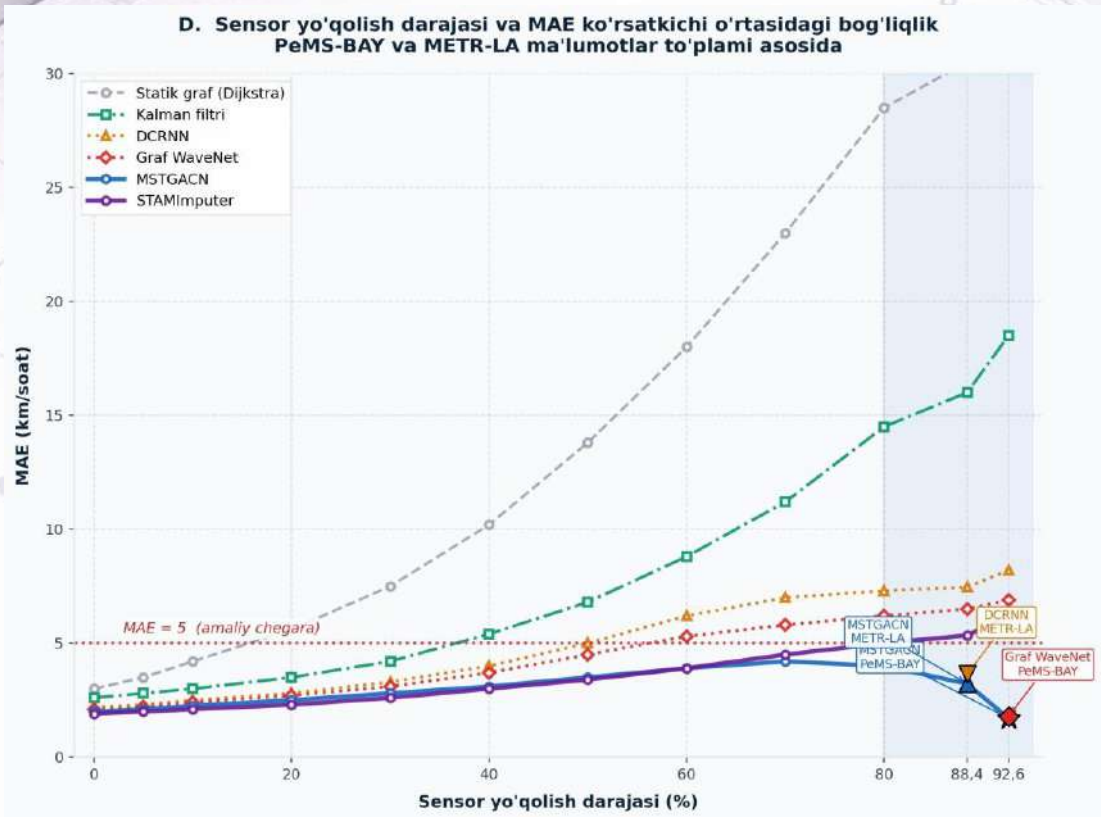
2-jadval.

Cheklangan sensorlar tarmog'i sharoitida algoritmlar samaradorligi

Algoritm	Ma'lumotlar to'plami	Sensor yo'qolishi	MAE	RMSE	Asosiy cheklov (manba)
MSTGACN	PeMS-BAY (24/325)	92,6%	1,70	3,90	Ob-havo va hodisalar hisobga olinmagan [9]
MSTGACN	METR-LA (24/207)	88,4%	3,22	6,47	Real vaqt anomaliyalarini e'tiborsiz qoldiradi [9]
Graph WaveNet	PeMS-BAY (24/325)	92,6%	1,79	4,21	Fazoviy bog'liqlik bir marta hisoblanadi [14]
DCRNN	METR-LA (24/207)	88,4%	3,64	7,46	Gradient portlashi, cheklangan qamrov sharoitida barqarorligi past [14]
STAMImputer	PeMSD8	25%	11,41	—	Turg'un bo'lmagan trafik taqsimotida moslikni yo'qotishi [15]
STAMImputer	NYC-Taxi	60%	5,34	—	Ko'p manbali ma'lumot integratsiyasi mavjud emas [15]
DGAE (Zhou, 2024)	Katta tarmoq 1000 seg.	Yuqori (tabiiy)	Raqobatbardosh	—	Urban miqyosda sparse TSE uchun yangi perspektiv [16]

Raqamli natijalar tahlilidan ko'rinib turibdiki, sensor yo'qolishi 30 foizdan oshganda klassik modellar MAE ko'rsatkichida keskin yomonlashadi. MSTGACN modeli 88–92% sensor yo'qolishi sharoitida DCRNN va Graph WaveNet modellariga nisbatan barqarorroq ishlashini ko'rsatadi — MAE da 12,1 foizga yaxshi natija (3,22 vs 3,64 METR-LA da). STAMImputer esa 60% bloklangan yo'qolish sharoitida ham amaliy chegarada (MAE < 6) ishlash imkoniyatini saqlab qoladi [9, 15]. Cheklangan sensorlar tarmog'i sharoitida shahar trafik holatini baholash masalasida ko'p manbali grafga asoslangan yondashuvlar eng istiqbolli yo'nalish sifatida baholandi.

ISSN 3030-3907



4-rasm. Sensor yo‘qolish darajasi va MAE ko‘rsatkichi o‘rtasidagi bog‘liqlik (PeMS-BAY / METR-LA)

6. O‘rta hajmli shaharlar uchun algoritmni tanlash tavsiyasi

O‘zbekiston shaharlari uchun uchta asosiy cheklov mavjud: sensor qamrovi 30–50%, hisoblash resurslari cheklangan (chekka qurilmalar), ma’lumot manbalari xilma-xil (avtobus GPS, taksi GPS, CCTV). Bu cheklovlar asosida quyidagi tavsiya shakllantiriladi:

MSTGACN — sparse coverage sharoitida dastlabki bosqich uchun optimal tanlov. METR-LA va PeMS-BAY ochiq datasetlarida sozlanib, Toshkent/Urganch avtobus GPS ma’lumotlari bilan moslashtiruvchi qayta o‘qitish orqali moslashtirilishi mumkin.

STAMImputer — bloklangan ma’lumot yo‘qolishi keng tarqalgan hududlarda (masalan, tungi soatlar) yoki kamera uzilishlari tez-tez yuz beradigan tarmoq qismlarida qo‘llash uchun maqbul.

Kalman filtri yordamchi modul — real vaqtda sensor uzilishini tezda aniqlash va GNN modeliga signal berish uchun yengil qo‘shimcha komponent sifatida.

Kelgusidagi tadqiqotda MSTGACN asosida ko‘p manbali vaznlashtirilgan graf tizimi modeli ishlab chiqilishi rejalashtirilgan. Ushbu tizim modeli avtobus GPS, taksi GPS va CCTV ma’lumotlarini har manba uchun ishonchlilik og‘irligi berish orqali yagona dinamik grafga birlashtiradi va Toshkent/Urganch shaharlarida joriy etish uchun moslashtiriladi.

ISSN 3030-3907

7. XULOSA.

Mazkur maqolada cheklangan sensorlar tarmog‘i sharoitida shahar transport tarmoqlarida trafik holatini baholashning grafga asoslangan yondashuvlari beshta ilmiy mezon asosida qiyosiy tahlil qilindi. Tahlil uchta asosiy xulosani beradi.

Birinchi xulosa: klassik grafik algoritmlar (Dijkstra, TDSP) marshrutlashtirish uchun samarali bo‘lsa-da, sensor yo‘qolishi 30 foizdan oshganda trafik holatini baholashda samarasiz bo‘lib qoladi — beshta mezondan ikki yoki uchtasini qondira oladi.

Ikkinchi xulosa: MSTGACN modeli 88–92% sensor yo‘qolishi sharoitida ham DCRNN va Graph WaveNet modellariga nisbatan barqarorroq ishlashini ko‘rsatdi: PeMS-BAY ma’lumotlar to‘plamida MAE = 1,70 (DCRNN — 3,64), METR-LA da MAE = 3,22 (DCRNN — 3,64). STAMImputer esa 60% bloklangan yo‘qolishda ham MAE = 5,34 bilan amaliy chegarada ishladi.

Uchinchi xulosa: cheklangan sensorlar tarmog‘i sharoitida shahar trafik holatini baholash masalasida ko‘p manbali grafga asoslangan yondashuvlar eng istiqbolli yo‘nalish sifatida baholandi. Kelgusida MSTGACN asosidagi ko‘p manbali vaznlashtirilgan graf tizim modeli ishlab chiqilishi va O‘zbekiston shaharlari real ma’lumotlari asosida sinovdan o‘tkazilishi ko‘zda tutilgan.

ADABIYOTLAR

1. Natterer E., Loder A., Bogenberger K. Graph neural network approach to predict the effects of road capacity reduction policies // Transportation Research Board 104th Annual Meeting. — Washington D.C., 2024. — 18 p.
2. Prezident farmoni. Toshkentda 255 ta chorrahadagi svetofor tizimini intellektuallashtirish to‘g‘risida. — Toshkent, 2024.
3. Xing J., Wu W., Cheng Q., Liu R. Traffic state estimation of urban road networks by multi-source data fusion: Review and new insights // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. — 2022. — Vol. 595. — P. 127079.
4. Muxamedov M.R., Tojiboyev T. Forecasting Traffic Flow Using Machine Learning Algorithms // MDPI Engineering Proceedings (EEPES’24). — Kavala, Greece, 2024.
5. Spatio-Temporal Traffic Congestion Forecasting in Tashkent City Using a CNN-LSTM Deep Learning Model // Pioneering Studies and Theories. — 2025. — Vol. 1, No. 6.
6. Hamzayev J.F. Trafik oqimlariga intellektual ishlov berish algoritmlari va dasturiy majmuasini ishlab chiqish: PhD dissertatsiyasi. — Toshkent: TATU, 2025. — 152 b.

ISSN 3030-3907

8. Allamov O.T. Graflar nazariyasi asosida marshrutlarni tanlash masalasini yechish usul va algoritmlari: PhD dissertatsiyasi. — Toshkent: TATU, 2018. — 139 b.
9. Ferone D., Festa P., Napoletano A., Pastore T. Shortest paths on dynamic graphs: A survey // Pesquisa Operacional. — 2017. — Vol. 37(3). — P. 487–508.
10. Liu S., Dai S., Sun J., Mao T., Zhao J., Zhang H. Multicomponent Spatial-Temporal Graph Attention Convolution Networks for Traffic Prediction with Spatially Sparse Data // Computational Intelligence and Neuroscience. — 2021. — ID 9134942.
11. Jiang W., Luo J. Graph neural network for traffic forecasting: A survey // Expert Systems with Applications. — 2022. — Vol. 207. — P. 117921.
12. Dijkstra E.W. A note on two problems in connexion with graphs // Numerische Mathematik. — 1959. — Vol. 1. — P. 269–271.
13. Hart P.E., Nilsson N.J., Raphael B. A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths // IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics. — 1968. — Vol. 4(2). — P. 100–107.
14. Daganzo C.F. The cell transmission model: A dynamic representation of highway traffic // Transportation Research Part B. — 1994. — Vol. 28(4). — P. 269–287.
15. Li Y., Yu R., Shahabi C., Liu Y. Diffusion convolutional recurrent neural network: Data-driven traffic forecasting // ICLR. — Vancouver, 2018. — 16 p.
16. Wang Y., Peng H., Wang S., Du H., Liu C., Wu J., Wu G. STAMImputer: Spatio-Temporal Attention MoE for Traffic Data Imputation // Proceedings of IJCAI-2025. — Montreal, 2025.
17. Zhou Q., Zhang Y., Makridis M., Kouvelas A., Wang Y., Hu S. Network-wide freeway traffic estimation using sparse sensor data: A Dirichlet graph auto-encoder approach // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. — 2024.
18. Fang C. et al. The analysis of impact on the performance of traffic prediction models brought by missing data // International Journal of Intelligent Transportation Systems Research. — 2025. — DOI: 10.1007/s13177-025-00540-6.

ISSN 3030-3907

TAR MAXSULOTIDAN OLINGAN PECH YONILG‘ISI VA NAFTA ASOSIDA NEFTSIZ YOQILG‘I KOMPLEKSINI YARATISH.

Sharofiddinov Ismoiljon Ikromovich
Farg‘ona Davlat Universiteti Kimyo kafedrasi mustaqil izlanuvchi
E-mail:litseron@rambler.ru
Axmadaliyev Maxammadjon Axmadaliyevich
Farg‘ona Davlat Universiteti Kimyo kafedrasi professori
E-mail: ahmadaliev1948@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada neftmaxsulotlarisiz xususan gazni qayta ishlash jarayoni maxsulotlaridan foydalangan xolda yoqilg´i aralashmasini tayyorlash asoslari ko´rib chiqilgan hamda uning kerakli xarakteristikalari va uning ilmiy asoslarini o´rganilib, ishlab chiqarish eng maqbul variantini tanlanilib olinib uning amaliy tadbiqining kelajak istiqbol ishlatilishi ko´rsatilgan.

Kalit so´zlar: nafta, benzin, dizel yoqilg‘isi, parafin, motor yoqilg‘isi, oktan soni, ksilol, ferrotsen.

Аннотация. В данной статье рассматриваются основы приготовления топливной смеси без нефтепродуктов, в частности с использованием продуктов переработки газа, изучаются ее необходимые характеристики и научные основы, выбирается наиболее оптимальный вариант производства и показаны перспективы ее практического применения.

Ключевые слова: нафта, бензин, дизельное топливо, парафин, моторное топливо, октановое число, ксилол, ферроцен.

Abstract: This article examines the basics of preparing a fuel mixture without petroleum products, in particular using gas processing products, and studies its necessary characteristics and scientific foundations, selects the most optimal production option, and shows the future prospects for its practical application.

Keywords: naphtha, gasoline, diesel fuel, paraffin, motor fuel, octane number, xylene, ferrocene.

KIRISH.

Global neft zaxiralari kamayib borayotganligi va dunyodagi notinch vaziyat xususan yaqin Sharqdagi og‘ir vaziyat sababli, gaz-kimyo sanoatidan olinadigan mahsulotlarga talab tobora ortmoqada. Biroq, neft qayta tiklanmaydigan resursdir va uning zaxiralari, hatto uzoq kelajakda ham, oxir-oqibat tugab qoladi. Shell geologi va neft ta'minoti masalalari bo‘yicha taniqli mutaxassis doktor King Hubbert 1956-yilda uzoq muddatli prognoz berib, global neft qazib olish 1970-yillarning boshlarida eng yuqori cho‘qqisiga chiqishini, shundan so‘ng u asta-sekin pasayishni boshlashini bashorat qilgan edi. Sanoat yanada rivojlangan sari energiyaga talab ortib boradi biroq, neft zahiralari kamaygani sababli qazib olish asta-sekin kamayib boradi va tobora qimmatlashib

ISSN 3030-3907

boradi. Bunday vaziyatda ishlab chiqarilgan neft mahsulotlariga nisbatan raqobatbardoshlik ortib yoqilg‘iga, ayniqsa benzinga talab ortadi. Yashil energiya manbaalari xususan biodizel yoki shu kabi maxsulotlar jamoatchilik talabini qondira olmasligi aniq vaziyatdir. Bunda eng maqbul variant sifatida gaz kimyo maxsulotari qolmoqda.

O‘zbekiston boshqa mamlakatlar bilan bir qatorda gaz-kimyo mahsulotlari ishlab chiqarish hajmini ham oshirmoqda. Xususan, bu borada eng ilg‘or zavodlar sifatida ikkita asosiy zavod alohida e’tiborga loyiq: Ustyurt gaz-kimyo majmuasi va O‘zbekiston GTL.

O‘zbekiston GTL dunyodagi eng ilg‘or zavodlardan biri bo‘lib, havo ifloslanishini minimallashtiradigan, transport uchun toza kelajakni ta’minlaydigan va iqtisodiy o‘sish va rivojlanishni rag‘batlantiradigan yuqori sifatli yoqilg‘i ishlab chiqaradi. Uning mahsulotlaridan biri naftadir. GTL naftasi neft, gaz va kimyo sanoati uchun muhim bo‘lgan qimmatli xom ashyo hisoblanadi. U tarkibida yuqori parafin miqdori mavjud va deyarli aromatik uglevodorodlar va oltingugurtdan xoli. Nafta yoqilg‘i, erituvchi va benzin qo‘shimchasi sifatida ishlatiladigan mahsulotdir. “O‘zbekiston GTL” MChJ naftaning ikki turini ishlab chiqaradi: - Parafin miqdori kamida 98%, o‘ta past oltingugurt bo‘lgan yuqori sifatli sintetik nafta - Parafin miqdori kamida 70%, o‘ta past oltingugurt bo‘lgan “A” sinfidagi sintetik nafta.

1-Jadval

Quyida naftaning asosiy tarkibi keltirilgan

№	Uglevodorod	%
1	n-parafinlar	71,214
2	Izo-parafinlar	27,5415
3	olefinlar	0,0502
4	Naftenlar	0,9848
5	Aromatic uglevodlar	0,2095

Taqdim etilgan ma'lumotlardan ko‘rinib turibdiki, nafta to‘yingan uglevodorodlardan iborat. Biroq, uni benzin kabi motor yoqilg‘isi sifatida mustaqil ravishda ishlatib bo‘lmaydi, chunki u tarkibida tarmoqlangan uglevodorodlar kam, aromatik uglevodorodlar yo‘q (ular moylash komponenti vazifasini bajaradi) va zichligi past.

Shu sababli uni kompleks yoqilg‘i sifatida qo´llash maqsadaga muvofiqdir. Bunda tarkibga qo´shiluvchi pech yonilg‘isi moylash funksiyasini, ksilol yonish tezligini oshirish, ferrotsen esa antidetonatsion vazifani bajaradi.

Bundan tashqari olingan yoqilg‘ini yonish effekti ham tekshirildi. Qoida tariqasida, shuni autish lozimki suyuqlikning isishi suyuqlikning chegara

ISSN 3030-3907

sirtlaridan notekis ravishda sodir bo‘ladi. Agar bu xususiyatlar doimiy bo‘lsa, Maksvell muammosining yechimi Furye muammosidan mustaqil bo‘ladi. Agar ichki issiqlik kuchlanishining yo‘nalishi Burger qonuniga bo‘ysunsa, 1, 2 va 3-turdagi assimetrik chegara shartlari uchun analitik bog‘liqliklarni olish mumkin.

Yutilgan issiqlikka mutanosib issiqlik manbai Burger qonuni bilan tavsiflanadi:

$$q_v(\mathrm{x}) = q_{v_0} e^{-kx}$$

qv — ichki issiqlik manbaining tok zichligi Wt/m^3,
q_{v0} — ichki manba zichligining maksimal qiymati Wt/m^3,
k — issiqlik yutilish koeffitsienti 1/m
x — ko‘ndalang koordinata, m.

Benzin va dizel yoqilg‘isining I turdagi turli chegara sharoitlarida isitish rejimini aniqlovchi differensial tenglamalar tizimi quyidagicha ifodalanadi:

$$\partial T(\mathrm{x},t) = \alpha \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} + \frac{q_v}{c\rho} e^{-kx}$$

$$T(x,0) = f(x)$$

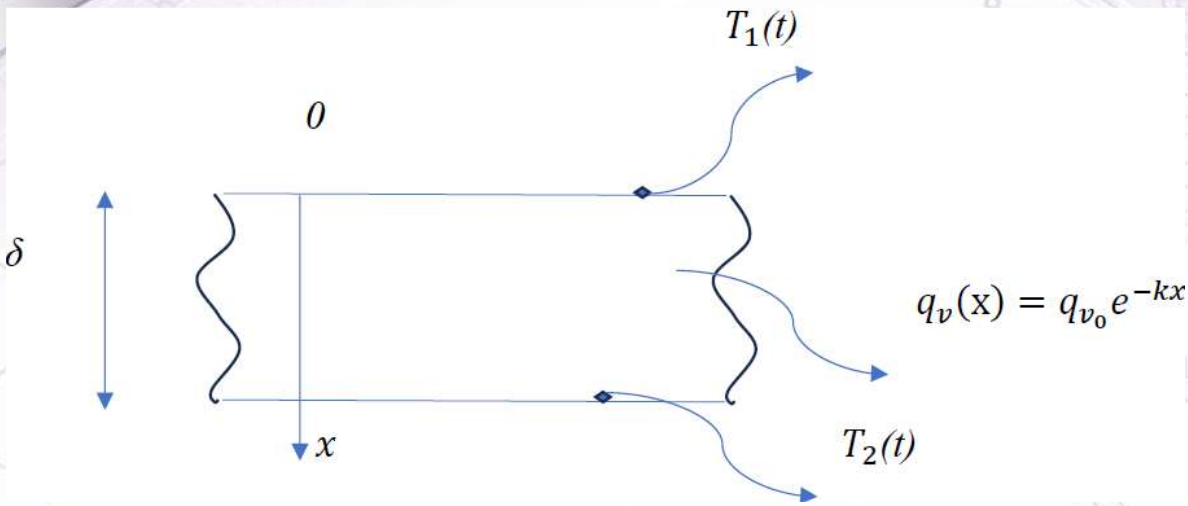
$$T(0,t) = T_1(t)$$

$$T(\delta,t) = T_2(t)$$

T(x,t)—joriy harorat (K)
α—issiqlik o‘tkazuvchanligi (m^2)
c—issiqlik sig‘imi (J/kg)
ρ—zichlik (kg/m^3)
t—vaqt

Ushbu maqolada biz ushbu differensial tenglamalar tizimini 1, 2 va 3-turdagi assimetrik chegara shartlarida yechish usulini batafsil muhokama qilmaymiz. Biz faqat yechimga chekli Furye sinus o‘zgarishi yordamida erishilganligini ta'kidlaymiz.

ISSN 3030-3907



MATERIALLAR VA METODLAR.

Benzinga o‘xshash avtomobillar uchun motor yoqilg‘isi sifatida foydalanishga yaroqli bo‘lmagan neft bo‘lmagan yoqilg‘i aralashmasini tayyorlash uchun xom ashyo sifatida premium sintetik nafta, tozalangan va tiniqlashtirilgan isitish moyi, ortoksil, pentaisobutilen marganets va monometilanilin asosidagi "Gigant" oktanni oshiruvchi qo‘shimchasi va ferrosen (bis-η^5-siklopentadienil temir(II) $_2$Fe) ishlatilgan. Oktan sonini aniqlash uchun Octis-2 oktan o‘lchagichi va turli o‘lchamdagi gidrometrlar ishlatilgan.

Olingan analitik ma'lumotlarga asoslanib, eksperimental tadqiqotlar orqali yoqilg‘ini qayta ishlash apparatini loyihalash mumkin bo‘ldi.



1-rasm Yoqilg‘i qayta ishlashga imkon beruvchi qurilmaning fotosurati.

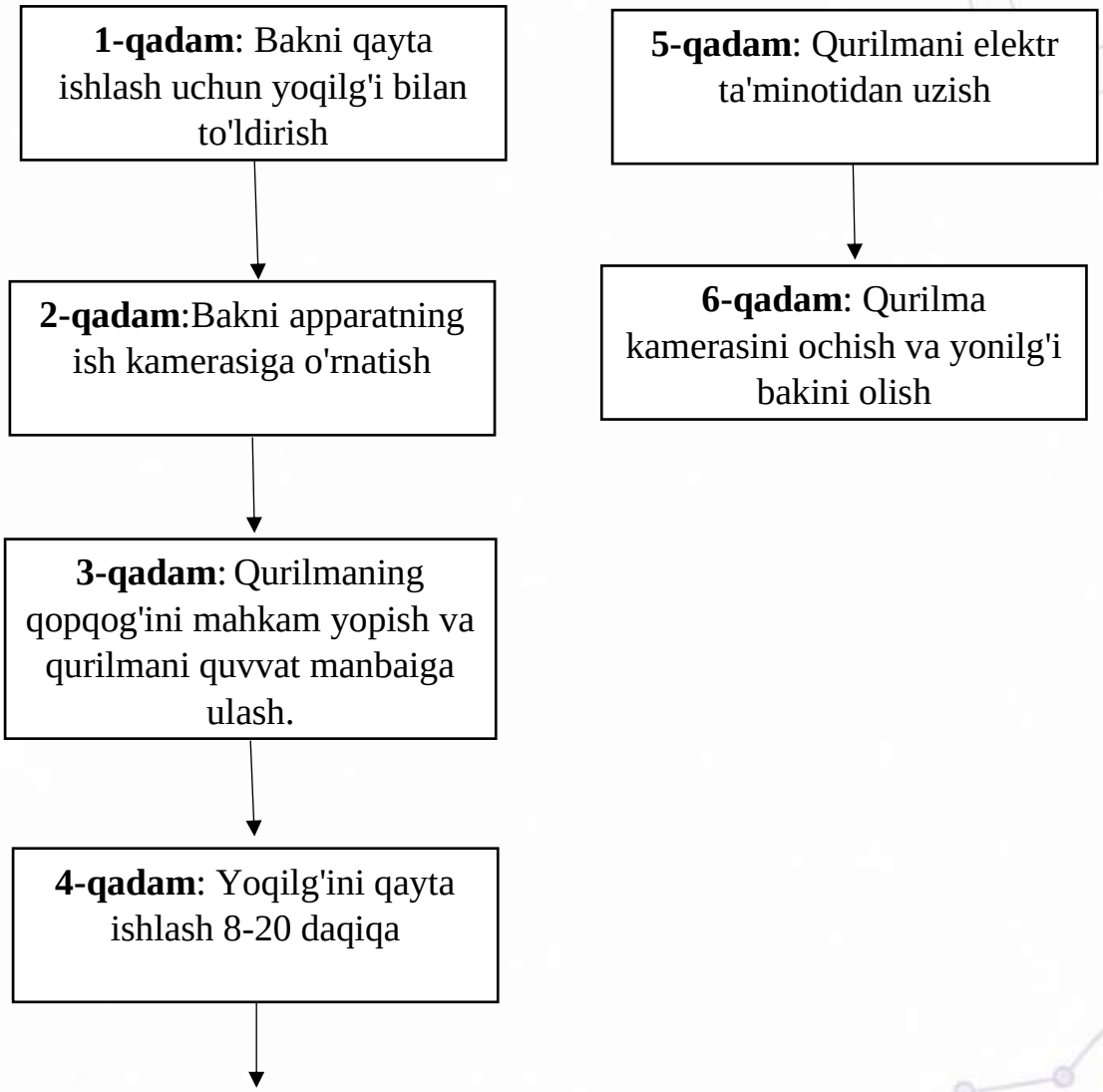
Qurilmaning texnik xususiyatlari:

1. Quvvat manbai: 220 V, 50 Gts.
2. Quvvat sarfi: 1000 Vt/soat.

ISSN 3030-3907

3. Sovutish usuli: havo/suv.
4. Ish kamerasi hajmi: 25 litr.
5. Ish maydoni hajmi: 10 litr.
6. Qurilma og‘irligi: 14 kg.
7. Quvvat transformatori: 900 V.
8. Isitgich.
9. Qurilmaning alohida komponentlarining issiqlik izolatsiyasi: Teflon, silikon va keramik jun.

Uskunaning ishlab chiqarish oqim sxemasi:



EKSPERIMENTAL QISM

Tajriba uchun 5 xil turdagi aralashma kompleksini tayyorlandi va ularni zichligi oktan soni va ichki yonuv dvigatelida yondirilib dvigatel shovqini o´lchab ko´rildi.

Natijalar quyidagi jadvalda keltirilmoqda

ISSN 3030-3907

1-Jadval

Yoqilg‘i aralashma kompekslari tarkibi va xossalari

№	Aralashma tarkibi(%)	Zichlik(kg/dm^3)	Oktan soni	Shovqin darajasi(dB)
1.	Sintetik nafta-100	0,6906	78	85
2.	Sintetik nafta-96 Ksilol-4	0,701	82	83
3.	Sintetik nafta-86 Pech yoqilg‘isi-10 Ksilol-4	0,715	82	82,5
4.	Sintetik nafta-66 Gigant(oktankorrektor)-18 Pech yoqilg‘isi-12 Ksilol-4	0,741	104	80
5.	Sintetik nafta-73 Gigant-6 Pech yoqilg‘isi-15 Ksilol-4 Ferrotsen-2	0,725	93	78
6.	Sintetik nafta-69 Gigant-15 Pech yoqilg‘isi -10 Ksilol-4 Ferrotsen-2	0,732	100	76,5

NAVIGATOR benzin generatori bilan tajriba

Tajriba uchun eng yaxshi natijaga ega №5 va №6 arashmalar ikkita 1 litrli idishga quyildi. Quyidagi texnik xususiyatlarga ega ikkita bir xil NAVIGATOR benzin generatorlari ishlatilgan:

2-jadval

Navigator benzogenerator xarakteristikalari.

№			
1	Nominal quvvat	Wt	2500
2	Maksimal quvvat	Wt	2800
3	Kuchlanish/chastota	V/Gs	220/50
4	Dvigatel hajmi	Sm^3	163
5	Aylanishlar soni	Ayl./min	3000
6	Yoqilg‘i bak hajmi	l	23

ISSN 3030-3907

Har bir generatorning yonilg‘i baki 701 grammdan №5 va №6 yoqilg´i bilan to‘ldirildi. Sekundomer ishga tushirildi va ikkala generator ham bir vaqtning o‘zida ishga tushirildi. №5 yoqilg´i bilan birinchi generator aniq 59 daqiqa davomida yuksiz ishladi. №6 yoqilg´i bilan ikkinchi generator 1 soat 4 daqiqa va 40 soniya ishladi. №5 yoqilg´i bilan birinchi generator daqiqasiga 11,88 gramm benzin sarflandi, №6 yoqilg´i bilan ikkinchi generator esa daqiqasiga 10,86 gramm benzin sarflagandi.

XULOSA.

Shunday qilib, natijalardan ko‘rinib turibdiki, tayyorlangan 6-sonli aralashma 5-aralashmaga nisbatan yuqori oktan soniga va barqarorroq xususiyatlarni berdi. Shuni ta'kidlash kerakki, har bir komponent yoqilg‘iga individual xususiyatlar beradi - aromatik uglevodorodlarga boy ksilol va isitish moyi yuqori tezlikda yoqilg‘ining oktan sonini va kalorifik qiymatini oshiradi. Bundan tashqari 6-sonli aralashma bilan generatorni ishga tushirishda tejash daqiqasiga 1,02 grammni tashkil etdi. Bu shuni anglatadiki, generatorning har bir soati uchun tejamkorlik 9,3% ga teng bo‘ladi.

Neft mahsulotlarisiz yoqilg‘i aralashmasini yaratish katta salohiyatga ega, chunki O‘zbekistonda neft zaxiralari kichik, ammo yengil avtomobillar uchun motor yoqilg‘isi ishlab chiqarishda ishlatilishi mumkin bo‘lgan katta tabiiy gaz zaxiralari mavjud.

ADABIYOTLAR

1. file:///C:/Users/User/Downloads/diagnostika-dvigatelya-avtomobilya-postandartnym-normam-shuma.pdf
2. Нагарообразование и ресурс ДВС / В.М. Гуреев, А.М. Дружинин, Р.Р. Гельминов // Вестник машиностроения, 2009, № 1, С. 29-31.
3. Понадий О.М., Емельянов В.Е., Александрова Е.В., Онойченко С.Н.: Определение железа в автомобильном бензине. Химия и технология топлив и масел, 1996, №5, с.48-53;

ISSN 3030-3907

ТУРКИСТОНДА РОССИЯ ИМПЕРИЯСИ ИЖТИМОИЙ СИЁСАТИНИНГ АСОСИЙ ЙЎНАЛИШЛАРИ

Тўлқин Олимжонович Ахмедов
Ўзбекистон давлат жаҳон тиллари университети Халқаро журналистика факультети Ижтимоий фанлар кафедраси катта ўқитувчиси
Тел.:+998338500939
E-mail: tulqinolimjon@gmail.com

Аннотация. Ушбу мақолада 19-юзйилликнинг 60-йилларидан бошлаб Туркистон тупроқларида Россия империяси томонидан ўрнатилган мустамлакачилик тузуми, империя ҳукумати ҳамда ўлкадаги мустамлака маъмурият томонидан ижтимоий ҳаётнинг турли соҳаларида юритилган сиёсатнинг негизлари, моҳияти, асосий йўналишлари, мақсадлари ҳамда оқибатлари очиб берилган. Амалга оширилган тадқиқот доирасида Туркистонда Россия мустамлака бошқарув тизимининг ўрнатилиши, бу тизимнинг ҳуқуқий асослари, тамойиллари ва ўз олдига қўйган мақсадлари, ўлкада амалга оширилган “руслаштириш” ва диний сиёсат ва пахта монополиясининг Туркистон ижтимоий ҳаётига таъсири каби масалалар очиб берилган.

Калит сўзлар: мусталака бошқарув, муваққат низом, музофот, аралашмаслик, рад этиш, руслаштириш, руслашиш, пахта монополияси, кўчириш сиёсати, рус кўчманлари.

Abstract. This article examines the colonial system established by the Russian Empire in Turkestan since the 1860s, the foundations, essence, main directions, objectives, and consequences of the policies pursued by the imperial government and colonial administration in various areas of social life in the country. The research examines topics such as the establishment of the Russian colonial system in Turkestan, its legal foundations, principles, and objectives, the "Russification" process underway in the country, religious policy, and the impact of the cotton monopoly on Turkestan's social life.

Keywords: colonial administration, temporary arrangement, tolerance, non-intervention, rejection, russification, cotton monopoly, resettlement policy, russian settlers.

Аннотация. В статье рассматривается колониальная система, созданная Российской империей в Туркестане с 1960-х годов, основы, сущность, основные направления, цели и последствия политики, проводимой имперским правительством и колониальной администрацией в различных сферах общественной жизни страны. В статье рассматриваются такие темы, как создание российской колониальной системы в Туркестане, её правовые

основы, принципы и цели, процесс «русификации», проходящий в стране, религиозная политика и влияние хлопковой монополии на общественную жизнь Туркестана.

Ключевые слова: колониальная администрация, временное устройство, толерантность, невмешательство, неприятие, русификация, обрусиние, хлопковая монополия, переселенческая политика, русские поселенцы.

КИРИШ.

Қарамликни бир халқнинг бошига тушиши мумкин бўлган энг катта бахтсизлик ўлароқ тавсифлаш мумкин. Туркистон тупроқлари ва аҳолиси ўз тарихи давомида бир неча марта босқинларга учради, лекин уларнинг ичида 19-юзйилликнинг 50-80-йилларида Россия империяси томонидан амалга оширилган босқин ва унинг оқибатида ўрнатилган мустамлака бошқарув тизими Туркистон ҳаётинининг барча жабҳаларида тузалмас яраларни қолдирди. Мустамлака сиёсат Туркистоннинг кейинги иқтисодий, ижтимоий ва маданий жиҳатдан ўсишига рағбат кўрсатмади, аксинча, бу ерда ишлаб чиқариш кучларининг ривожланишини тўхтатиб қўйди. Бошқарувдаги усуллар эса, ўзининг шафқатсизлиги билан аҳолининг империя маъмуриятига нисбатан ишончсизлиги ва норозилигини келтириб чиқарди (История народов Узбекистана, 1947: 253). Зеро, Россия империяси томонидан Туркистоннинг босиб олиниши тарихий тараққиётнинг мавжуд қонуниятларини бузилишига олиб келган тажоввузкорона хусусиятга эга бўлган ҳодиса эди (История УзССР, 1956: 107).

Туркистонда Россия мустамлака бошқарув тизимининг ўрнатилиши

1865 йил 2 мартда 1864-1865-йилларда Россия империяси томонидан Туркистонда босиб олинган ҳудудларда Оренбург генерал-губернаторлиги таркибига кирувчи Туркистон вилояти ташкил этилган эди (История Узбекской ССР, 1956: 100). Бу пайтда унинг аҳолиси 453 минг кишидан иборат бўлган (Абдурахимова, 2002: 29-30). Бу маъмурий-ҳудудий бирлик 1865 йил 6 августда тасдиқланган “Туркистон вилоятини бошқариш тўғрисида”ги Муваққат Низом асосида бошқарилган. “Муваққат низом”дан кўзланган асосий мақсад “бошқарувнинг умумий негизларини аниқлаштириш орқали империянинг янги мулкларида хотиржамлик ва хавфсизликни ўрнатиш” бўлганлиги таъкидланади. Туркистон вилоятдаги бутун ҳокимият ҳарбий маъмуриятнинг қўлида жамланган бўлиб, унга аҳоли устидан фақат умумий назорат ўрнатиш ва бунда унинг турмуш тарзи, ер-сув ва ҳуқуқий муносабатларига аралашмаслик вазифаси юклатилган эди (История Узбекской ССР, 1956: 102).

ISSN 3030-3907

1865 йил май-июн ойларида амалга оширилган ҳужумлар оқибатида Тошкент шаҳри Россия империяси қўшинлари томонидан босиб олинди. Босқинга бевосита етакчилик қилган генерал М.Г. Черняев шаҳарда империя ҳокимиятининг легитимлигини таъминлаш мақсадида дастлаб эътиқод ва одатлар дахлсизлигини эълон қилди; ерли аҳоли учун квартира ва ҳарбий мажбуриятларни бекор қилди; шариат судларини сақлаб қолди; Қўқон бошқаруви даврида мавжуд бўлган солиқлар ва йиғимларни тақиқлади ҳамда ерли аҳолини бир йилга барча солиқлар ва йиғимлардан озод қилди (Центральная Азия ..., 2008: 88).

1867 йилда Туркистон вилояти 1866 йилда империя қўшинлари томонидан босиб олинган Хўжанд, Нау, Ўратепа ва Жиззах ҳудудлари билан бирга Туркистон генерал-губернаторлигига айлантирилди. Мазкур маъмурий-ҳудудий бирлик 1867 йил 11 июлда тасдиқланган “Еттисув ва Сирдарё вилоятларини бошқариш тўғрисида”ги Муваққат Низом асосида бошқарилган. Янги “Низом”нинг асосий мазмуни “маъмурий ва ҳарбий ҳокимиятнинг бўлинмаслиги ҳамда ягона қўлларда жамланиши”дан иборат бўлиб, янги мустамлакадаги халқ оммасини доимий қўрқув ва итоатда ушлаб туришга имкон берган (История Узбекской ССР, 1956: 102). “Низомнинг асосий тамойиллари ўлкада мустамлакачи маъмуриятни мустаҳкамлаш; Туркистондаги бошқарув органлари тузилмасини империянинг ички губерняларига яқинлаштириш; сиёсий хусусиятга эга бўлмаган масалаларни ҳал этишни ерли аҳолидан сайланган шахсларга тақдим этиш ҳамда империя қонунлари жорий этилмаган ҳуқуқий муносабатлар соҳаларида шариат ва одатларни сақлаб қолишдан иборат эди (Центральная Азия ..., 2008: 91).

Шуни алоҳида таъкидлаш лозимки, Туркистон ўлкаси катта қисмининг Россия империяси томонидан босиб олиниши ҳамда бир вақтнинг ўзида, Бухоро ва Хива давлатларининг империяга қарам бирликларга айланиши, ички ўзаро урушлар, ҳудудий ва иқтисодий тарқоқликка барҳам берган бўлса-да, Туркистонни янада қалин қобиққа ўраб, унинг ички ва ташқи алоқаларига жиддий зарба берди (История Узбекской ССР, 1956. С. 310).

Туркистонда амалга оширилган босқинчилик урушлари оқибатида 19-юзйиллик 60-йилларидан ўлкада Россия империяси бошқарув тартиблари ўрнатила бошланди. Бу энг аввало қуйи бошқарув мансабдор шахсларини сайлаш тартиби жорий этилишида намоён бўлди ва бу ўлкани европалаштириш ва руслаштириш тенденциясининг ёркин намунаси эди. Туркистонда мавжуд элита ўзининг устунлигини йўқотди. Уларга империяда амалда бўлган наслий унвонлар берилмади, мол-мулкларининг

ISSN 3030-3907

аҳамиятли қисми тортиб олинди. Улар мустамлакачи маъмурият томонидан ўзининг “садоқати” ва ўлкани бошқариш ишларига қанчалик жалб этилганлигига қараб фойдаланилди (Центральная Азия ..., 2008: 86).

Туркистонда ўрнатилган рус бошқарувининг ташкилий тамойиллари ва фаолиятини таҳлил қилар эканмиз, қуйидаги иккита ёндашув кўзга ташланади:

1) “қаттиқ” – чекланмаган ҳуқуқларга эга бўлган ҳарбий-халқ бошқарувининг жорий этилиши;

2) “юмшоқ” – бошқарувда миллий институтлардан фойдаланий ва урф одатларнинг ҳисобга олиниши.

Айтиш лозимки, бу ёндашувлар кейинги 50 йил давомида (1867-1917 йиллар) бир-бири билан кесишган, бир-бирини тўлдирган ҳамда Туркистон ўлкасида империя бошқарувининг барча қирраларини, жумладан мустамлака сиёсатининг ижтимоий хусусиятларини ҳам белгилаб берган. Бу ёндашувлар ўлкада Россия империяси рус давлатчилигини имкон қадар сокин, тинч ва доимий равишда ўрнатиб боришга қаратилган эди (Центральная Азия ..., 2008: 87).

1868-1871-йилларда Россия империя томонилан Бухоро амирлигидан тортиб олинган ўрта Зарафшон воҳасида Зарафшон музофоти, 1873 йил май ойида Хива хонлигига қарши олиб олиб борилган уруш оқибатида қўлга киритилган ерларда Сирдарё вилояти таркибидаги Амударё бўлими ташкил этилди. Россия империясининг истилочилик юришлари бу билан чекланиб қолмади. 1876 йил 19 февралда Қўқон хонлиги тўлиқ босиб олинди ва Фарғона вилояти ташкил этилди.

Зарафшон музофоти 1868 йил 29 июнда тасдиқланган “Зарафшон музофотини бошқариш тўғрисида”ги Муваққат қоидалар асосида бошқарилган бўлса (Миллий архив, И-22/1/3/1-18), Амударё бўлими 1873 йилда К.П. фон Кауфман томонидан “ҳокимиятни кучайтириш ғоялари” билан суғорилган” (История Узбекской ССР, 1956:103), лекин империя ҳукумати томонидан тасдиқланмаган “Туркистон ўлкасини бошқариш тўғрисида”ги янги Низом лойиҳаси бошқарилган. Фарғона вилоятида ҳам самарали бошқарув тизимини жорий этиш бўйича айрим ишлар амалга оширилган. Бу ерда ҳам 1873 йилги Низом лойиҳаси амалда бўлган (суд ишларидан ташқари), вилоят бошқаруви ташкил этилган.

1871 ва 1873 йилларда К.П. фон Кауфман томонидан “Туркистон ўлкасини бошқариш тўғрисида”ги Низомнинг янги лойиҳалари ишлаб чиқилди. Улар умумимперия тамойилларига асосланган ва бошқарувнинг оғирлик марказини Петербургдан Тошкентга кўчиришни кўзда тутган эди. Низом лойиҳалари расман тасдиқланмаган бўлсада, 1873 йилги Низомнинг

ISSN 3030-3907

асосий унсурлари Зарафшон музофоти, Фарғона вилояти ва Амударё бўлимида амалиётга жорий этилди (Центральная Азия ..., 2008: 95-96).

1886 йил 12 июнда тасдиқланган “Туркистон ўлкасини бошқариш тўғрисида”ги Низомга Самарқанд вилояти ташкил этилди. Унинг таркибига Зарафшон музофотининг Самарқанд ва Каттақўрғон бўлимларидан ташқари, шу пайтгача Сирдарё вилояти таркибида бўлган Хўжанд ва Жиззах уезлари ҳам киритилди. 1881 йилда ташкил этилган, 1881-1890 йилларда Кавказ ноиблиги таркибида, 1890-1897 йилларда Ҳарбий вазирлик юритувида бўлган Каспийорти вилояти 1897 йилда Туркистон генерал-губернаторлиги таркибига ўтказилди (История Узбекской ССР, 1956: 100).

Шу тариқа фақат 19-юзйилликнинг охирига келиб Туркистон генерал-губернаторлигининг маъмурий-ҳудудий тузилиши тугалланди ва у бешта вилоятдан иборат бўлди. Унинг маъмурий тузилиши асосини Туркистон аҳолисини мустамлака қилиш мақсадида доимий бостириб бориш тамойили ташкил этган. Ўлканинг маъмурий тузилиши Туркистон халқларининг тарихий жойлашуви, уларнинг иқтисодий ва миллий манфаатларига тўла зид бўлган (История Узбекской ССР, 1956:103).

Туркистон ўлкасини бошқариш учун бир нечта Низом лойиҳалари ва Муваққат қоидалар ишлаб чиқилган, уларнинг айримлари бошқурувга жорий этилган бўлса-да, 1886 йил 11 июнда тасдиқланган “Туркистон ўлкасини бошқариш тўғрисида”ги Низом 1917 йилгача Туркистонда Россия империяси мустамлакачилик тизимининг асосий тамойилларини белгилаб берди ҳамда унинг ўлка аҳолисининг иқтисодий, ижтимоий ва маданий ҳаёти билан боғлиқ сиёсатини ишлаб чиқишда бош меъёрий-ҳуқуқий асосга айланди.

1886 йилги “Низом”дан кўзланган асосий мақсад мавжуд шароитлар ва аҳолининг эҳтиёжларига нисбатан мос бўлган фуқаролик бошқарувини ташкил этиш, ўлкада Россия империясини мустаҳкамлаш, уни бошқариш учун харажатларни камайтириш ва даромадларни кўпайтириш бўлиб, Туркистонни типик мустамлакага айлантириш, ўлкани эксплуатация қилишни осонлаштириш, аҳолисини қўрқувда ушлаб туриш ҳамда мустамлакачи маъмуриятга қарши энг кичик норозилик кўринишларини олдини олиш каби вазифалар илгари сурилган эди (История Узбекской ССР, 1956:103).

Туркистонда бошқарувни ташкил этишда империя ҳукумати мустамлака ва унинг аҳолиси устидан мустаҳкам эгаликни таъминлайдиган маъмурий аппаратни яратишга ҳаракат қилди. Кучли ҳарбий аппарат ташкил этилди ва бошқарувнинг барча қирралари унга бўйсундирилди. Шу билан бирга империя ҳукумати аҳолининг ҳукмрон (юқори – Т.А.)

ISSN 3030-3907

қатламларидан қуйи бошқарувни ташкил этишда фойдаланишга ҳаракат қилди ва уларнинг воситасида шартли сайлов негизларига асосланган қуйи (волост, қишлоқ ва овул) бошқарувни ташкил қилди. Шу тариқа Туркистонда ҳарбий маъмуриятнинг “сайланган” қуйи маъмурият билан ўзига хос ҳамоҳанглиги вужудга келди. Бу бошқарув расман (расмий ҳужжатларда) “ҳарбий-халқ бошқаруви” деб номланди (История народов Узбекистана, 1947: 255; История УзССР, 1956: 106). Янги Низомда маҳаллий аҳоли хўжалик ва ижтимоий ҳаётининг барча қирралари меъёрлаштирилган эди. Бу Туркистонда мустамлакачилик тартибларини янада мустаҳкамлашга имкон берган (История Узбекской ССР, 1956: 103). Шу билан бирга бир қатор мавжуд бошқарув институтлари (бирмунча янгиланган ҳолатда – Т.А.) сақлаб қолинган. Уларга ўлкани иқтисодий, сиёсий ва маданий қолоқликда сақлаш воситалари ўлароқ қаралган (История Узбекской ССР, 1956: 104).

Туркистонни “руслаштириш” сиёсати

Туркистонда Россия империяси ҳокимиятининг асосий таянчи “руслаштириш” сиёсати эди. “Руслаштириш” сиёсатининг асосий унсурлари маълум бир ҳудуднинг ижтимоий-маданий ўзлигини чеклаш, у ерда рус тили ва адабиётни фаол ёйиш, маҳаллий ҳокимият ва бошқарув органларини умумимперия органлари билан билан алмаштириш, православия ва рус маданиятини изчиллик билан ёйишдан иборат бўлиб, бу ерда “руслашиш” атамаси ҳам қўлланилади. Бу мажбурий бўлмаган, рус халқи билан табиий яқинлашиш, тил ва турмуш тарзи бўйича русга айланишдир (Центральная Азия ..., 2008: 171). Шу билан бирга мустамлака маъмурият Туркистонда “руслаштириш” сиёсатини тезлик билан амалга ошириб бўлмаслигини яхши тушунган ва бунда ерли аҳолининг норозилигини кучайтирмаслик ва ғалаёнларга олиб келмаслик кўзда тутилган.

Умуман олганда Туркистонни “руслаштириш” сиёсати 19-юзйиллик иккинчи ярмида Россия империяси мусталака бошқарувининг асосий стерженларидан бўлган. Ўз навбатида ўлкани “руслаштириш” сиёсий, иқтисодий, кадрлар тайёрлаш, ҳуқуқий, маданий ва маиший таркибга эга бўлиб, бу сиёсатда асосий рол таълимда эди. Бунда рус ва ерли аҳоли болаларини биргаликда ўқитиш ҳамда бу мактабларда рус тилида, рус дастурлари ва дарсликлари асосида ўқитишга катта аҳамият қаратилди.

Замонавий муаллифлардан айримлари Россия империяси Туркистонда мажбурий “руслаштириш” сиёсатини амалга оширмади, у фақат бу ҳудудни ўз таркибида мустаҳкамлашга ва янги ерларда умумимперия ўрнатмаларини ёйишга ҳаракат қилди (Центральная Азия...,

ISSN 3030-3907

2008: 177), деб таъкидласа-да, 20-юзйиллик бошларида Туркистонда хизматда бўлган рус маъмури А.Кривошеиннинг “Янги Туркистон ўзининг бепаёнлиги билан эскисидан қолишмайди, бойлиги ва маданияти билан уни ортда қолдиради ҳамда унинг янги аҳолиси руслар бўлади” (Кривошеин, 1912: 30; Центральная Азия ..., 2008: 151), деган сўзлари ўлкада “руслаштириш” сиёсатининг кўлами қанчалик бўлганидан далолат беради.

Диний сиёсат

К.П. фон Кауфман томонидан аҳоли ва унинг ижтимоий ҳаётига нисбатан муносабатларда ўзига хос тизим ишлаб чиқилган бўлиб, бу аҳолининг ҳаёти ва тарихан шаклланган урф-одатларига “аралашмаслик сиёсати” эди. Бу ишлар мавжуд институтлар ва ислом дини мафкураси доирасида сақланиб қолди. Кауфман ишлаб чиққан тизим бўйича мустамлака маъмурияти аҳолининг диний ҳаётига аралашмади ва уни моддий жиҳатдан қўллаб-қувватлашни тўхтатиб қўйди (История народов Узбекистана, 1947: 262). Шундай бўлсада, Туркистонда Россия империяси ҳокимияти ўрнатилгандан сўнг мулк ва вақф эгаларининг ерга эгалик қилиш ҳуқуқи тафтишдан ўтказилди, аксар ҳужжатлар “ноқонуний” деб топилди. Ерлар давлат ҳисобига ўтказилди, мактаб, мадраса ва масжидларнинг бинолари омборхона, қамоқхона (турма), госпиталлар ихтиёрига берилди (Абдурахимова, 2002: 90-91).

К.П. фон Кауфман томонидан ишлаб чиқилган тизим унинг вафотидан кейин ҳам сақланиб қолди. Фақат 1898 йилда содир бўлган Андижон қўзғалони Кауфман томонидан амалиётга жорий этилган “аралашмаслик” (рад этиш) сиёсатини шубҳа остига қўя бошлайди (Центральная Азия..., 2008: 119). Хусусан, 1898-1901 йилларда Туркистон генерал-губернаторлигини бошқарган С.М. Духовскийнинг “Туркистонда ислом” докладида ислом динига нисбатан муносабатнинг умумдавлат режасини ишлаб чиқиш, ўлкада мусулмон диний бошқармаси ташкил этилишига йўл қўймаслик, унинг вазифаларини маъмуриятга тақдим этиш тўғрисида таъкидланган эди. Андижон қўзғалони сабабларини ўрганган Ҳарбий вазирлик Бош штаби ҳам мавжуд яшаш тарзи ва диний қадриятларга қарши ўлкани руслаштиришни кучайтиришни таклиф қилди. Ҳарбий вазир А.Н.Куропаткин эса мусулмон руҳонийларининг ҳаракатлари устидан назоратни кучайтириш лозимлигини таъкидлаган эди (Центральная Азия..., 2008: 120).

Пахта монополиясининг Туркистон ижтимоий ҳаётига таъсири

Туркистонда пахта монополиясининг қарор топиши Марказий Осиё жамиятининг бутун ижтимоий-иқтисодий тузилиши, унинг ҳаракатланиш цикларини, уй хўжалигининг ишлашини ўзгартириб юборди. Хўжалик

ISSN 3030-3907

юритишдаги миллий хусусиятларга жиддий зарба берди. Ҳунарманд-косибчиликнинг кўплаб турлари йўқолишига олиб келди. Жамиятда ижтимоий-дифференциация – фарқлашув жараёни бошланди.

1880 йилларга келиб Туркистонда пахта монополиясининг қарор топиши аҳолининг миллий ва рус сармоясига бўлган молиявий қарамлигини кучайишига олиб келди. Масалан, ерга ишлов берадиган деҳқон оиласи уруғлик, озуқа ва бошқа харажатлар учун тахминан 70-80 рубл пул сарфлаган ва бу пул аксарият ҳолларда қарзга олинган. Бу жараёнда дастлаб миллий ва яҳудий сармоядорлар фаоли иштирок этганлигини, фақат 19-юзйилликнинг 90-йилларидан бошлаб империя банклари ҳам ўлкада юритилган пахта сиёсатининг бир қисмига айланганлигини алоҳида таъкидлаш лозим.

Масалан, 1889 йилда Туркистонда Давлат банкининг 1-бўлими очилган бўлса, 1898 йилга келганда ўлкада тижорат банкларининг илк бўлинмаси иш бошлади. 1912 йилда Туркистонда Давлат банкининг 7 та, тижорат банкларининг 40 та бўлинмалари ишлаб турган. Жаҳон уруши арафасида Туркистонда жами 265 та кредит ташкилотлари ишлаб турган (Центральная Азия..., 2008: 154). Натижада пахта етиштирувчи деҳқонларга аванс берадиган, етиштирилган ҳосилни улардан сотиб олиб, қайта сотадиган ўртакашлар (чистачи ва аравакашлар – Т.А.) гуруҳи пайдо бўлди. Табиийки, пахта ҳосилидан келадиган даромаднинг катта қисми уларга тегишли бўлган.

19-юзйилликнинг 80-йиллари охири – 90-йиллари бошларига келиб Туркистонда деҳқонларнинг ижтимоий аҳволи босқиннинг дастлабки йилларига нисбатан аҳамиятли даражада ёмонлашган бўлиб, бунинг асосий сабаблари қишлоқларда ерларнинг бой ва савдогарлар қўлида жамланиши ҳамда қишлоққа савдо-судхўрлик сармоясининг кириб келиши бўлган. Масалан, биргина 1889-1899 йилларда деҳқонлар томонидан Самарқанд уездида 15 минг, Жиззах уездида 5 минг десятина ер қарз ҳисобига сотиб юборилган (История Узбекской ССР, 1956: 130). Бу ҳам Россия империяси томонидан Туркистонда амалга оширилган пахта сиёсатининг аҳоли дастлаб иқтисодий, унинг ортидан ижтимоий ҳаётига қанчалик жиддий салбий таъсир кўрсатганининг ёркин далилларидан биридир.

Кўчириш сиёсати ва рус кўчманлари

Мустамлакачиликнинг дастлабки йилларида шаҳарларда яшаган рус аҳолисининг асосий қисмини зобитлар ва аскарлар, маъмурлар ва савдогарлар ташкил этган бўлса, кейинроқ уларнинг сафини фабрика-завод ишчилари, хусусий фирмалар хизматчилари, рус зиёлилари тўлдира бошлади. Россия империяси томонидан Туркистонда ўрнатилган

ISSN 3030-3907

мустамлака бошқарув тизимининг ижтимоий негизини рус дворянлари ва маъмурлари (2,1 %), шаҳарликлар ва православ руҳонийлар (6.5 %), ўлкага кўчирилган рус деҳқонлари (20 %) ва казаклар (8.1 %) ташкил этган. Рус аҳолисининг деярли ярми империянинг Туркистондаги мустамлака аппарати ўзагини ташкил этар эди (Абдурахимова, 2002: 99).

Россия империяси томонидан Туркистонда амалга оширилган ижтимоий сиёсатнинг муҳим йўналишларидан бири ўлкага рус аҳолисини кўчириш ва жойлаштириш бўлган. Умуман олганда Туркистонни босиб олишдаги асосий мотивлардан бири – уни Россиянинг марказий губерняларидан деҳқонларни кўчириш учун колонизацион жойга айлантириш эди (История УзССР, 1956: 114). Аслида империя ҳукумати 1847 йилдан бошлаб қирғиз даштларига, 1867 йилдан Туркистонга русийзабон аҳолини кўчириш сиёсатини бошлаб юборган эди (Абдурахимова, 2002: 105-106). 1868-1882 йилларда Еттисув вилоятида ҳар бирида 250 киши бўлган 29 та рус қишлоғи пайдо бўлди. Бу даврда Сирдарё вилоятида 19 та рус қишлоғи бўлиб, уларнинг аҳолиси 1300 кишини ташкил этган (Ватан тарихи, 2010: 203). Кўчиб келган ҳар бир ишловчига 10 десятинадан ер берилган ва 10 йил солиқлардан озод этилган. Ҳар бир кўчиб келувчига 100 рублдан нафақа пули берилган бўлиб (Абдурахимова, 2002: 105-106), Россиядан кўчирилган кўчманлар билан боғлиқ барча ишлар 1886 йилда тасдиқланган “Туркистон ўлкасини бошқариш тўғрисида”ги Низомнинг 280-284-моддалари билан тартибга солиниши белгиланган эди.

Таъкидлаш лозимки, Туркистонга кўчирилган рус деҳқонларини ер билан таъминлаш касодга учраган туб аҳолининг ерларини қарз эвазига ёки арзон нархларда сотиб олиш ҳисобига ҳам амалга оширилган. Масалан, 1889-1893 йилларда Туркистонда хонавайрон бўлган деҳқонлар томонидан 15 минг 588 десятина ер сотиб юборилган. 1910 йилда Туркистонда ерсиз деҳқон хўжаликлари деҳқон хўжаликлари умумий сонининг 30 % ни ташкил этган бўлса, 1914 йилга келиб ерсиз хўжаликларнинг улуши ўлканинг айрим туманларида 40 % га етди (Ватан тарихи, 2010: 203,261).

Туркистонда дастлаб кўчириш сиёсати асосан Сирдарё вилоятининг жанубий жанубий ҳудудларида амалга оширилди. 1891 йилда Сирдарё вилояти (асосан Авлиёота ва Тошкент уездлари) да 19 та рус қишлоқлари бўлиб, уларнинг аҳолиси 1298 кишини ташкил этган. Самарқанд вилояти (асосан Хўжанд уезди – Т.А.) да 1896 йилда рус қишлоқлари 6 та, аҳолиси 1000 киши атрофида бўлган. Рус деҳқонларининг катта оқими 1891-1892 йилларда қатор марказий губерниялардаги ҳосилсизлик ва очлик билан боғлиқ ҳолда кузатилади. Фарғона вилоятидаги биринчи рус қишлоғи 1893 йилда Ўш уездида ташкил этилган (История Узбекской ССР, 1956: 114).

ISSN 3030-3907

1898 йилда содир бўлган Андижон қўзғалонидан кейин Туркистон генерал-губернатори С.М. Духовской томонидан Туркистонга русларнинг имкон қадар кўпроқ кўчиб келишларига йўл очиш тўғрисида кўрсатма берилган. Шу йили “Туркистон ўлкасини колонизация қилиш қоидалари” ишлаб чиқилди ва империя ҳукумати томонидан тасдиқланди. Натижада 1899 йилда Марғилон уездининг Мингтепа, Кошғар ва Тожик қишлоқлари ўрнида рус қишлоғи ташкил этилди ва бу ерга 200 оила кўчирилган. 1911 йилда Фарғона вилоятида 23 та рус қишлоқлари мавжуд эди (История Узбекской ССР, 1956: 114).

1903 йил 10 июлда россиялик қишлоқ сокинлари ва мешчанларнинг Туркистон ўлкасининг Сирдарё, Фарғона ва Самарқанд вилоятларига кўчирилиши тўғрисида қоидалар қабул қилинади (Абдурахимова, 2002: 106). 1906 йилга келиб Сирдарё, Фарғона, Самарқанд, Еттисув ва Каспийорти вилоятларида 136 та рус қишлоғи бўлиб, улардаги ҳар бир хўжалик ўртача 34,5 таноб ерга эгалик қилган. 1916 йилда ўлкада яшаётган 336 минг рус оиласининг қўлида жами 2659 десятина ер жамланган эди. Улардани аҳоли Туркистон аҳолисининг 4,5 фоизини ташкил этган (Ватан тарихи, 2010: 203).

19 аср охирида Туркистонда жами 116 та рус қишлоғи бўлиб, уларда 70 минг 745 киши яшаган. Бу даврда Туркистондаги рус аҳолисининг умумий сони 197 минг 420 кишига етди (Ўзбекистоннинг янги тарихи, 2000: 221). 1909 йилда улар 619 минг 320 кишини ташкил қилган (Зиёев, 2000: 211).

ХУЛОСА.

Туркистонда Россия империяси ижтимоий сиёсатининг оқибатлари қарама қарши хусусиятларга эга бўлиб, бу сиёсат биринчи навбатда халқ оммаси қолоқлиги ва зулматини консервация қилишга, патриархал муносабатлар ва мавжуд диний дунёқарашни сақлашга қаратилган эди. Шундай бўлса-да, бу сиёсат Туркистон халқларининг тарихий тараққиётини тўхтатишга ожиз эди. Ижтимоий ҳаётда капиталистик муносабатларнинг ўсиши билан бирга илғор ўзгаришлар кенг халқ оммасига кириб борди (История УзССР, 1956: 368-370).

Тўғри катта сондаги рус маъмурларининг пайдо бўлиши, шаҳарлар аҳолисининг ўсиши ва империя армияси қисмларининг ўлкага жойлаштирилиши оқибатида меҳнат бозорига бўлган талаб ортиб борди, янги мутахассисликлар пайдо бўлди. Бу ўз навбатида иш ҳақининг кўтарилишига ва нарх-навонинг ошишига олиб келди (Центральная Азия ..., 2008: 153). Айнан шу жиҳат ҳам Россия империясига қарамлик йилларида

ISSN 3030-3907

Туркистон аҳолининг яшаш даражаси кўтарилиб боргани тўғрисидаги фикрларнинг ҳақиқатга тўғри келмаслигини кўрсатади.

Россия империяси томонидан Туркистонда амалга оширилган нотенг ижтимоий сиёсат аҳоли учун жиддий муаммоларни келтириб чиқарган. Айниқса, шаҳар ва қишлоқлардаги озодагарчилик ҳамда аҳоли саломатлигини сақлашдаги номутаносиб ёндашувлар вақти вақти билан шаҳар ва қишлоқларда юқумли касалликларнинг тарқалишининг асосий омили эди. Боз устига мустамлака маъмурият томонидан касаллик оқибатларини бартараф этишда қўлланилган усуллар халқ оммасининг жиддий норозилигига ва қўзғалонларга сабаб бўлган.

Хусусан, 1892 йилда Тошкентда кўтарилган “Вабо исёни” тўғрисида ўз мулоҳазаларини қолдирган Н.Р.Остроумов қўзғалоннинг келиб чиқиш сабабини “... кўп жиҳатдан айб ўзимизда, албатта уларнинг феъл-атворларини, қонун-қоидаларини ўрганганимиз йўқ ва ҳали ҳам ўрганмаяпмиз. Бунда айб фақат вабонинг ўзида эмас, сабр-косасини тўлдириб юборган сўнгги томчидир” (Ватан тарихи, 2010: 214), деб эътироф этиш билан бирга Россия империясининг Туркистондаги мустамлака сиёсатининг асосий мафкурачиларидан бири сифатида ўлкада юритилган ижтимоий сиёсатнинг моҳиятини ҳам очиб берган эди.

ФОЙДАЛАНИЛГАН МАНБА ВА АДАБИЁТЛАР

1. Кривошеин А.В. Записка главноуправляеўего земледелием и землеустройством о поездке в Туркестан. СПб, 1912 г.
2. История народов Узбекистана. Т.2. От образования государства Шейбанидов до Великой Октябрьской Социалистической революции. Под.ред. акад.С.В.Бахрушина и др. – Ташкент: Фан, 1947. – 514 с.
3. История Узбекской ССР. / Под ред. М.Г. Вахабова, В.Я. Непомнина, Т.Н. Кары-Ниязова. Т. 1. – Кн.2. – Ташкент: Фан, 1956. – 504 с.
4. Ўзбекистоннинг янги тарихи. 1-қисм. Туркистон чор Россияси мустамлакачилиги даврида. – Тошкент: Шарқ, 2000. – 464 б.
5. Абдурахимова Н., Эргашев Ф. Туркистонда чор мустамлака тизими. – Тошкент: Академия, 2002. - 240 б.
6. Центральная Азия в составе Российской империи / С.Н. Абашин, Д.Ю. Арапов, Н.Е. Бекмаханова. – Москва: Новое литературное обозрение, 2008. – 451 с.
7. Шамсутдинов Р. ва бошқ. Ватан тарихи (XVI–XX аср бошлари); 2-китоб. – Тошкент: Шарқ, 2010. – 368 б.

ISSN 3030-3907